



ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ
«ХПІ»

52'2012

Харків

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ХПІ»

*Серія: Техніка та електрофізика
високих напруг*

№ 52 (958) 2012

Збірник наукових праць

Видання засноване у 1961 р.

Харків
НТУ «ХПІ», 2012

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2012. – № 52 (958). – 220 с.

Державне видання

Свідцтво Держкомітету з інформаційної політики України

КВ № 5256 від 2 липня 2001 року

Збірник виходить українською та російською мовами.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ» внесено до «Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», затвердженого Постановою президії ВАК України від 26 травня 2010 р., № 1 – 05/4 (Бюлетень ВАК України, № 6, 2010 р., с. 3, № 20).

Координаційна рада:

Голова: Л. Л. Товажнянський, д-р техн. наук, проф.;

Секретар: К. О. Горбунов, канд. техн. наук, доц.;

А.П.Марченко, д-р техн. наук, проф.; Є.І.Сокол, д-р техн. наук, чл.-кор. НАН України;

Є. С. Александров, д-р техн. наук, проф.; А. В. Бойко, д-р техн. наук, проф.;

Ф. Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.; М. Д. Годлевський, д-р техн. наук, проф.;

А. І. Грабченко, д-р техн. наук, проф.; В. Г. Данько, д-р техн. наук, проф.;

В. Д. Дмитриченко, д-р техн. наук, проф.; І. Ф. Домнін, д-р техн. наук, проф.;

В. В. Єпіфанов, канд. техн. наук, проф.; Ю. І. Зайцев, канд. техн. наук, проф.;

П. О. Качанов, д-р техн. наук, проф.; В. Б. Клепіков, д-р техн. наук, проф.;

С. І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.; В. М. Кошельник, д-р техн. наук, проф.;

В. І. Кравченко, д-р техн. наук, проф.; Г. В. Лісачук, д-р техн. наук, проф.;

О. К. Морачковский, д-р техн. наук, проф.; В. І. Ніколаєнко, канд. іст. наук, проф.;

П. Г. Перерва, д-р екон. наук, проф.; В. А. Пуляєв, д-р техн. наук, проф.;

М. І. Рищенко, д-р техн. наук, проф.; В. Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.;

Г. М. Сучков, д-р техн. наук, проф.; Ю. В. Тимофієв, д-р техн. наук, проф.;

М. А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

Редакційна колегія серії:

Відповідальний редактор: В. І. Кравченко, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний секретар: Л. В. Ваврів, канд. фіз.-мат наук, ст. наук. співр.

М. І. Баранов, д-р техн. наук, ст. наук. співр.; Н. І. Бойко, д-р техн. наук, доц.;

Р. К. Борисов, канд. техн. наук; А. Г. Гурін, д-р техн. наук, проф.;

Б. В. Клименко, д-р техн. наук, проф.; Г.М.Коліушко, канд.техн. наук, ст. наук. співр.;

В. М. Михайлов, д-р техн. наук, проф.; В. В. Князев, канд. техн. наук, ст. наук. співр.;

К. Ю. Сахаров, д-р техн. наук; Є. І. Сокол, д-р техн. наук, проф.;

В. В. Рудаков, д-р техн. наук, проф.; І. В. Яковенко, д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співр.

З номеру 42'2012 Вісник НТУ «ХПІ» має власну подвійну нумерацію: № 42 (948).

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ».

Протокол № 8 від 30 жовтня 2012 р.

Г.В.АЛЬОШИН, д-р техн. наук, професор, УкрДАЗТ

МЕЖІ ЗАСТОСУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛУ ПРАВДОПОДІБНОСТІ ПРИ ОЦІНЦІ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛУ

У роботі показано, чому метод максимуму ФП можна застосовувати тільки для обробки результатів вимірювань параметра сигналу і не слід застосовувати для вимірювань і чому він приводить до суттєвих помилок у теорії і побудові інформаційно-вимірювальних систем.

Ключові слова: функціонал правдоподібності, вимірювання, фільтрація сигналів, сигнальна функція.

Вступ. Майже всі радіоелектронні системи у своїй роботі використовують вимірювачі параметрів систем і сигналів. З двадцятого віку почала бурно розвиватись, уточнюватись і ускладнюватись теорія інформаційно-вимірювальних систем (ІВС), центральним місцем якої був і є метод максимуму функціоналу правдоподібності (ФП). На основі цього методу розвинуті ідеї оптимального синтезу алгоритмів роботи, структур ІВС різного типу, параметрів і сигналів за критерієм максимуму ФП. Але подальший розгляд цих методів синтезу показав, що при постановці цих задач може бути закладена помилка. Ось чому тему про межі застосування ФП при вимірюванні будь-яких параметрів слід вважати актуальною.

Аналіз літератури. За час з початку застосування методу максимуму ФП кількість публікацій, де він використовувався, досягло не одну сотню тисяч. Є і нові публікації, які можуть вміщати визначену некоректність постановки задач синтезу ІВС. Частину їх вміщує бібліографічний список даної статті.

Мета статті. Метою статті є виключення можливих помилок у подальших роботах на таку тему і перегляд попередніх робіт з даних позицій.

Основний матеріал досліджень. Розглянемо фізичну сутність функції правдоподібності.

Відомі методи оцінки параметрів сигналу частіше ґрунтуються на використанні поняття «функції або функціонала правдоподібності».

Спочатку дамо фізичну інтерпретацію поняття «функція правдоподібності» для найпростішого випадку, коли вимірюється один незмінний в часі параметр сигналу λ при наявності випадкової похибки – завади вимірювача.

При численних вимірах будь-яким вимірювачем спочатку відомого параметру λ_n , який можна вважати еталоном, побудуємо гістограму, а потім щільність $p(\lambda - \lambda_n)$ розподілу реалізацій λ параметру. Це закон щільності ймо-

вірності відхилення реалізацій (результатів вимірів) від відомого у даному опиті параметра λ_n на даній шкалі вимірювача (рис. 1, вісь λ).

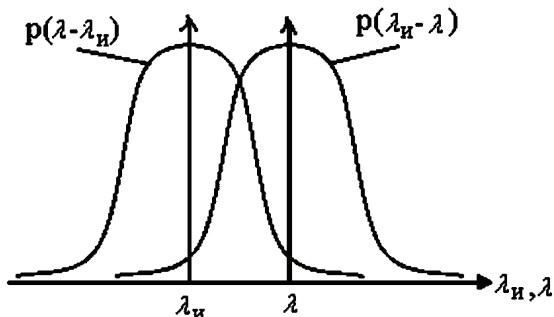


Рисунок 1 – Дисперсія розподілу p

Дисперсія розподілу $p(\lambda - \lambda_n)$ є метрологічна характеристика вимірювача, що позначається на його класі точності. Після досліджень дисперсія, чи середньоквадратична похибка, вже відома для даного вимірювача.

Цією ж шкалою вимірюємо тепер невідомий для нас вимірюємий параметр λ_n і маємо поки один результат вимірів – відому реалізацію λ .

Основним міркуванням є таке. Дійсне значення λ_n точно також відхиляється від отриманої реалізації λ , як і реалізація λ від еталонного значення λ_n .

Оце і є функція правдоподібності (ФП) $p(\lambda - \lambda_n)$. Випадкове для нас значення λ_n відхиляється від отриманої (вже відомої) оцінки λ за тим же законом $p(\lambda - \lambda_n)$, але вже відносно оцінки λ (див. рис. 1), де тепер вісь λ_n .

Принципово нічого не зміниться в міркуваннях, якщо ми розраховуємо ФП не для самого параметра λ_n , а для його функції $S(t, \lambda_n)$.

Функція або функціонал правдоподібності (ФП) корисний для процедур обробки результатів різноточних вимірювань одного або декількох параметрів з метою підвищення точності. Результируюча щільність розподілу ймовірності реалізацій має вигляд:

$$p(\lambda_u / \lambda_1, \dots, \lambda_n) = \prod_{i=1}^n p_i(\lambda_u - \lambda_i).$$

Для нормальних законів розподілів щільностей реалізацій конкретний алгоритм оцінки параметру λ^* приведений нижче:

$$\lambda^* = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_i^{-2}}{\sigma_p^{-2}} \lambda_i, \quad (1)$$

де

$$\sigma_p^{-2} = \sum_{i=1}^n \sigma_i^{-2}.$$

На цих можливостях ФП коло його використань обмежується. Хоча існує широкий спектр потреб використання у радіотехніці, де, на жаль, широко використовують його інтегральний некоректний варіант.

Для обґрунтування цього будемо слідувати за логікою Вудворда [1].

На вході радіоприймального пристрою є суміш сигналу $S(t, \lambda_u)$ з шумом:

$$y(t) = S(t, \lambda_u) + n(t), \quad (2)$$

де $n(t)$ – флуктуаційний гаусів шум з дисперсією σ^2 .

Шумовий процес обмежений за спектром з часом кореляції Δt . Процес тривалістю T має $m = T/\Delta t$ ступіней волі. Тоді m -мірну щільність ймовірності можна представити у вигляді:

$$p[n(t_1), n(t_2) \dots n(t_n)] = \prod_{i=1}^m \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{n^2(t_i)}{2\sigma^2}\right] = K_y \exp\left[-\frac{\sum_{i=1}^m n^2(t_i)\Delta t}{2\sigma^2\Delta t}\right],$$

або при $\Delta t \rightarrow 0$ у вигляді

$$p[n(t)] = K_y \exp\left[-\frac{1}{N_0} \int_0^T n^2(t) dt\right], \quad (3)$$

де $K_y = \text{const}$, $\sigma^2\Delta t = \sigma^2 / \Pi = N_0$.

Якщо замість шуму $n(t)$ тут підставити його значення з формули (2), то це буде функціонал правдоподібності:

$$p(\lambda_u / y(t)) = K_y \exp\left[-\frac{1}{N_0} \int_0^T [S(t, \lambda_u) - y(t)]^2 dt\right]. \quad (4)$$

Тепер потрібно знайти максимум ФП за параметром λ_u .

Але цей коректно отриманий функціонал використовувати взагалі нецільно за приведеними нижче причинами.

1. Похідна від функціоналу (4) за параметром λ_u приводить до рівняння:

$$\int_0^T S(t, \lambda) S'(t, \lambda) dt = \int_0^T y(t) S'(t, \lambda) dt, \quad (5)$$

з якого розв'язок не можна отримати.

2. Максимум ФП, що дає оцінку параметру λ_u сигналу, може досягатись також за критерієм мінімуму середньоквадратичної похибки або мінімуму інтегралу під знаком «exp», якщо відома суміш $y(t)$. Передписання методу максимуму ФП може виглядати також як задача за методом найменших квадратів: знайти оцінку λ_u за функціоналом (4), якщо відома суміш $y(t)$.

Але цей метод незручний для виконання. Тому що така процедура складна: спочатку треба достатньо точно з малим інтервалом вимірювати миттєві значення широкопосмугового процесу $y(t)$ у часі, а потім ще й вирішувати зада-

чу отримання оцінки методом найменших квадратів (МНК).

Це значить, що до шумів буде додана значна похибка вимірювань процесу $y(t)$, а потім – похибка МНК.

Таким чином, традиційні методи максимуму ФП при оцінці параметра сигналу не спрацьовують.

Тому у більшості робіт про вимірювальні системи [1-7 й т.і.], починаючи з Вудворда, Міддлтона і т.д., процедура отримання оцінки спрощується за рахунок своєрідного некоректного прийому, що приводить к некоректному методу максимуму ФП.

Сутність некоректності ФП, по суті – з алгебраїчного прийому, полягає в нижченаведеному.

Вудворд запевняє, що ніби природно уявити, що при вимірюванні затримки у сигналі формули (4) може бути представлений час передачі сигналу, а у суміші сигналу з шумом параметром сигналу є час затримки, який треба оцінити. Така незначна на перший погляд довільність приводить до значних негативних наслідків.

Спочатку треба мати на увазі, що різниця $S(t, \lambda_u) - y(t)$ згідно формули (4) точно рівна шуму $n(t)$, тому що істинний параметр один і той же у представленому сигналу і в суміші. Якщо у будь-якому одному доданку довільно змінити параметр, то це означає, що ранішнього нормального розподілу шуму нема. Це інший розподіл. Але при такій підміні можна отримати що завгодно, тому що раніше ФП залежав тільки від одного оцінюємого параметру сигналу, а тепер завдяки підміні він залежить також і від введеного параметра.

Оскільки цей некоректний ФП став залежати від двох параметрів, і з них введений параметр вважається опорним, то звідсіля можна знайти алгоритм оцінки також істинного параметра. Оцінку, отриману таким шляхом, можна назвати потенційної, оскільки отримана з т.з. ФП. Знаючи «оптимальний» алгоритм, можна отримати «оптимальну» систему і «оптимальні» сигнали. Можна без кінця розвивати і ускладнювати цей напрям, що, на жаль, і робиться у науці [1-14 та ін.].

Перетворення ФП за типом відношення правдоподібності й т.і. не роблять ФП коректним.

Все це повинно було насторожити читачів. Але крім цього при розкручуванні «ФП» ще є алгебраїчні помилки. І розробники систем не довіряють такій теорії.

Можна тільки здогадуватись, чому зроблена ця підміна параметрів.

Це просто неухважність Вудворда, Міддлтона та його численних послідовників або прагнення отримати сигнальну функцію на виході системи?

При підміні з'являється взаємкореляційна функція сигналу та суміші

$$\int_0^T S(t, \lambda_0) y(t) dt, \text{ що складається з сигнальної функції та взаємкореляційної}$$

функції сигналу і шумів. При цьому $y(t)$ згідно (4) залежить від λ_n . Така функція дійсно корисна. Її слід використовувати і без ФП за Вудвордом. Сигнальна функція корисна тим, що згідно з Колмогоровим та Вінером вона використовує оптимальну фільтрацію сигналу в шумі з точки зору максимуму відношення сигнал/шум, що потрібно для вимірювань. Мабуть автор цього методу розмірковував таким чином: раз це призвело до оптимальної фільтрації, то при такій підміні ми на правильному шляху. Тільки сам ФП (4) тепер ні до чого. Можна і без ФП вибрати звісний алгоритм оптимальної фільтрації.

Тепер подивимось, до яких невірних висновків, положень і результатів призвела підміна у формулі (4) параметру розподілу λ_n .

Тобто, що ми отримуємо без підміни? Якщо підміни параметрів нема, то не залишається нічого іншого, як вимірювати суміш сигналу з шумом $y(t)$ з деякою похибкою, будувати ФП і оцінювати вимірюваний невідомий істинний параметр λ_n і, можливо, дисперсію. Але це досить накладно і складно. Ще й не дуже точно, як буде видно з подальшого. А якщо не вимірювати суміш $y(t)$, то невизначеними будуть і суміш, і вимірюємий параметр. Повна невизначеність! Точніше буде просто, не «оптимально», вимірювати параметр. А якщо зразу безпосередньо вимірювати сам невідомий параметр сигналу λ_n з суміші, то навіщо тоді ФП. Але таке вже рекомендовано у роботах [2,3 та ін.], де застосовано після формування ФП багатоканальну оцінку вимірюваного параметру (рис. 2).

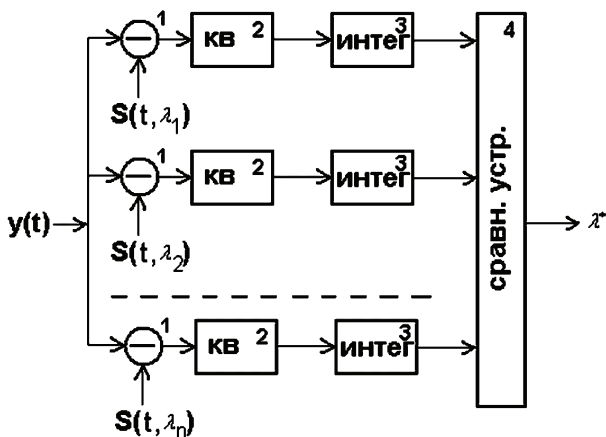


Рисунок 2 – Багатоканальна система вимірювання

Дійсно, без використання ФП і вимірів суміші сигналу та шуму $y(t)$ і втрати часу і точності можна одразу організувати багатоканальну систему, де у кожному каналі реалізується прийом сигналу системою з рівномірно за діапазоном розстроєними значеннями опорного параметру (рис. 2). На рис. 2

позначено:

- 1 віднімаючий пристрій
- 2 квадратор,
- 3 інтегратор,
- 4 пристрій зрівняння.

За оцінку приймається параметр настроювання каналу λ^* , де ϵ сигнал. Точність оцінювання півсмуги каналу за параметром.

Тобто, не потрібен ФП. Виміри вже успішно реалізовані реальними багатоканальними системою з означеною похибкою.

Що дає така підміна? Може слід за неї боротись? Які переваги вона дає? Може хоч при малої розбіжності опорного та вимірюемого параметру ФП справедливий?

Така підміна дає зразу усе, тому що отримаємо готовенький «ФП» у різному - багатомірному, корельованому, інтегральному, векторному та іншому вигляді.

Підміна дає:

- 1) можливість синтезу оптимального алгоритму і всієї системи;
- 2) можливість оптимального синтезу технічних параметрів;
- 3) оптимальний синтез сигналу;
- 4) створення теорії радіотехнічних систем;
- 5) можливість урахування корельованих завад;
- 6) обробку сигнальних векторних полів;
- 7) можливість використання матричних представлень;
- 8) можливість використання інтегральних рівнянь і багато іншого.

Тобто, така підміна дає роботу численній армії вчених.

Але істина дорожче. Некоректний функціонал не може бути основою для методу.

Тому проаналізуємо відомі результати від такої підміни і яку шкоду така підміна принесла. Почнемо з існуючої теорії вимірів, що дає, так звану, «потенціальну» точність вимірів.

Що сталося з бувшим справжнім ФП?

1) Він став некоректним і залежним від довільного параметру λ_0 ,
2) тепер знати і вимірювати суміш $y(t)$ немає сенсу, тому що підстановка «опорного» параметру у формулу ФП (4) хоч і не дає розподіл самісінького шуму без усяких параметрів, але дає щось схоже на то, що нам потрібне, і без усяких вимірювань, і без методу найменших квадратів,

3) тепер можна підставити у формулу (4) цю суміш в загальному вигляді з формули (2) і отримати новий, так званий, розподіл вимірюемого параметру, з якого одержимо оцінку, назовемо її «потенціальною», самою точною, для чого одержимо дисперсію оцінювання, а також одержимо усе, що вказано раніш.

Таким чином, для обґрунтування методу виявлення сигналу та для вимі-

рювання його параметрів застосована підміна параметру у ФП (4), щоб створити кореляційний інтеграл, хоч і без цього було звісно, що узгоджена фільтрація оптимальна за критерієм максимуму відношення сигналу до шуму. А це корисне при будь-яких вимірах.

У деякій літературі [1-7 й т.і.] спочатку отримують логарифм відношення правдоподібності, а потім призводять підміну параметру розподілу опорним параметром. Сутність від цього не змінюється.

Нічого принципово нового і ніщо не змінює ситуацію, якщо використується відношення правдоподібності, тому що убирається тільки третій останній додаток в показникові експоненти, який, кажуть, нічого не вирішує. Теж відноситься також до логарифму відношення правдоподібності [1-7]:

$$l(\lambda_u, \lambda_0) = \frac{2}{N_0} \int_0^T y(t) S(t, \lambda_0) dt - \frac{E_c}{N_0}. \quad (6)$$

Нічого не змінюється також, якщо спочатку у ФП проведена підміна параметру розподілу, а потім вважають розподілом саму суміш сигналу з вимірюємим параметром з шумом [1-7]. Все одно – змінюється розподіл суміші, тому що різниця сигналів з різними параметрами не рівна шуму. Це справедливе і для логарифму.

В усякому разі проводиться підміна параметру розподілу. Якщо цього не робити, то замість автокореляційної функції буде завжди тільки енергія сигналу, що призводить до абсурду.

Оцінимо наступні більш суттєві **парадокси** некоректного методу максимуму ФП.

Почнемо з точності.

Після возведення різниці $S(t, \lambda_u) - y(t)$ у квадрат одержимо ФП:

$$p(\lambda_u) = K_y \exp \left[-\frac{1}{N_0} \int_0^T S^2(t, \lambda_0) dt + \frac{2}{N_0} \int_0^T S(t, \lambda_0) y(t) dt - \frac{1}{N_0} \int_0^T y^2(t) dt \right].$$

«Потенціальну» точність «методу максимуму ФП» отримають наступним способом.

Якщо розкласти сигнал у сигнальній функції в ряд Тейлора і обмежитись другою похідною, або, що теж саме, апроксимувати його квадратичною параболою, то можна одержати формулу для «потенціальної» точності вимірювань:

$$\sigma_{\lambda_u}^2 = 1 / (q |\Psi''(0)|). \quad (7)$$

Якщо не поспішати возводити у квадрат різницю суміші і сигналу, а розложити у ряд Тейлора сам сигнал, то отримаємо [1-7 та ін.]:

$$\sigma_{\lambda_u}^2 = 1 / \left| \frac{d}{dt} l(\lambda_u) \right|_{\lambda_u=\lambda_0}^2, \quad (7a)$$

де $\Psi(\lambda_u, \lambda_0) = \frac{1}{E} \int_{-\infty}^{\infty} S(t, \lambda_u) S(t, \lambda_0) dt$ – нормована сигнальна функція, E – енергія сигналу.

У літературі є дві формули (7), і (7а), хоч вони суттєво відрізняються. Тобто, формулу (7а) не завжди можливо отримати з формули (7), чи навпаки.

Крім того, покажемо, що не було за що боротись – у методі максимуму ФП точність гірша, ніж у звичайних дискримінаційних методів.

Про це можна дізнатись просто з фізичної ситуації, коли використовується сигнальна функція $\Psi(\lambda_u, \lambda_0)$, що зображена на рис. 3.

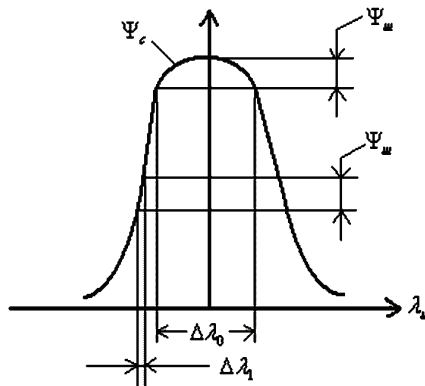


Рисунок 3 – Залежність точності вимірювань від крутизни сигнальної функції

Рівень шумової складової позначений символом

$$\Psi_{ш} = \frac{1}{N_0} \int_0^T n(t) S(t, \lambda_u) dt.$$

Згідно з принципом максимуму функціоналу правдоподібності потрібно знайти значення λ_u , що доставляє максимум ФП. На рівні максимуму нечутливість сигнальній функції надає шумова складова розміром $\Psi_{ш}$, що впливається в похибку або інтервал нечутливості $\Delta \lambda_0$. А якщо вимірювати у точці найбільшої крутизни при тій ж нечутливості сигнальної функції $\Psi_{ш}$, то похибка або інтервал нечутливості буде $\Delta \lambda_1$, який значно менший. Тобто, похибку «максимуму ФП» даремно звуть «потенційною».

Тобто, метод максимуму ФП дає похибки значно гірші за похибки, наприклад, зв'язних різницевих схем – дискримінаційних.

При прямому пошуку максимуму цей метод ФП був би по суті методом екстремального регулювання зі своїми недоліками. Недоліком екстремального регулювання є також те, що при ньому неможливо за один вимір, тобто, при зміні параметру, визнати знак такої зміни.

А якщо шукати класичним диференціальним методом, тобто, першу похі-

дну порівняти нулю, то все одно цей алгоритм гірше, тому що диференціювати треба суміш з випадковою величиною, що додає похибки. До того ж, схил ФП навколо його максимуму малий і потрібна більша кривизна. Тому точність гірша. Намагатися збільшити кривизну або складно і не завжди доцільно. Тим більш, що сам метод ФП у згаданому варіанті невірний.

Формула потенціальної точності (7) визиває, крім того, недовіру також тим, що друга похідна, або кривизна, сигнальної функції навколо вимірюємого дійсного параметру λ_n може бути насправді будь-якою і може не впливати на точність. Тобто, більша кривизна не завжди відповідає більшій точності. Наприклад, теоретично для ідеального прямокутного імпульсного сигналу автокореляційна функція при вимірюванні затримки має вид трикутника, де на його піку нескінченно велика кривизна. Точність повинна бути дуже значна. Але, як нам відомо з реальних систем, на точність оцінювання параметру затримки це не впливає.

Формула «потенціальної точності» (7), на жаль, стала основою сигнального синтезу для вимірювальних систем. На жаль, вважають, що якщо для вимірюваного сигналу друга похідна від сигнальної функції вибрана якомога побільше, то це і є оптимальний сигнал.

Наприклад, для вимірювання затримки оптимальний сигнал згідно з теорією «потенціальної» точності повинен бути таким, щоб була максимальною ефективна ширина спектру.

$$\Delta f_e^2 = (2\pi)^2 \frac{\int_{-\infty}^{\infty} f^2 |S(f)|^2 df}{\int_{-\infty}^{\infty} |S(f)|^2 df}.$$

Це теж міф. Тому що, по-перше, у фазовому методі вимірювань використовується вузькосмугові гармоніки. Самі вчені [10] говорять, що багатоскальні вимірювачі не вписуються у метод ФП. По-друге, навіть у тієї ж формулі ефективна ширина спектру може стати більша у 4 рази при тієї ж енергії сигналу, якщо взяти тільки одну гармоніку з подвійною амплітудою. Але тут вже неясно, яку несучу частоту треба брати і як стабілізувати та визначити. Треба брати побільше. Тоді неоднозначність на одній шкалі не вирішує проблеми вимірів і тому такий синтез сигналу не внушає довіри. Не дарма фазові багатоскальні вимірювання не вписуються у метод максимуму ФП.

Аналогічно розмірковуючи, отримаємо, що для вимірів частоти сигнал повинен бути як дві дельта-функції за часом. Але таких вимірювачів також не було, тому що вони явно неоптимальні, навіть абсурдні, тому що потребують нескінченну смугу пропускання і приводять до малого відношення сигналу до шуму і малої точності. На практиці навпаки, використовують кращий сигнал – це гармонічний (доплерівський) сигнал. Такий же сигнал використовують також при фазових вимірах затримки сигналу, кутів і так інше, що також не вписуються у метод ФП.

Є і інші приклади некоректності «методу максимуму ФП».

Насторожує, що при збільшенні часу спостереження T енергія шуму тільки зростає і зменшує точність при заданій енергії сигналу.

Це також дивно. Тому що при малому часі інтегрування T буде велике значення взаємно кореляційної функції сигналу та шуму, а при великому часі T буде велике значення енергії шуму. Тобто, нібито існує оптимум точності за часом інтегрування за рахунок шуму при заданій енергії сигналу.

Якщо змодельовати процес формування ФП (4), то отримаємо схему рис. 4.

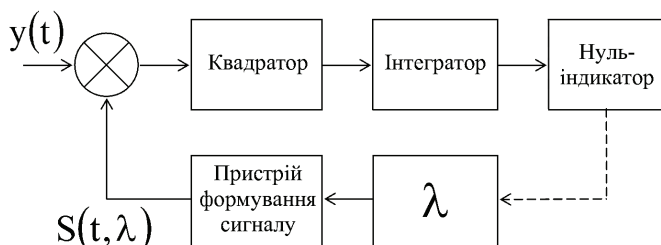


Рисунок 4 – Схема моделювання процесу формування ФП

Це по суті екстремальне регулювання зі своїми недоліками – з невизначеністю знаку розстройки з-за квадратора і з гіршою точністю. Пунктирною лінією зображено, так зване, екстремальне регулювання, тобто, автоматична або ручна зміна λ_n для відшукування і підтримки мінімального значення показань нуль-індикатора.

Але це був би диференціальний слідкуючий метод вимірювання, якщо б не було квадратора і у якості нуль-індикатора був звичайний вимірювач навіть малого діапазону і з великою кривизною. В будь-якому випадку параметр λ повинний бути апріорно відомим, опорним чи зразковим. А якщо завада достатньо сильно придушувалася б інтегратором, то це був би самий точний метод – нуль-метод.

Таким чином, для використовуваного ФП недоліком екстремального регулювання при прямому вимірі є порівняно гірша точність при заданій кривизні сигнальної функції (див. рис. 3) довкола дійсного значення параметра λ_n , а також невизначеність полярності ухилення параметру. А при використанні похідної від логарифму випадкового ФП точність ще гірше.

Значить, навіть сигнальна функція у максимумі неспроможна для використання у якості точного вимірювача.

Тому **ФП доцільно використовувати тільки для обробки результатів багатократних вимірювань.**

Якщо говорити про реальні системи, то при вимірюванні параметру сигналу доцільно використовувати сигнальну функцію з метою боротьби з шумом. І без квадратора. Але при цьому треба використовувати або її схили, або дискримінаційні схеми з попередньою фільтрацією, де майже пропорційний параметр, щоб виділяти сигнал похибки. Його можна відразу проградуювати

у значеннях параметру (розімкнутий зворотний зв'язок, а метод вимірів – диференціальний), або сигнал похибки використовувати для підстроювання параметру сигналу (майже нуль-метод вимірів) при стежувальному методі. Це буде замкнута пошукова система. Пунктирна лінія буде суцільною.

Звісно, можливі й інші структури (і алгоритми) для пошуку оцінки параметру сигналу. Але вони отримані не за критерієм максимуму функціоналу правдоподібності, а за принципами метрології, які треба доповнити новими принципами для застосування в радіоелектронних системах.

Є і інші недоліки існуючої теорії вимірів. Наприклад, існує думка [1-7 та ін.], що оцінювання параметру або вектору параметрів сигналу в умовах впливу гаусових завад можливо для довільно широкої апіорної невизначеності при використанні функціоналу щільності розподілу апостеріорної ймовірності. Це не так. Апіорний діапазон реальних вимірювачів визначається розмірами функціональних характеристик реальних вимірювачів, яких нема в теорії «максимуму ФП».

Це теж повинно насторожувати читача.

У деякому вигляді їх може замінити сигнальна функція, що все одно повинна бути зв'язана з фізичним діапазоном параметру.

У реальних систем буває розподіл функцій боротьби з завадами і боротьби за точність вимірювань. Тому функціональні характеристики вимірювачів можуть бути не зв'язані з формою сигнальних функцій. Але реальний апіорний діапазон завжди повинен бути пов'язаний з функціональною характеристикою вимірювача.

Крім цього, широкий апіорний діапазон стає протиріччю показнику точності. За високу точність вимірювача часто платять зменшенням реального апіорного діапазону для підвищення чутливості приладів. В інститутах еталонів та стандартів це частіше і використовується, коли відношення потужностей сигналу до завад обмежене.

Цього також нема у некоректному «методі максимуму ФП». Нема в цій теорії також багатошкальних систем та чітких вказівок на те, як будувати багатошкальні системи, як їх оптимізувати. Нема також поняття «чутливості», що є в метрології та в реальних системах.

Викладене можна поширити на будь-які методи оцінювання, будь-які вектори і процеси параметрів, де використовуються такі вимірювачі.

Усе сказане стосується також дискретних систем зв'язку, тому що вони для виявлення або розрізнення дискретних сигналів з деякого алфавіту також використовують функцію фільтрації або автокореляції. І тут ФП ні до чого.

Тому потрібна нова адекватна теорія радіоелектронних вимірювань, що повинна відбивати всі нюанси вимірювань: фізичний апіорний інтервал, дискримінаційну характеристику, апертуру дискримінатору, оперативність вимірів, енергетичний потенціал, довіру до оцінок та вартість вимірювача.

Висновки.

1. Метод максимуму функціонала правдоподібності придатен лише для обробки результатів вимірювань.
2. Використання способу інтегрального представлення ФП [1-7 і т.і.] загальмував природний розвиток теорії вимірювальних систем, тому що пішов хибним шляхом. Результати синтезу за ФП систем різного ступеня складності, їх параметрів та сигналів потребують перегляду.
3. Метод максимуму ФП не враховує функціональні характеристики реальних вимірювачів й їх реальні показники якості: чутливість, реальний (фізичний) діапазон, апертуру характеристики вимірювача, оптимальне узгодження цього діапазону з апертурою функціональної характеристики і т.ін.

Список літератури: 1. Вудворд Ф.М. Теория вероятности и теория информации с применением в радиолокации / Ф.М.Вудворд. – М.: Сов. радио, 1968. 2. Бакут П.А. Вопросы статистической теории радиолокации. Т. 1, 2. / П.А.Бакут и др. – М.: Сов. радио, 1964. 3. Ширман Я.Д. Обнаружение радиолокационных сигналов и измерение параметров / Я.Д.Ширман. – М.: Сов. радио, 1969. 4. Гуткин, Л.С. Проектирование радиосистем и радиоустройств. / Л.С. Гуткин. – М.: Радио и связь, 1986. – 288 с. 5. Фалькович С.Е. Оценка параметров сигнала / С.Е. Фалькович. – М.: Сов. радио, 1980. – 336 с. 6. Дулевич В.Е. Теоретические основы радиолокации / В.Е.Дулевич и др. – М.: Сов. радио, 1964. – 732 с. 7. Володарский В.Я. О предельно достижимой точности измерения заданной величины / В.Я.Володарский // Измерительная техника. – М.: 1973. – № 1. 8. Вакман Д.Е. Сложные сигналы и тело неопределенности в радиолокации / Д.Е. Вакман. – М.: Сов. радио, 1966. 9. Кук Ч. Радиолокационные сигналы. Теория и применение / Ч.Кук, М.М. Бернфельд. – М.: Сов. радио, 1971. 10. Канцедаль В.М. Сравнение качественных показателей многошальных систем с теоретическими предельными / В.М.Канцедаль, С.Е. Фалькович // Радиотехника и электроника. – М.: 1977. – Т. XXII. – С. 618-621. 11. Белагин О.В. Основы радионавигации / О.В.Белагин. – М.: Сов. радио, 1974. 12. Кошевой В.М. Синтез пары «сигнал-фильтр» при дополнительных ограничениях / В.М.Кошевой, М.Б. Свердлов // Радиотехника и электроника. – М.: 1976. – Т. XXI, № 6. – С.1227. 13. Колмогоров А.Н. Интерполяция и экстраполяция стационарных случайных последовательностей / А.Н.Колмогоров // Изв. АН СССР, сер. Математика. – 1941. – № 5. 14. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника / В.И. Тихонов. – М.: Сов. радио, 1966. – 678 с. 15. Альошин Г.В. Оцінка якості інформаційно-вимірювальних систем / Г.В. Альошин. – Х.: УкрДАЗТ, 2009. – 300 с. 16. Алешин Г.В. Эффективность сложных радиотехнических систем / Г.В.Алешин, Ю.А.Богданов. – К.: Наукова думка, 2008. – 288 с. 17. Алешин Г.В. О корректности методов синтеза измерительных радиотехнических систем / Г.В. Алешин // Сб. Информационные системы. – Х.: НАНУ, ПАНИ, ХВУ, 1998. – Вып. 1.

Надійшла до редколегії 12.10.2012

УДК 621.396

Межі застосування функціоналу правдоподібності при оцінці параметрів сигналу / Г.В.Альошин // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 3-14. – Бібліогр.: 17 назв.

У роботі показано, чому метод максимуму ФП можна застосовувати тільки для обробки результатів вимірювань параметра сигналу і не слід застосовувати для вимірювань і чому він приводить до суттєвих помилок у теорії і побудові інформаційно-вимірювальних систем.

Ключові слова: функціонал правдоподібності, вимірювання, фільтрація сигналів, сигнальна функція.

There is issue in the work: why the maximum method of the limits likelihood function is possible to use for the measuring results work; why cannot to use for measuring and why it go to the big errors in the theory and building of the measure and information system.

Key words: likelihood function, measurings, signal filtration, signal function.

М. И. БАРАНОВ, д-р техн. наук, главн. науч. сотр., НТУ «ХПИ»;
В. М. ЗИНЬКОВСКИЙ, зав. сектором, НТУ «ХПИ»;
Ю. П. ЗЯБКО, вед. инж., НТУ «ХПИ»;
Н. Н. ИГНАТЕНКО, канд. техн. наук, зав. сектором, НТУ «ХПИ»;
Н. И. КРУГЛИК, вед. инж., НТУ «ХПИ»;
В. Л. ЦЕХМИСТРО, техник, НТУ «ХПИ»

ВЛИЯНИЕ ЗАРЯДНЫХ РЕЗИСТОРОВ ГЕНЕРАТОРА ИМПУЛЬСНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ФОРМИРУЕМЫХ НА НАГРУЗКЕ АПЕРИОДИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Приведены результаты экспериментальных исследований по влиянию величин активных сопротивлений зарядных резисторов ступеней генератора ГИН-4 на временные параметры апериодических импульсов сверхвысокого напряжения микро- и миллисекундной длительности, получаемых на длинном воздушном разрядном промежутке.

Ключевые слова: генератор импульсного напряжения, зарядный резистор, длительность импульса напряжения.

Введение

В высоковольтной импульсной технике (ВИТ), предназначенной для проведения испытаний различной изоляции на электрическую прочность [1] и широкой номенклатуры электроэнергетического оборудования на стойкость к воздействию импульсов напряжения (тока) естественного (от прямых и косвенных ударов линейной молнии [2,3]) и искусственного (от коммутационных переключений в линиях электропередачи [4]) происхождения, необходимы высоковольтные испытательные установки, способные генерировать на той или иной электрической нагрузке грозовые и коммутационные импульсы сверхвысокого напряжения (порядка 1 МВ и более). Создание нового подобного действующего высоковольтного испытательного оборудования сопряжено, прежде всего, с большими финансовыми и материальными затратами. В этой связи перед сотрудниками отдела №6 нашего института в период 2011-2012 гг. возникла научно-техническая задача, связанная с исследованием возможности использования для целей разработки и создания генератора стандартного апериодического коммутационного импульса сверхвысокого напряжения ВИТ наружной установки, размещенной на испытательном полигоне НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» (п. Андреевка, Харьковской обл.). Предварительный анализ имеющегося в распоряжении сотрудников отдела №6 на полигоне института действующего высоковольтного оборудования показал, что соответствующим требованиям в определенной части может

удовлетворять лишь генератор импульсных напряжений ГИН-4 этажерочного типа (рис. 1), характеризующийся номинальным выходным напряжением 4 МВ и номинальной запасаемой электрической энергией 1 МДж [5,6].

1. Основные технические характеристики исходного зарядно-разрядного контура генератора ГИН-4

На рис. 2 приведена принципиальная электрическая схема зарядно-разрядного контура (ЗРК) генератора ГИН-4. Этот контур выполнен по классической схеме и содержит 16 каскадов ($n_k = 16$) или 32 ступени ($n_c = 32$) [5,6].



Рисунок 1 – Общий вид генератора ГИН-4 на номинальное напряжение 4 МВ и номинальную запасаемую в его конденсаторах электрическую энергию 1 МДж [5,6]

В состав каждого каскада ГИН-4, состоящего из двух заряженных до одинакового зарядного напряжения U_3 противоположных полярностей ступеней, входят 8 конденсаторов C в металлическом корпусе типа КБМГ-125/1 ($U_3 = \pm 125$ кВ; $C = 1$ мкФ; разработка НИПКИ «Молния») и один неуправляемый воздушный шаровой разрядник F , диаметр электродов которого равен 125 мм [5,6]. ЗРК генератора ГИН-4 имеет девять успокоительных резисторов R_y по 0,5 Ом каждый и 16 разрядных резисторов R_p по 110 кОм каждый [5,6]. Параллельный заряд всех 128 шт. конденсаторов C генератора

ГИН-4 осуществляется с помощью повысительно-выпрямительного устройства – источника постоянного напряжения через четыре ветви (по две на каждую полярность) зарядных резисторов R_z , активное сопротивление каждого из которых составляет 500 Ом, и две ветви разрядных резисторов R_p (см. рис. 2).

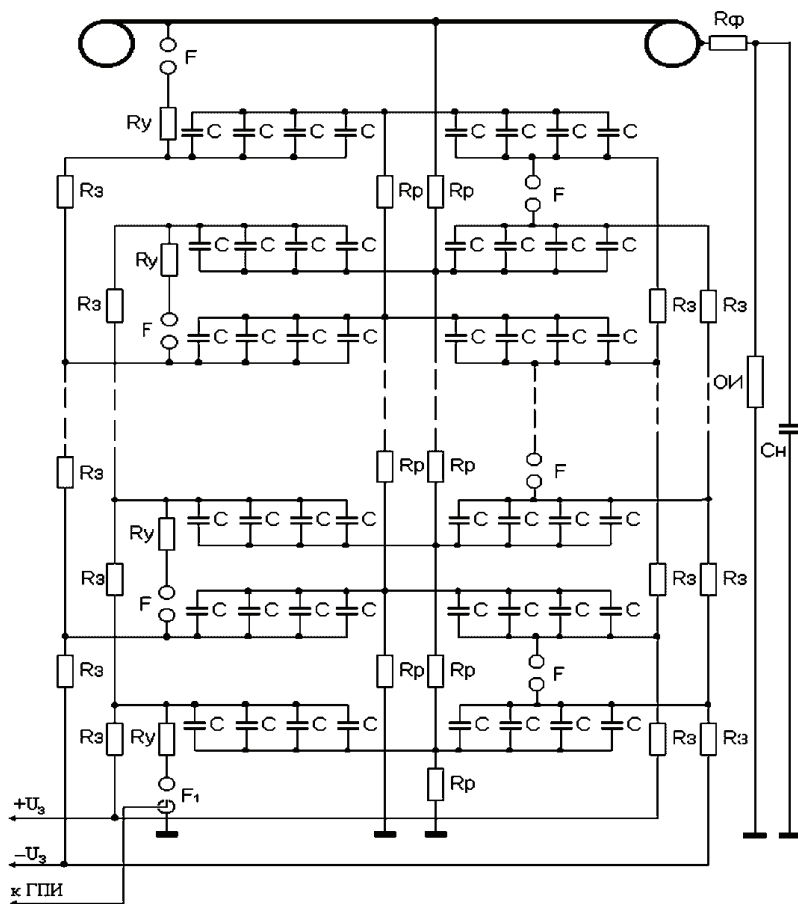


Рисунок 2 – Принципиальная электрическая схема генератора ГИН-4, содержащего 16 каскадов на номинальное напряжение 250 кВ (по 8 высоковольтных импульсных конденсаторов C и 1-му двухэлектродному шаровому разряднику F в каждом) и подключенного на выходе своим металлическим экраном-крышей к формирующей цепи (активному сопротивлению R_ϕ и нагрузочной емкости C_n) и объекту испытаний ОИ [5,6]

По достижению на конденсаторах C заданного уровня зарядного напряжения U_3 на управляемый воздушный трехэлектродный разрядник F_1 (триггер [7]) от генератора пусковых импульсов (ГПИ) или на управляемый воз-

душный многоазорный разрядник F_1 [8] от генератора высоковольтных поджигающих импульсов (ГВПИ) подается запускаящий микросекундный импульс напряжения соответственно амплитудой ± 10 кВ или ± 100 кВ. После срабатывания управляемого разрядника F_1 из-за последовательного возникновения в разрядной цепи ЗРК перенапряжений происходит срабатывание по высоте генератора ГИН-4 двухэлектродных разрядников F всех его каскадов, что приводит к быстрому заряду металлического экрана-крыши и последующему формированию на объекте испытаний (ОИ), например, при помощи указанных на рис. 2 активного сопротивления R_Φ и нагрузочной емкости C_H , требуемого импульса напряжения. В режиме холостого хода (ХХ) генератора ГИН-4, когда в его разрядной цепи отсутствуют формирующие элементы R_Φ и C_H , а в качестве ОИ выступает электрически непробиваемый длинный воздушный разрядный промежуток, на подобном ОИ фронт возникающего апериодического импульса напряжения будет определять постоянная времени заряда τ_{3K} металлической крыши-экрана исследуемого генератора ГИН-4, а спад (длительность) – постоянная времени разряда τ_{31} суммарной емкости рассматриваемого нами генератора ГИН-4 (его «емкости в разряде» $C_\Gamma = 0,125$ мкФ) через ветви низкоомных зарядных резисторов R_3 соответствующей полярности. Такой разряд емкости C_Γ будет происходить благодаря срабатыванию управляемого разрядника F_1 первой ступени ЗРК генератора ГИН-4 и соответственно появлению гальванической связи соответствующих ветвей зарядных резисторов R_3 непосредственно с землей, имеющей приближенно нулевой потенциал. Постоянная же времени разряда τ_{p1} емкости C_Γ в этом случае через ветви разрядных резисторов R_p рассматриваемого генератора будет примерно в $2R_p/R_3 = 440$ раз больше величины τ_{31} . Поэтому и спад (длительность $\tau_{и1}$ на уровне половины амплитуды U_m) получаемого на ОИ импульса напряжения в режиме ХХ генератора ГИН-4 будет определять величина τ_{31} , принимающая значение, равное около $\tau_{31} \approx R_3 \cdot C_\Gamma \approx 500 \times 0,125 \cdot 10^{-6} \approx 62,5$ мкс. Тогда в режиме ХХ генератора ГИН-4, зарядные цепи которого реализованы на основе исходного («старого») зарядного резистора номиналом для каждого $R_3 = 500$ Ом (рис. 3), величина длительности формируемого на принятом ОИ (воздушном промежутке) импульса напряжения окажется примерно равной $\tau_{и1} \approx 0,7 \cdot \tau_{31} \approx 43,7$ мкс. На рис. 4 в подтверждение приведенных выше численных оценок величин τ_{31} и $\tau_{и1}$ представлена осциллограмма импульса напряжения на принятом ОИ в режиме ХХ генератора ГИН-4 для $R_3 = 500$ Ом.

Следует указать, что при измерении в соответствии с [9] формируемых с помощью генератора ГИН-4 на длинном воздушном разрядном промежутке с электродами в виде шаров диаметром 125 мм импульсов высокого и сверхвысокого напряжений нами был использован омический делитель напряжения типа ОДН-2 собственной разработки [10]. Данный делитель имел высоковольтное плечо с активным сопротивлением 107,3 кОм и низковольтное плечо с активным сопротивлением 4 Ом. Поэтому коэффициент деления дан-

ного делителя импульсного напряжения был равен $K_d = 26825$. С учетом двухстороннего согласования экранированной кабельной линии передачи длиной 60 м этого делителя масштабный коэффициент используемого средства измерения импульсного напряжения оказался примерно равным $K_M = 2K_d = 53650$.

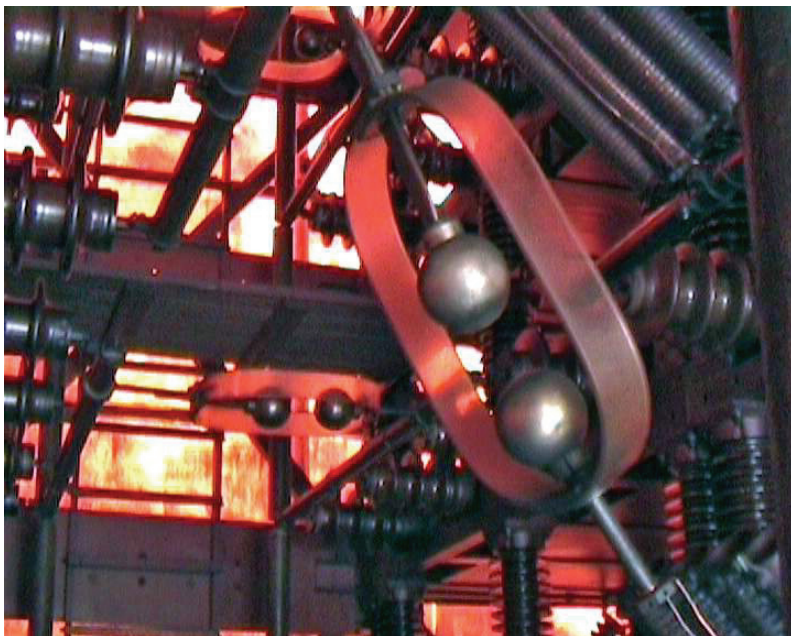


Рисунок 3 – Внешний вид основных элементов зарядно-разрядного контура генератора ГИН-4, содержащего в «старой» зарядной электрической схеме 32 зарядных резистора номиналом 500 Ом, выполненных на основе нихромовой проволоки диаметром 1 мм, намотанной на стеклопластиковую трубу и залитой эпоксидным компаундом [5]

В этой связи амплитуда U_m апериодического импульса напряжения на выбранном нами ОИ в цепи генератора ГИН-4 при выполнении режима его XX согласно осциллограмме на рис. 4 будет равной $U_m = 11,6 \text{ В} \times 53650 = 622,3 \text{ кВ}$. Отметим, что при фиксации измеряемого на ОИ импульсного напряжения был применен поверенный запоминающий цифровой осциллограф типа Tektronix TDS 1012, подсоединенный к указанной выше кабельной линии связи делителя типа ОДН-2 и размещенный в заглубленном экранированном измерительном бункере. Из данных осциллограммы на рис. 4 (масштаб по вертикали – 5 В/клетка; масштаб по горизонтали – 10 мкс/клетка) видно, что длительность $\tau_{\text{и}}$ формируемого в разрядной цепи генератора ГИН-4 (для режима его XX) на воздушном разрядном промежутке длиной 1,5 м апериодического импульса напряжения положительной поляр-

ности составляет около 41 мкс (при времени нарастания импульса до уровня амплитуды U_m не более $t_m = 3,5$ мкс). Отсюда на основе экспериментальных данных следует, что генератор ГИН-4 при «старой» зарядной электрической схеме ЗРК ($R_3 = 500$ Ом) в режиме своего XX ($\alpha_1 \approx (\tau_{\Phi 1})^{-1} \approx 0,7/\tau_{\Phi 1} \approx 17,1 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$; $\alpha_2 \approx 3/\tau_{\Phi 1} \approx 2 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$; $\tau_{\Phi 1}$ – длительность фронта импульса напряжения на уровне (0,3-0,9) от его амплитуды U_m) способен формировать на электрической нагрузке (например, на электрически прочном длинном воздушном разрядном промежутке) аperiodические импульсы высокого и сверхвысокого напряжений временной формы 1,5/41 мкс.

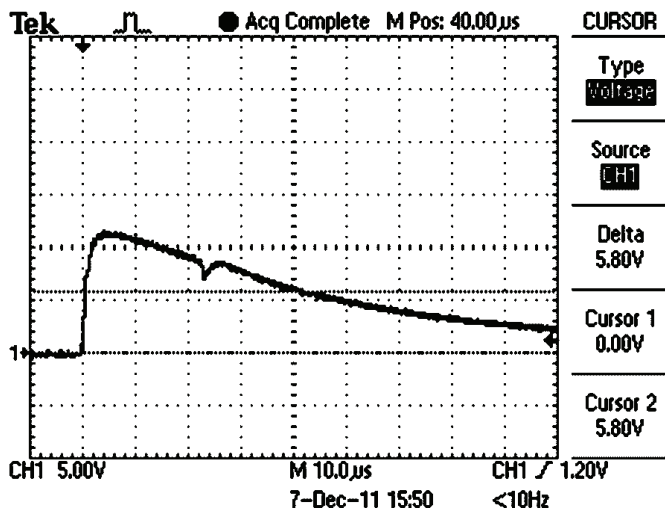


Рисунок 4 – Осциллограмма аperiodического импульса напряжения на воздушном разрядном промежутке длиной $l_p = 1,5$ м с электродами-шарами $\varnothing 125$ мм ($U_3 = \pm 30$ кВ; $U_m = 622,3$ кВ; $\tau_{\Phi 1} = 41$ мкс), полученного в разрядной цепи генератора ГИН-4 с его «старыми» зарядными резисторами ($R_3 = 500$ Ом) при реализации для него режима XX

2. Получение в разрядной цепи генератора ГИН-4 аperiodических импульсов микро- и миллисекундной длительности высокого и сверхвысокого напряжения

Для исследования возможности применения генератора ГИН-4 с его «старой» зарядной электрической схемой в составе ЗРК ($R_3 = 500$ Ом) данного генератора при получении согласно действующих требований ГОСТ 1516.2-97 [1] стандартного аperiodического коммутационного импульса высокого или сверхвысокого напряжения временной формы 250/2500 мкс с учетом соответствующих для нее (этой формы) нормированных допусков по временным параметрам нами были проведены необходимые экспериментальные исследования. На рис. 5 приведена осциллограмма аperiodического

импульса высокого напряжения, полученного с помощью указанного выше делителя ОДН-2 на длинном воздушном разрядном промежутке ($l_p = 3$ м) с использованием генератора ГИН-4 (при $R_3 = 500$ Ом) и классической электрической схемы для формирования на выбранном ОИ аperiodического коммутационного импульса высокого напряжения временной формы 250/2500 мкс [1,3,4].

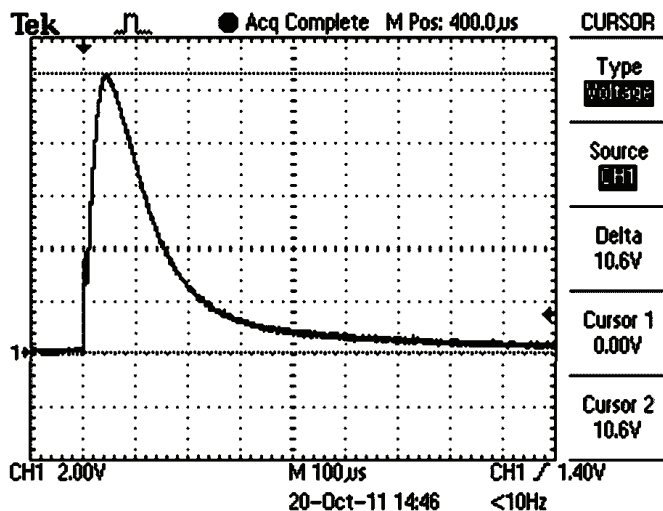


Рисунок 5 – Осциллограмма аperiodического импульса напряжения на воздушном разрядном промежутке длиной $l_p = 3$ м с электродами-шарами $\varnothing 125$ мм ($U_3 = \pm 28$ кВ; $U_m = 568,7$ кВ; $t_m = 44$ мкс; $\tau_{И1} = 120$ мкс), полученного в разрядной цепи генератора ГИН-4 с его «старыми» зарядными резисторами ($R_3 = 500$ Ом) при использовании на выходе ЗРК классической электрической схемы для формирования на ОИ стандартного аperiodического коммутационного импульса высокого или сверхвысокого напряжения

Из осциллограммы, изображенной на рис. 5 (масштаб по вертикали – 2 В/клетка; масштаб по горизонтали – 100 мкс/клетка), следует, что длительность полученного в рассматриваемом случае аperiodического импульса высокого напряжения на уровне $0,5 \cdot U_m$ составила лишь $\tau_{И1} = 120$ мкс. Полученные подобные опытные результаты окончательно убедили нас в ограниченных возможностях генератора ГИН-4 со «старой» зарядной электрической схемой в составе его ЗРК ($R_3 = 500$ Ом) для формирования с использованием приведенных на рис. 2 основных элементов классической схемы (активного сопротивления R_Φ и нагрузочной емкости C_H), применяемой при генерировании коммутационных импульсов напряжения, требуемых импульсов высокого и сверхвысокого напряжений с большим временем их подъема $T_\Pi = (250 \pm 50)$ мкс и их большой длительностью на уровне $0,5 \cdot U_m$, состав-

ляющей $\tau_{\text{И1}} = (2500 \pm 750)$ мкс [1]. Для расширения технических возможностей генератора ГИН-4 было принято решение о замене в его ЗРК всех 32 «старых» зарядных резисторов номиналом $R_3 = 500$ Ом на «новые» с номиналом $R_3 = 30$ кОм. На рис. 6 показан общий вид ЗРК генератора ГИН-4, содержащего во всех 32 ступенях «новые» двухсекционные зарядные резисторы ($R_3 = 30$ кОм), выполненные на основе 100 шт. керамических резисторов ТВО-5-300 Ом (по 50 шт. в каждой секции).

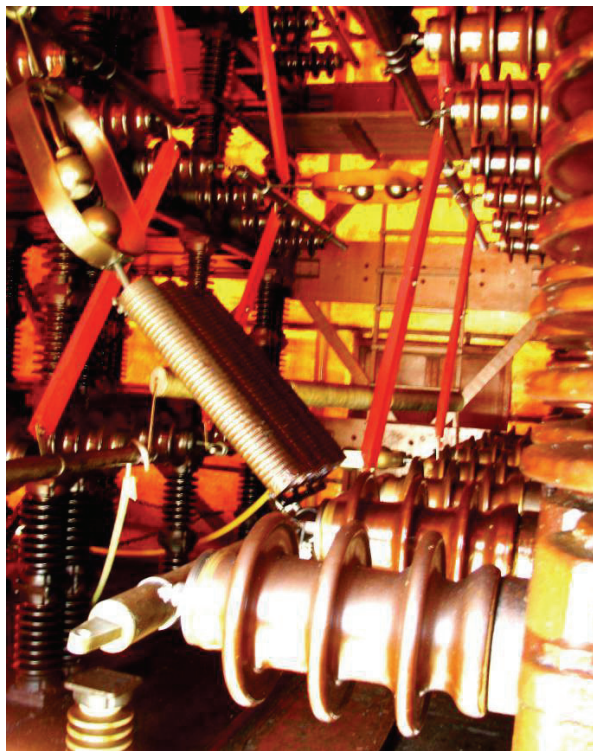


Рисунок 6 – Внешний вид основных элементов зарядно-разрядного контура генератора ГИН-4, содержащего в «новой» зарядной электрической схеме 32 сборных зарядных резистора номиналом 30 кОм каждый, выполненных на основе залитых эпоксидным компаундом 2-х секций по 50 шт. керамических резисторов типа ТВО-5-300 Ом

В результате произведенной замены в ЗРК генератора ГИН-4 каждая из его четырех ветвей «новых» зарядных резисторов R_3 на положительную и отрицательную полярность постоянного зарядного напряжения U_3 стала обладать суммарным активным сопротивлением, равным 240 кОм (восемь последовательно подключенных по высоте генератора резисторов по $R_3 = 30$ кОм каждый). Поэтому для данного варианта выполнения зарядных цепей

генератора ГИН-4 оценочное значение постоянной времени разряда его «емкости в разряде» $C_{\Gamma} = 0,125$ мкФ через ветви зарядных резисторов ($R_3 = 30$ кОм) станет приближенно равным $\tau_{32} \approx R_3 \cdot C_{\Gamma} \approx 30 \cdot 10^3 \times 0,125 \cdot 10^{-6} \approx 3750$ мкс. Тогда оценочное значение на уровне $0,5 \cdot U_m$ длительности получаемого на ОИ (длинном воздушном разрядном промежутке) без учета влияния активного сопротивления делителя ОДН-2 окажется приближенно равным $\tau_{12} \approx 0,7 \cdot \tau_{32} \approx 2625$ мкс. Постоянная времени заряда τ_{33} через формирующее активное сопротивление $R_{\Phi} = 4,28$ кОм нагрузочной емкости $C_H = 13,3$ нФ, рассчитанных на воздействие импульсного напряжения мегавольтного диапазона, в этом случае станет примерно равной $\tau_{33} \approx R_{\Phi} \cdot C_H \approx 56,9$ мкс. Поэтому оценочное значение длительности фронта $\tau_{\Phi 2}$ импульса напряжения на уровне $(0,3-0,9)$ от его амплитуды U_m при этом окажется приближенно равным $\tau_{\Phi 2} \approx 3 \cdot \tau_{33} \approx 171$ мкс. Что касается времени подъема T_{Π} для апериодического коммутационного импульса напряжения, то его оценочное значение при используемых обозначениях может быть найдено из следующего соотношения [2]: $T_{\Pi} = \tau_{32} \cdot \tau_{33} \cdot (\tau_{32} - \tau_{33})^{-1} \cdot \ln(\tau_{32}/\tau_{33})$.

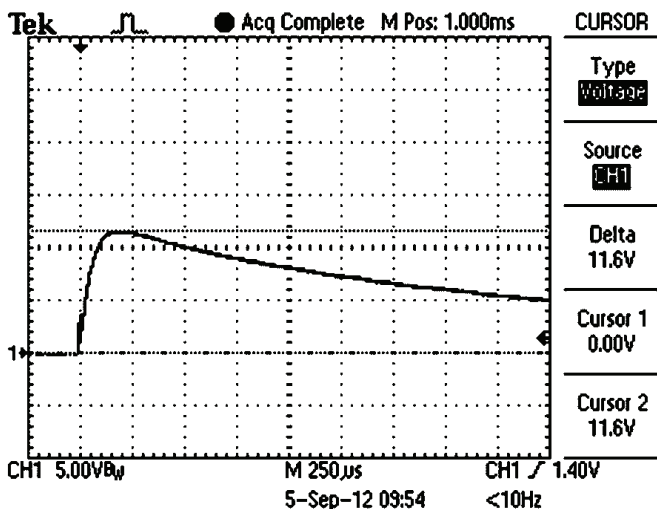


Рисунок 7 – Осциллограмма апериодического коммутационного импульса напряжения на воздушном разрядном промежутке длиной $l_p = 3$ м с электродами-шарами Ø 125 мм ($U_3 = \pm 32$ кВ; $U_m = 622,3$ кВ; $T_{\Pi} = 200$ мкс; $\tau_{12} = 1900$ мкс), полученного в разрядной цепи генератора ГИН-4 с его «новыми» зарядными резисторами ($R_3 = 30$ кОм) при использовании классической электрической схемы для формирования подобного импульса

Тогда с учетом приведенных выше значений τ_{32} и τ_{33} величина времени подъема T_{Π} для рассматриваемого апериодического коммутационного импульса напряжения может быть количественно оценена по указанному соот-

ношению в виде численного значения $T_{\Pi} \approx 238$ мкс. На рис. 7 приведена осциллограмма апериодического коммутационного импульса напряжения на воздушном разрядном промежутке ($l_p = 3$ м), полученная в разрядной цепи генератора ГИН-4 с его «новыми» зарядными резисторами ($R_3 = 30$ кОм) при использовании на его выходе классической электрической схемы (элементов R_{Φ} и C_H) для формирования подобного импульса напряжения. Из этой осциллограммы (масштаб по вертикали – 5 В/клетка; масштаб по горизонтали – 250 мкс/клетка) следует, что для нового ЗРК исследуемого генератора удастся надежно формировать на ОИ стандартный апериодический коммутационный импульс высокого напряжения ($U_m = 622,3$ кВ; $T_{\Pi} = 200$ мкс; $\tau_{H2} = 1900$ мкс). Поэтому можно заключить, что зарядные резисторы генератора ГИН-4 оказывают значительное влияние на длительность τ_H формируемых на нагрузке импульсов напряжения. В этой связи величины их активных сопротивлений R_3 должны выбираться в зависимости от требуемых временных параметров импульсов высокого (сверхвысокого) напряжения, генерируемых на ОИ.

Выводы

1. Постоянная времени разряда τ_{31} «емкости в разряде» C_T генератора импульсных напряжений через ветви его зарядных резисторов R_3 должна быть соизмеримой с величиной длительности τ_H формируемого на ОИ (электрической нагрузке) апериодического импульса высокого или сверхвысокого напряжения.

2. Генератор импульсных напряжений ГИН-4 с «новыми» зарядными резисторами ($R_3 = 30$ кОм) в классической схеме формирования на длинном воздушном разрядном промежутке апериодического коммутационного импульса напряжения способен генерировать стандартные импульсы высокого и сверхвысокого напряжения временной формы 250/2500 мкс с нормированными по действующему ГОСТ 1516.2-97 допусками.

Список литературы: 1. Межгосударственный стандарт ГОСТ 1516.2-97. Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжение 3 кВ и выше. Общие методы испытаний электрической прочности изоляции. – Минск: Изд-во стандартов, 1997. – 31 с. 2. Кужекин И.П. Испытательные установки и измерения на высоком напряжении. – М.: Энергия, 1980. – 136 с. 3. Баранов М.И., Колиушко Г.М., Кравченко В.И. и др. Генератор тока искусственной молнии для натурных испытаний технических объектов // Приборы и техника эксперимента. – 2008. – № 3. – С. 81-85. 4. Бейер М., Бек В., Меллер К. и др. Техника высоких напряжений: теоретические и практические основы ее применения / Пер. с нем. под ред. В.П. Ларионова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 555 с. 5. Пекарь И.Р., Фертик С.М. Мощная высоковольтная электроразрядная установка на 4 МВ и 1 МДж // Сб. докл. межвуз. конф.: «Электрофизическая аппаратура и электрическая изоляция». – М.: Энергия, 1970. – С. 22-26. 6. Баранов М.И., Бочаров В.А., Игнатенко Н.Н., Колобовский А.К. Мощные генераторы импульсных напряжений и токов предельных параметров для тестирования силового электроэнергетического оборудования // Электротехника і електромеханіка. – 2003. – № 2. – С. 75-80. 7. Техника больших импульсных токов и магнитных полей / Под ред. В.С. Комелькова. – М.: Атомиздат, 1970. – 472 с. 8. Баранов М.И., Бочаров Ю.П., Язбко Ю.П. и др. Высоковольтные сильноточные искровые коммутаторы для генераторов импульсных напряжений и токов // Технічна електродинаміка. – 2003. – № 3. – С.41-47. 9. ГОСТ 17512-82. Электрооборудование и электроустановки на напряжение 3 кВ и выше. Методы измерения при

испытаниях высоким напряжением. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 32 с. **10. Баранов М.И., Колиущко Г.М.** Экспериментальная оценка электрической прочности длинных воздушных промежутков в электродной системе «стержень-стержень» для микросекундных импульсов напряжения // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2011. – № 49. – С. 11–20.

Поступила в редколлегию 15.10.2012

УДК 621.3.022:537.311.8:621.7.044.7

Влияние зарядных резисторов генератора импульсных напряжений на длительность формируемых на нагрузке аperiodических импульсов сверхвысокого напряжения / М. И. Баранов, В. М. Зиньковский, Ю. П. Зябко, Н. Н. Игнатенко, Н. И. Круглик, В. Л. Цехмистро // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 15-25. – Бібліогр.: 10 назв.

Наведено результати експериментальних досліджень із впливу величин активних опорів зарядних резисторів ступенів генератора ГН-4 на часові параметри аперіодичних імпульсів надвисокої напруги мікро- і мілісекундної тривалості, які отримано на довгому повітряному розрядному проміжку.

Ключові слова: генератор імпульсної напруги, зарядний резистор, тривалість імпульсу напруги.

The results of experimental researches are resulted on influence of value of active resistances of charge resistors of stages generator of GPV-4 on the temporal parameters of aperiodic impulse of over-high-voltage of micro- and millisecond duration, got on a long air bit interval.

Keywords: generator of impulsive voltage, charge resistor, pulsewidth voltage.

УДК 621.762.4:537.527.3:542.86

Л. З. БОГУСЛАВСКИЙ, канд. техн. наук, зав. отд., ИИПТ НАН Украины, Николаев;

Д. В. ВИННИЧЕНКО, мл. науч. сотр., ИИПТ НАН Украины, Николаев;

Н. С. НАЗАРОВА, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ИИПТ НАН Украины;

Л. Е. ОВЧИННИКОВА, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ИИПТ НАН Украины

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СИНТЕЗА АМОРФНОГО НАНОУГЛЕРОДА ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫМ МЕТОДОМ ИЗ ГАЗООБРАЗНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Проведен анализ физических процессов и оценка типов синтезированного нанокуглерода из газобразных углеводородов с разной степенью гибридизации в результате высокочастотной высоковольтной электроразрядной обработки.

Ключевые слова: синтез нанокуглерода, степень гибридизации, высокочастотная высоковольтная электроразрядная обработка.

© Л.З.Богуславский, Д.В.Винниченко, Н.С.Назарова, Л.Е.Овчинникова, 2012

Введение. Промышленное производство углеродсодержащих наноматериалов, которые находят широкое применение в различных областях науки и техники благодаря сочетанию свойств и параметров, недостижимых для традиционных моно- и поли- кристаллических структур, сдерживается несовершенством методов их синтеза. С целью поиска физико-технических путей получения аморфного нанουглерода в результате плазмохимического синтеза из газообразных углеводородов проведен анализ высокочастотного высоковольтного электроразрядного метода синтеза.

Анализ предварительных исследований подтверждает возможность получения твердой углеродной сажи при электроразрядном воздействии высокочастотной дуги на газообразные углеводороды, при этом устраняются трудоемкие операции сушки, очистки и разделения по качественному и фракционному составу полученного нанουглерода. Установлено, что для синтеза нанουглерода из газообразных углеродсодержащих сред необходимо использовать неравновесную плазму, то есть создавать специальные условия синтеза [1]. В Институте импульсных процессов и технологий НАН Украины создана экспериментальная установка для плазмохимического синтеза нанουглерода из газообразного углеродсодержащего сырья посредством его высокочастотной разрядноимпульсной обработки, с помощью которой можно исследовать различные режимы синтеза [2].

Основные особенности данного метода получения аморфного нанουглерода заключаются в следующем [3]:

- при воздействии на газовое углеводородное сырье неравновесной плазмой дуги протекают физико-химические реакции разложения углеводорода и создаются условия для синтеза углеродных наноматериалов;

- для обеспечения условий увеличения вероятности спонтанной кристаллизации углерода в различные аллотропные формы используют переменный ток частотой до 100 кГц и формируют импульсно - периодическую дугу с различными формами импульсов;

- меняя электрические параметры разрядного контура получают электродинамические и термодинамические характеристики неравновесной дуги, необходимые для создания углеродных материалов заданной наноструктуры с малым статистическим рассеянием их свойств.

Целью работы является исследование физико-технических процессов синтеза нанουглерода в результате высокочастотной электроразрядной обработки газообразных углеводородов для прогнозирования типов продуктов синтеза.

Материалы исследований. Исходным сырьем для получения углеродных материалов, как показали проведенные прежде исследования [4], могут служить газы из гомологического ряда метана (алканов, C_nH_{2n+2} с sp^3 – гибридизацией), ряда этилену (алкенов, C_nH_{2n} с sp^2 – гибридизацией) и ряда ацетилена (алкинов, C_nH_{2n-2} с sp – гибридизацией). Существуют экспериментальные дан-

ные, которые свидетельствуют о влиянии степени гибридизации сырья на конечный продукт [5]. Поэтому можно ожидать, что в первом случае из-за sp^3 - гибридизации связей в молекулах исходного сырья можно прогнозировать получение в основном алмазоподобных наноглеродных материалов. Во втором случае из-за sp^2 - гибридизации можно прогнозировать получение фуллеренов и нанотрубок. И в третьем случае из-за sp - гибридизации – получение карбинов. Если в сырье присутствуют газы разных степеней гибридизации, то возможно образование структур со смешанным типом ближнего порядка [6].

Анализ физико-химических процессов в газообразном углеводородном сырье при действии на него разрядных токов показывает возможность реакций, в результате которых образуются углеродные материалы разных аллотропных форм. Действие высоковольтных импульсных разрядов на газообразные углеводороды приводит к химическим реакциям, которые отличаются от реакций пиролиза углеводородов. Это обусловлено локализацией высокой напряженности электрического поля в газообразной углеводородной среде в приэлектродных областях, которое создается высоковольтным генератором. При этом наблюдается деструкция углеводородов с гетеролитическим и гомолитическим разрывом связей как C-C так и C-H с наработкой ионов и активных радикалов и последующим их преобразованием. Для гетеролитического разрыва требуется энергия, которая в 3-4 раза превышает энергию, необходимую для гомолитического разрыва связей.

При гомолитическом разрыве связей C - C в алканах, который широко исследован для процесса разложения нефти, образуются свободные радикалы (R), которые могут претерпевать следующие преобразования:

- замещение ($R\cdot + R1 - R2 \rightarrow R - R1 + R2$);
- распад ($R\cdot \rightarrow R1 + M$);
- рекомбинация ($R\cdot + R1\cdot \rightarrow R - R1$);
- изомеризация с миграцией неспаренного электрона от первого до пятого атома C ($1-rn\cdot \rightarrow 5-rn$);
- диспропорционирование ($2 R\cdot \rightarrow M1 + M2$) (M - молекулярные продукты).

Вторичные цепные реакции разложения молекул происходят таким образом, что преобладающим продуктом в плазмохимическом процессе становится водород, что в свою очередь приводит к образованию в разрядном промежутке непредельных (ненасыщенных) углеводородов.

Таким образом, деструкция молекул алканов может привести к изменению степени гибридизации атомов углерода с sp^3 на sp^2 и sp и к образованию смеси углеводородных газов.

Наличие в разрядном промежутке сырья с разными типами гибридизации, в том числе образовавшихся в процессе разряда, является предпосылкой получения сложных структур с переходным типом гибридизации или с луковичной структурой (onion-like).

С целью проверки теоретических предпосылок образования при элек-

троразрядной обработке газообразных углеводородов различных углеродных наноструктур были исследованы физические процессы, происходящие при высоковольтном высокочастотном разряде в газообразных углеводородах.

Исследования проводились на экспериментальной установке для плазмохимического синтеза наноуглерода из газообразного углеродсодержащего сырья посредством его высокочастотной разрядноимпульсной обработки, созданной в Институте импульсных процессов и технологий НАН Украины, которая позволяет создавать различные условия для синтеза, а также имеет систему мониторинга процесса для контролирования параметров плазмохимической реакции в реальном времени [7].

В начале электроразрядной обработки напряженность электрического поля достигает $4 \cdot 10^7$ В/м и является причиной фотодиссоциации молекул углеводородов, которая вносит свой вклад в образование неравновесной плазмы между электродами. При этом наблюдается разрыв ковалентных связей углеводородов по линии С-С и С-Н. Высокая напряженность способствует возникновению высокоэнергетических электронов, которые обеспечивают преимущественно гетеролитический разрыв ковалентных связей, энергия которого приблизительно в три раза выше, чем энергия необходимая для гомолитического разрыва ковалентных связей. При этом образуются ионы обеих полярностей, что значительно повышает проводимость плазменного шнура и является причиной резкого увеличения разрядного тока. Типичные осциллограммы тока и напряжения при этом процессе показаны на рис. 1.

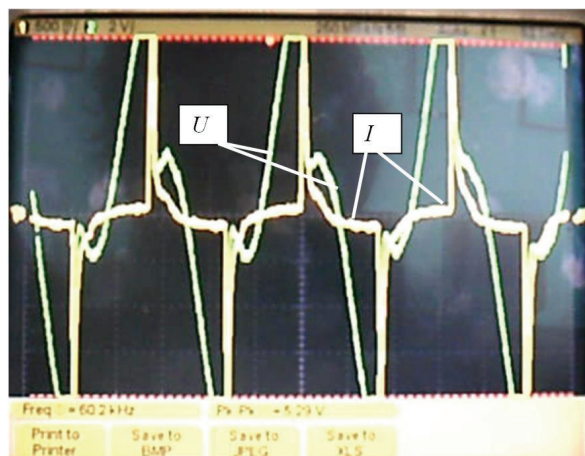


Рисунок 1 – Осциллограммы напряжения и тока при создании неравновесной плазмы (10 мкс/дел., 2кВ/ дел.)

Импульс тока имеет дельтовидную форму и ширину до 100 нс, напряжение на разрядном промежутке во время разряда снижается от 20 кВ приблизительно до 2 кВ, а потом в течении 10 мкс медленно снижается при не-

большом разрядном токе. Время протекания разрядного тока является недостаточным для интенсивного образования наноуглеродных структур, что подтверждается практическим отсутствием продуктов реакции при этом режиме. Очевидно, при таком режиме обработки газообразных углеводородов имеют место преимущественно реакции гетеролитического разрыва и присоединения, с образованием новых углеводородов по соответствующим реакциям с наработкой молекул с разными типами гибридизации. Излишки энергии выделяются в виде тепла.

При таком режиме выделения энергии в разрядном промежутке повышается температура, и за половину разрядного периода генератора импульсов разрядный промежуток целиком не деионизируется. Поэтому после нескольких сотен периодов разрядный промежуток начинает пробиваться при напряжении близком к 2 кВ. Энергия электронов, обусловленная сниженной напряженностью электрического поля, недостаточна для гетеролитического разрыва ковалентных связей, поэтому наблюдается преимущественно гомолитический разрыв и деструкция углеводородов по линии связей как С-С так и С-Н с наработкой активных радикалов и следующим их преобразованием соответственно типу реакций.

При этом наблюдается увеличение ширины импульса разрядного тока почти в 100 раз (рис. 2) и создаются условия для синтеза наноуглеродных структур.

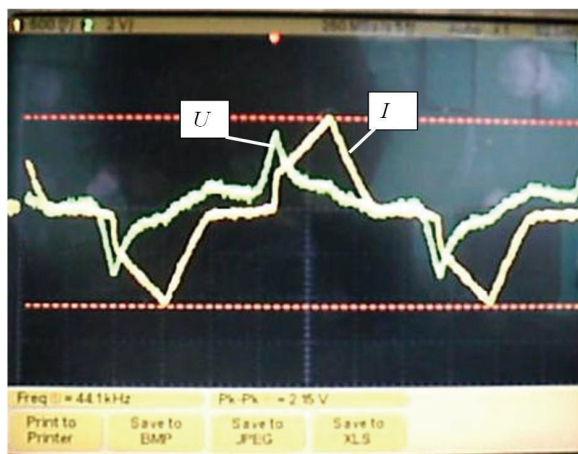


Рисунок 2 – Осциллограммы напряжения и тока при синтезе наноуглерода (5 мкс/дел., 2кВ/дел.)

Выводы. Проведенный анализ преобразований газообразных углеводородов под действием высоковольтных разрядных импульсов показал, что обработка углеводородов высокочастотным электроразрядным методом приводит к изменению степени гибридизации атомов углерода с sp^3 на sp^2 и sp и

к образованию смеси углеводородных газов.

Исследование физических электроразрядных процессов синтеза аморфного углерода показывает, что при разработанном методе реализуются несколько механизмов деструкции углеводородов, имеют место как гетеролитический, так и гомолитический разрыв ковалентных связей.

Анализ синтезированного аморфного наноуглерода показал, что разработанный метод синтеза позволяет получить чистый углерод с малым рассеянием размеров. Отсутствие примесей позволяет исключить операцию очистки наноуглерода при применении разработанного метода и делает его инновационно привлекательным.

Показана возможность вести целенаправленный поиск режимов получения наноуглеродных материалов различных аллотропных форм и размеров путем варьирования электрических и гидродинамических параметров источника плазмы и изменения условий протекания реакции с помощью переменного тока частотой до 100 кГц и формируя импульсно - периодическую дугу с различными формами импульсов. Обеспечивая необходимые электродинамические и термодинамические характеристики неравновесной дуги можно создавать углеродные материалы заданной наноструктуры.

Работа выполнена при частичной поддержке совместного проекта ГФФИ Украины (Ф 41/220 – 2012) и Белорусского РФФИ (Т11К – 130).

Список литературы. 1. Богуславский Л.З. О возможности синтеза наноуглерода при высокочастотном импульсно-периодическом электроразрядном воздействии на газообразные углеводороды // Электронная обработка материалов. – 2010. – № 4. – С. 73-82. **2.** Богуславский, Л. З. Экспериментальная установка для управляемого плазмохимического синтеза наноуглерода из газообразного сырья с системой контроля параметров / Л. З. Богуславский, Н. С. Назарова, С. С. Козырев, Л. Е. Овчинникова, Д. В. Винниченко, В. В. Диордийчук // Технічна електродинаміка. Тем. вип. «Силова електроніка та енергоефективність». – 2011. – Ч. 1. – С. 326-331. **3.** Пат. 95543 Україна МПК C01B 31/02 (2006.01), H05H 1/24 (2006.01), H05H 1/32 (2006.01). Спосіб одержання вуглецевих наноматеріалів (варіанти) / Л.З.Богуславський, Д.В.Винниченко, Н.С.Назарова (Україна); заявник і патентовласник ІПТ НАН України. – № а 2010 01186; заявл. 05.02.2010; Опубл. 10.08.2011 р., Бюл. № 15. – 9 с. **4.** Рудь А.Д. Структура углеродных наноматериалов, полученных плазмохимическим синтезом из углеродсодержащих газов / А.Д. Рудь, И.М. Кирьян, Л.И. Иващук, Г.М. Зелинская, Л.З. Богуславский, Н.С. Назарова, Д.В. Винниченко // Физика импульсных разрядов в конденсированных средах: Материалы XV Международной научной конференции (15-19 августа 2011). – Николаев: КП «Миколаївська обласна друкарня», 2011. – 230 с. – С. 117-120. **5.** Рудь А.Д. Электроразрядные методы синтеза УНМ и особенности их структурного состояния / А.Д.Рудь, Н.И.Кускова, В.Ю.Бакларь, Л.И.Иващук, Л.З.Богуславский, И.М.Кирьян // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2011. – Т. 75. № 11. – С. 1526-1532. **6.** Рудь А.Д. Исследование структуры УНМ, полученных методами электроразрядной обработки углеродсодержащих газов / А.Д.Рудь, И.М.Кирьян, Л.З.Богуславский, Г.М.Зелинская, Н. С. Назарова, Д.В.Винниченко // Металлофизика, новейшие технологии. – 2011. – Т. 33. Спецвыпуск. – С. 111-115. **7.** Богуславский, Л. З. Система мониторинга плазмохимического синтеза наноуглерода при высокочастотной разрядноимпульсной обработке газообразного углеродсодержащего сырья / Л. З. Богуславский, Н. С. Назарова, Л. Е. Овчинникова, Д. В. Винниченко, В. В. Диордийчук, С. С. Козырев // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып. «Техника и электрофизика высоких напряжений». – № 49. – 2011. – Х.: НТУ «ХПИ». – С. 27 -35.

Поступила в редколлегию 22.10.2012

Физические процессы синтеза аморфного наноуглерода высокочастотным электро-разрядным методом из газообразных углеводородов / Л. З. Богуславский, Д. В. Винниченко, Н. С. Назарова, Л. Е. Овчинникова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 25-31. – Бібліогр.: 7 назв.

Проведений аналіз фізичних процесів і оцінка типів синтезованого нановуглецю з газоподібних вуглеводнів із різним ступенем гібридизації унаслідок високочастотної високовольтної електророзрядної обробки.

Ключові слова: синтез нановуглецю, ступенем гібридизації, високочастотна високовольтна електророзрядна обробка.

The analysis of physical processes and the evaluation of synthesized nanocarbon types of gaseous hydrocarbons with varying degrees of hybridization resulting from high frequency high voltage electric discharge processing.

Keywords: nanocarbon synthesis, the degree of hybridization, the high frequency high voltage electric discharge processing.

УДК 621.3.015.3:537.523.3:697.946

Л. З. БОГУСЛАВСКИЙ, канд. техн. наук, зав. отд., ИИПТ НАН Украины, Николаев;

Л. Н. МИРОШНИЧЕНКО, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ИИПТ НАН Украины;

В. В. ДИОРДИЙЧУК, мл. науч. сотр., ИИПТ НАН Украины, Николаев;

Д. В. ВИННИЧЕНКО, мл. науч. сотр., ИИПТ НАН Украины, Николаев;

Н. С. ЯРОШИНСКИЙ, мл. науч. сотр., ИИПТ НАН Украины, Николаев

СОЗДАНИЕ МАКЕТНЫХ ОБРАЗЦОВ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ

Приведены результаты создания макетного образца и экспериментального стенда для электрофизических исследований комплексных систем электрофильтрации экологически опасных промышленных выбросов.

Ключевые слова: дополнительный высоковольтный импульсный источник питания, комплексные системы электрофильтрации, экологически опасные промышленные выбросы.

Введение. Актуальность предлагаемой тематики обусловлена чрезмерным увеличением в последние годы техногенных отходов, отравляющих атмосферу и наносящих непоправимый вред живой и неживой природе и существованию

© Л.З.Богуславский, Л.Н.Мирошниченко, В.В.Диордийчук, Д.В.Винниченко, Н.С.Ярошинский, 2012

планеты в целом. Ежегодно миллиарды тонн экологически вредных выбросов поступают в биосферу. Жесткие требования, применяемые по ограничению этих выбросов нормами ЕС, являются жизненной необходимостью.

Несмотря на большое количество исследований в этой области, проблема экологически чистого производства, проблема переработки и утилизации промышленных выбросов остается актуальной. В химическом составе выбросов есть разные классы веществ.

Разрядноимпульсная обработка некоторых классов органических соединений может привести не только к утилизации вредных выбросов, но и синтезу новых углеродных наноматериалов.

Экстремальные параметры температуры и давления, которые возникают при разрядноимпульсной обработке углеродсодержащих веществ, позволяют интенсифицировать процессы очистки разноимпедансных газовых выбросов.

Основная идея данной работы - создание комплексных систем газоочистки, суммирующих постоянное высокое напряжение действующих газоочистных систем с дополнительным высоковольтным импульсным напряжением, что позволит не только интенсифицировать процесс газоочистки, но и получить новые данные по электрофизическим процессам деструкции газовых выбросов.

Цель работы – создание макетного образца высоковольтного импульсного источника питания и экспериментального стенда для исследования процессов интенсификации газоочистки путем дозарядки разноимпедансной пыли в комплексных системах газоочистки.

Анализ проблемы. Создание условий для обеспечения эффективной импульсной дозарядки разноимпедансной пыли является сложной наукоемкой проблемой [1]. Необходимо контролировать и учитывать параметры аэрозольных потоков (скорость, состав, температуру, влажность, турбулентность). Необходимо учитывать, а при необходимости – корректировать, состояние электродной системы (расстояние между электродами, напряженность электрического поля, износ электродов и его влияние на процессы электрофильтрации, наличие дополнительных включений и т.д.). Необходимо учитывать и контролировать параметры питающей сети.

Дополнительный импульсный источник питания электрофильтров должен обеспечить выполнение этих требований. Для этого необходима интеллектуальная система управления, адаптивные алгоритмы управления с меняющимися в процессе работы координатами состояния, достаточное быстрое действие.

Кроме специальных требований, разрабатываемое высоковольтное оборудование должно соответствовать и общим требованиям к современному оборудованию.

Основные из них – своевременно реагировать на изменение характера

нагрузки и позволять адекватно воздействовать на регулирующие блоки при изменении контролируемых процессов, для этого необходима современная система управления питанием электрофилтра.

Основными требованиями к дополнительным импульсным источникам питания электрофилтров являются:

- стабильное обеспечение технологических параметров и необходимого диапазона их регулирования;
- надежная работа при изменении нагрузки от короткого замыкания до холостого хода;
- высокое быстродействие и согласование систем защиты и контроля с высоковольтной импульсной нагрузкой;
- минимальные массогабаритные показатели;
- приемлемая стоимость;
- электромагнитная совместимость с питающей сетью;
- высокий ресурс;
- ремонтпригодность (желательно резервирование наименее надежных узлов);
- высокая надежность;
- простота обслуживания (желательно "однокнопочное управление");
- высокий КПД и коэффициент мощности;
- экологическая чистота (уровень электромагнитных помех и акустических шумов должен соответствовать норме).

Создание источника питания с заданными статическими, динамическими, экономическими, энергетическими, экологическими, массогабаритными характеристиками во многом зависит от уровня используемых ключевых элементов, устройств управления и принципов, заложенных в построение системы в целом. Институт импульсных процессов и технологий обладает достаточным опытом для создания подобных систем.

Современный уровень развития техники позволяет реализовать практически любые алгоритмы технологического процесса.

Существует, однако, способ значительного сокращения материальных затрат, который предусматривает блочный принцип построения требуемого по технологии источника питания.

В данном случае могут быть разработаны унифицированные блоки с необходимыми (по требованиям промышленного объекта) параметрами мощности, напряжения, длительности и крутизны импульсов.

Качество, надежность и стабильность работы систем электрофилтрации при стохастическом характере протекающих в них процессов во многом зависит от уровня системы управления процессом.

Материалы исследований. В качестве основной схемы комбинированного питания выбрана схема на основе импульсного трансформатора.

Источники высоковольтного импульсного питания можно разделить на две основные группы: источники с коммутацией энергии на низковольтной стороне

и источники с коммутацией энергии на высоковольтной стороне. Источники с коммутацией на высоковольтной стороне отличаются простотой схемотехнических решений, но требуют применения большого числа высоковольтных устройств, стоимость которых значительна, а их эксплуатационный ресурс крайне низок. Это приводит к снижению надежности оборудования, что делает невозможным его использование в условиях тепловых электростанций.

Источники с коммутацией на низковольтной стороне значительно выигрывают по стоимости и надежности, учитывая номенклатуру современных полупроводниковых приборов и надежность их работы. В таких схемах формирование импульсов производится на стороне низковольтной обмотки, что позволяет использовать современные полупроводниковые коммутаторы, обладающие высоким ресурсом работы.

В ходе работы были рассмотрены два варианта схемы модели источника питания с коммутацией на низковольтной стороне. В первой - подключение к электрофильтру осуществлялось через развязывающий конденсатор. В этом случае на нагрузке формируется знакопеременный импульс напряжения.

Более совершенной схемой сопряжения источников питания в комбинированной системе электропитания фильтров можно считать схему вольтодобавки. На рис. 1 приведена модель источника питания с коммутацией на низковольтной стороне при подключении через схему вольтодобавки.

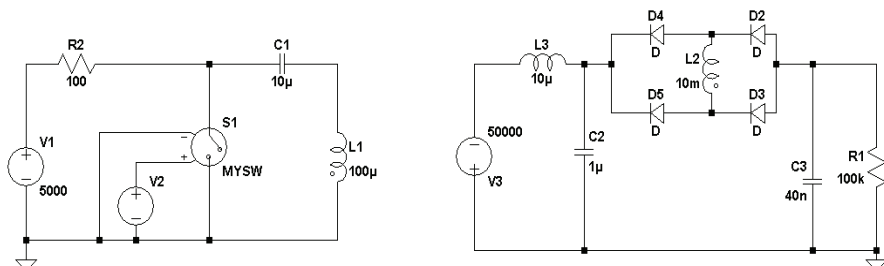


Рисунок 1 – Модель дополнительного источника питания с коммутацией на низковольтной стороне при подключении через схему вольтодобавки

Использование такой схемы позволяет получить форму импульса напряжения на нагрузке, приведенную на рис. 2.

Как видно из рис. 2, схема вольтодобавки позволяет избежать колебаний напряжения на нагрузке, так как отсутствуют дополнительно введенные реактивные элементы (разделительный конденсатор). В данном случае источник высоковольтных импульсов является униполярным по отношению к нагрузке.

Лабораторный стенд создан для исследований электрофизических процессов систем комплексной электрофильтрации экологически опасных выбросов. На рис. 3 представлена принципиальная схема а на рис. 4 – внешний вид экспериментального стенда для исследования режима комбинированного

питания электрофилтра. Основу схемы составляют два источника высокого напряжения. Первый – источник постоянного напряжения, моделирующий работу штатного агрегата питания электрофилтра. Он состоит из автотрансформатора, предназначенного для плавного регулирования питающего напряжения и повышающего трансформатора-выпрямителя ВТМ, для сглаживания пульсаций питающего напряжения введена фильтрующая емкость C_0 .

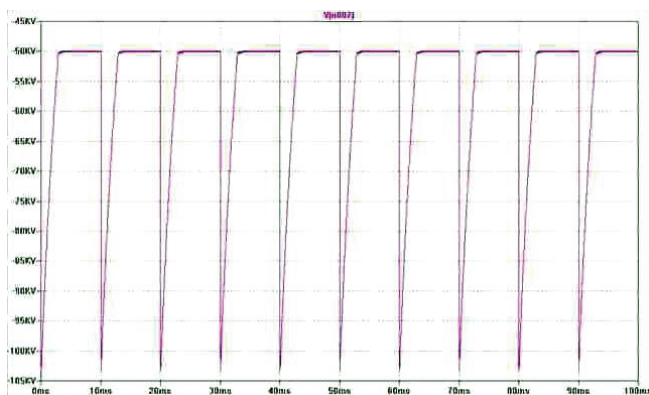


Рисунок 2 – Форма импульса напряжения на нагрузке при использовании схемы вольтодобавки

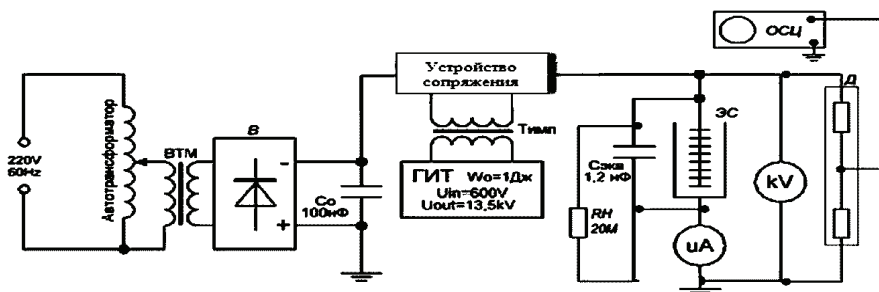


Рисунок 3 – Принципиальная схема экспериментального стенда

Второй источник питания – модельный источник импульсного высокого напряжения, который представляет собой маломощный генератор импульсных токов, нагруженный повышающим импульсным трансформатором $T_{имп}$, который был специально разработан для проведения данных экспериментов (рис. 5). В свою очередь импульсный трансформатор $T_{имп}$ включен в схему питания модели нагрузки. Емкостный накопитель в первичной цепи ГИТ с импульсным трансформатором выбирался из условия $C_{ист} \geq C_{нагр} n^2$, где n – коэффициент трансформации импульсного трансформатора. Амплитуда U_m импульсного напряжения на выходе источника питания достигает 30 кВ.

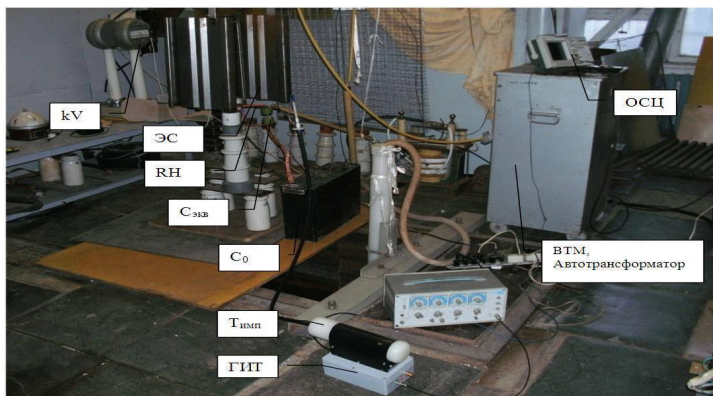


Рисунок 4 – Внешний вид экспериментального стенда



Рисунок 5 – Внешний вид модельного импульсного источника питания на основе импульсного трансформатора

Нагрузка комбинированной системы электропитания моделировалась фрагментом электродной системы (ЭС) электрофильтра и емкостью $C_{\text{экв}}$ величиной 1,2 нФ, соответствующей паразитной емкости электродной системы фильтра. Фрагмент электродной системы позволял получить нелинейную составляющую в общей вольтамперной характеристике модели нагрузки.

Фрагмент электродной системы состоял из основной электродной системы и дополнительных коронирующих электродов. Основные коронирующие электроды были закреплены между двумя осадительными с фиксированным разрядным промежутком 135 мм. Дополнительные коронирующие электроды располагались перпендикулярно торцам осадительных электродов. Устройство макета электродной системы позволяло регулировать величину разрядного промежутка между торцами осадительных электродов и дополнительными коронирующими электродами.

Наложение импульсного напряжения на постоянное напряжение штатного источника питания выполнялось с помощью устройства высоковольтного сопряжения.

Ток, протекающий через нагрузку, регистрировался с помощью микроамперметра (μA). Для минимизации влияния утечки высоковольтных конденсаторов ($C_{\text{экв}}$) микроамперметр включен только в цепь электродной системы. Напряжение на нагрузке измерялось киловольтметром (kV), форма питающего напряжения регистрировалась с помощью осциллографа (ОСЦ), подключенного параллельно нагрузке через делитель напряжения (Д).

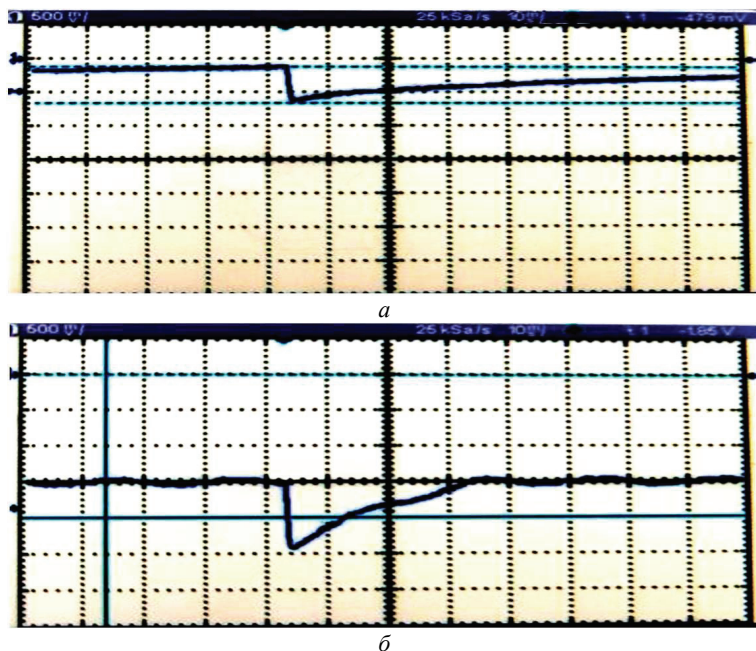


Рисунок 6 – Форма импульса напряжения на нагрузке при $U_{\text{пост}}=3 \text{ kV}$ (а); $U_{\text{пост}}=45 \text{ kV}$ (б)

Схема экспериментального стенда работает следующим образом. После подачи питания автотрансформатором устанавливается необходимый уровень питающего напряжения. Высокое синусоидальное напряжение выпрямляется с помощью выпрямителя В, а двух-(одно-) полупериодные пульсации высокого напряжения сглаживаются фильтрующим конденсатором C_0 . В случае, когда источник импульсного питания не генерирует импульсы напряжения, напряжение питания штатного источника прикладывается к нагрузке через устройство сопряжения. Стоит заметить, что при такой ситуации высоковольтные выводы импульсного трансформатора $T_{\text{имп}}$ оказываются под одинаковым потенциалом, что препятствует его намагничиванию. При генерировании высоковольтного импульса напряжения устройство сопряжения суммирует напряжение штатного

источника питания и импульсного источника питания.

Фактически использование устройств сопряжения позволяет рассматривать соединение источников питания электрофильтра как последовательное соединение двух источников ЭДС.

Формы импульсов напряжения, полученных для различных значений уровня постоянного напряжения на нагрузке, приведены на рис. 6.

Выводы. Выполнен анализ вариантов построения систем комбинированного питания электрофильтра, определены требования к построению импульсных высоковольтных высокочастотных дополнительных источников питания, разработан макетный образец импульсного источника питания, разработан лабораторный стенд для исследования процессов деструкции газовых выбросов комплексной системы газоочистки.

Проведены экспериментальные исследования электромагнитных процессов в импульсных источниках питания при различных частотах следования импульсов и различных положениях дополнительных коронирующих электродов, которые показали, что при увеличении напряжения основного источника питания до 50 кВ за счет существенного снижения сопротивления нагрузки при разряде в пылевом потоке длительность импульса может достигать величины не более 100-500 мкс.

Преимущество создания дополнительных импульсных блоков в действующих системах электрофильтрации состоит в существенном уменьшении суммарной материалоемкости, энергоемкости системы и обеспечении качественно нового уровня электрофильтрации разноимпедансной пыли.

Список литературы. 1. Богуславский Л.З. Влияние режимов работы высоковольтного источника питания на формирование стримерного коронного разряда и эффективность систем газоочистки / Л.З. Богуславский, Л.Н. Мирошниченко, Ю.Г. Казарян, Н.С. Ярошинский // Технічна електродинаміка. Тем. вип. Силова електроніка та енергоефективність. – 2011. – Ч. 1. – С. 44-49.

Поступила в редколлегию 24.10.2012

УДК 621.3.015.3:537.523.3:697.946

Создание макетных образцов высоковольтного оборудования комплексных систем электрофильтрации экологически опасных промышленных выбросов / Л. З. Богуславский, Л.Н. Мирошниченко, В.В. Диордийчук, Д. В. Винниченко, Н. С. Ярошинский // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 31-38. – Бібліогр.: 1 назв.

Наведено результати створення макетного зразка та експериментального стенда для електрофізичних досліджень комплексних систем електрофільтрації екологічно небезпечних промислових викидів.

Ключові слова – додаткове високовольтне імпульсне джерело живлення, комплексні системи електрофільтрації, екологічно небезпечні промислові викиди

It is described high voltage high power pulse current generator creation applied for electropulse installations. The result of studying processes of high voltage impulse and its characteristics is attached. References 6, figures 6

Keywords – high voltage high frequency pulse current generator, high voltage charge processes, high frequency pulse, exhausted gas treatment.

Н.И.БОЙКО, д-р техн.наук, гл.науч.сотр., НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;
С. Ф. КОНЯГА, аспирант, НТУ «ХПИ»

ОБРАБОТКА ГАЗОВ ИМПУЛЬСНЫМ КОРОННЫМ РАЗРЯДОМ

Рассмотрены вопросы использования коронного разряда для обработки газов. Описаны основные процессы, приводящие к обработке. Описаны свойства стримеров в коронном разряде, энергетические свойства электронов в стримерах. Приведены основные задачи, возникающие при моделировании процессов обработки газа.

Ключевые слова: коронный разряд, стример, обработка газа, активная частица, моделирование.

Введение. Коронный разряд (КР) успешно используется в электрофильтрах и озонаторах. Разрабатываются установки с использованием КР для очистки газов от различных газообразных примесей, таких как оксиды азота и серы, органических веществ. Показана возможность применения таких установок при высокой производительности и приемлемых энергозатратах. В последнее время получают развитие новые направления использования КР, например, риформинг метана, синтез органических веществ, требующие значительно большей удельной энергии на единицу объема газа.

Для технологического использования важными свойствами являются однородность обработки всего объема реактора, стабильность КР. Необходимо знать параметры технологических установок для достижения требуемых параметров обработки.

Цель работы: привести основные задачи, возникающие при определении эффекта от воздействия коронного разряда на газ, представить описание физических процессов, происходящих при обработке газов коронным разрядом.

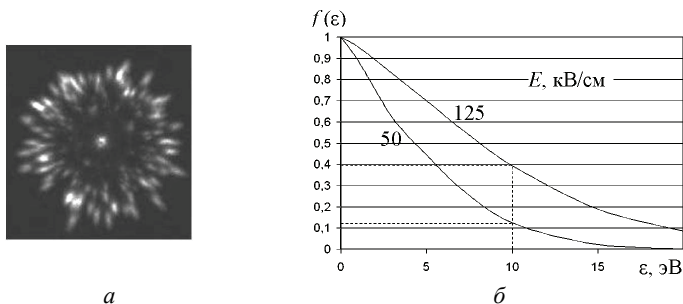
Обработка газов в КР. Процессы обработки газов в КР можно разделить на электроразрядные и химические. Электроразрядные процессы являются источником активных частиц, которые определяют интенсивность и направление дальнейших химических реакций.

Использование КР для обработки газов возможно благодаря воздействию образующихся в плазме КР активных частиц: электронов, ионов, радикалов, возбужденных частиц на молекулы газа.

Для целого ряда научно-технических, практических приложений одним из наиболее перспективных является стримерный коронный разряд.

Стримеры КР представляют собой ионизованные каналы диаметром 0,1–1 мм. На рисунке (а) показано изображение стримерной короны, разви-

вающейся в течении 5 нс [1]. В стримерном КР образуется низкотемпературная неравновесная плазма с энергиями электронов до 20 эВ [2]. За счет разделения зарядов в головке стримера образуется заряженный слой толщиной 10 – 100 мкм, который создает напряженность поля 50-200 кВ/см в области 0,1 – 1 мм. В этой области происходит наработка активных частиц, так как электроны набирают высокую энергию.



Изображение стримерного КР (а) и плотность распределение электронов по энергиям в головке стримера (б)

Моделирование процессов КР. Поскольку быстропротекающие процессы стримерного КР сложно подробно исследовать экспериментально, используют различные модели КР. Для определения эффекта от воздействия КР на газ можно выделить следующие задачи для различных стадий развития разряда.

1. Определение разрядных характеристик и констант скоростей плазмохимических реакций. Для этого необходимо определить распределение электронов по энергиям при различных напряженностях поля.

Поскольку ионизация и диссоциация происходит в результате столкновения электронов с энергиями 5-20 эВ с молекулами газа, важно более точно определить функцию распределения (ФР) электронов в этом диапазоне энергий.

На рисунке (б) показано распределение электронов по энергиям при напряженности поля 50 и 125 кВ/см. Описание метода расчета приведено в [1]. Можно определить, что для характерных максимальных напряженностей поля стримера 10-40 % электронов обладает энергией более 10 эВ.

С помощью ФР можно определить константы скоростей различных процессов образования активных частиц и структуру затрат энергии на процессы столкновения электронов с молекулами. Эти зависимости можно использовать для более эффективного использования энергии. Для этого необходимо определить наиболее важные реакции, которые приводят к обработке газа.

2. Формирование стримера.

Скорость наработки активных частиц зависит от напряженности поля. Время воздействия повышенной напряженности на участок объема определяется скоростью распространения стримера. Поэтому для нахождения концен-

трации наработанных частиц необходимо определить распределение электрического поля и параметры стримеров.

При моделировании процессов формирования стримеров необходимо учитывать дрейф заряженных частиц в электрическом поле, диффузию, процессы образования и нейтрализации заряженных частиц и пространственное распределение зарядов в создаваемом ими поле.

Повышение напряжения и вводимой мощности в КР ограничивается его переходом в искровой разряд. Возможность такого перехода зависит от соотношения процессов образования и исчезновения заряженных частиц.

После образования первичного стримера, замыкающего разрядный промежуток, в канале могут происходить дополнительные ионизационные процессы, приводящие к снижению его сопротивления. При некоторых условиях ионизация может привести к росту тока стримера более 10 мА, что приводит к разогреву канала, термической ионизации, и переходу в искровой разряд.

3. Распад плазмы стримера.

Скорость нейтрализации заряженных частиц и потеря электропроводности каналов стримеров определяют допустимую частоту следования импульсов напряжения. Заряженные частицы, которые остаются в межэлектродном промежутке к началу очередного импульса, могут влиять на характеристики разряда или привести к искре.

На стадии распада стримера также происходят различные химические реакции с широким диапазоном постоянных времени 10^{-9} - 10^{-3} с. В результате этих реакций происходит обработка газа и образование конечного продукта.

Выводы

1. Коронный разряд является источником высокоактивных частиц, что позволяет использовать его для различных технологических целей.

2. Обработка газа происходит в результате воздействия высокоэнергетических электронов на молекулы газа и образования в результате этого различных активных микрочастиц.

3. Расчет эффекта от воздействия КР на газ представляет собой комплексную задачу, для решения которой требуется учитывать множество процессов.

Список литературы: 1. *Van Veldhuizen E.M., Rutgers W.R.* Corona Discharges: Fundamentals and Diagnostics // Proc. Frontiers in Low Temp. Plasma Diagn. IV, Netherlands. – 2001. – P. 40-49. 2. *Коняга С.Ф.* Расчет функции распределения электронов по энергиям в импульсном коронном разряде // Электротехника і електромеханіка. – 2010. – № 4. – С. 52-55.

Поступила в редколлегию 10.10.2012

УДК 537.523.3

Обработка газов импульсным коронным разрядом / Н.И. Бойко, С.Ф. Коняга // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 39-42. – Бібліогр.: 2 назв.

Розглянуто питання використання коронного розряду для обробки газів. Описано основні процеси, що призводять до обробки. Описано властивості стримерів в коронному розряді, енер-

гетичні властивості електронів в стримерах. Наведено основні задачі, що виникають при моделюванні процесів обробки газів.

Ключові слова: коронний розряд, стример, обробка газу, активна частинка, моделювання.

Questions of using the corona discharge for gas treatment are considered. Main processes leading to the treatment are described. Streamer properties in corona discharge and electron energetic properties in streamers are described. Main tasks which appear when modelling processes of gas treatment are given.

Keywords: corona discharge, streamer, gas treatment, active particle, modelling.

УДК 621.746.044.4.001.57

Д. В. ВИННИКОВ, мл. науч. сотр., ННЦ ХФТИ, Харьков;

А. В. САКУН, зам. нач. фак., канд. биол. наук, факультет военной подготовки НТУ «ХПИ»;

А. П. МЕСЕНКО, инспектор, Гостехногенбезопасность, Киев;

К. В. КОРЫТЧЕНКО, нач. НИЛ, канд. техн. наук, факультет военной подготовки НТУ «ХПИ»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КУМУЛЯЦИИ УДАРНЫХ ВОЛН, СОЗДАВАЕМЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ВЗРЫВОМ ПРОВОЛОЧЕК

В работе рассмотрена кумуляция ударных волн, создаваемых при электрическом взрыве проволоки, применительно к задаче метания тел. Установлено влияние потенциала ионизации материала проволоки на максимальную область расширения продуктов взрыва. Получены осциллограммы токов и напряжений для разрядов через взрывающиеся проволоки при разных потенциалах ионизации материала проволоки.

Ключевые слова: кумуляция ударных волн, электрический взрыв проводника, проволока, метание тел.

Постановка проблемы. Развитие авиационно-космической и военной техники, энергетики и других отраслей промышленности вызывает необходимость детального экспериментального изучения возможных направлений применения ударно-волнового воздействия от электрического взрыва проводника (ЭВП) на конструкционные материалы, с целью изменения их свойств, получения новых фазовых состояний, а также возможности линейного ускорения массивных тел, в том числе диэлектрических.

Явление ЭВП представляет значительный интерес для исследований физики конденсированного состояния, физики плазмы, высокотемпературной теплофизики, высоковольтной электротехники и смежных областей науки [1]. Поэтому изучение протекающих при ЭВП процессов и установление не-

© Д. В. Винников, А. В. Сакун, А. П. Месенко, К. В. Корытченко, 2012

известных закономерностей данного явления необходимы как с научной, так и с практической точек зрения.

Процессы, протекающие при ЭВП, исследованы в работах [2-7]. Получены требования к оптимальным режимам взрыва, условиям согласования, выработаны методики расчета параметров электрической цепи и т.д. Вместе с тем, недостаточно изучены процессы, связанные с кумуляцией ударных волн, создаваемых взрывом проводников при их нецилиндрическом расположении. Поэтому требует исследования возможность применения существующих методик расчета ЭВП применительно к задаче метания тел за счет кумуляции ударных волн, создаваемых при электрическом взрыве проволок.

Цель работы. Экспериментальное исследование возможности кумуляции ударных волн при ЭВП, расположенных в воронке конусной формы. Исследование влияния материала ЭВП, отличающегося потенциалами ионизации, и дуговой стадии разряда на усиление ударного действия волн при ЭВП.

Основная часть. Для осуществления поставленных целей был создан лабораторный стенд, принципиальная электрическая схема которого представлена на рис. 1.

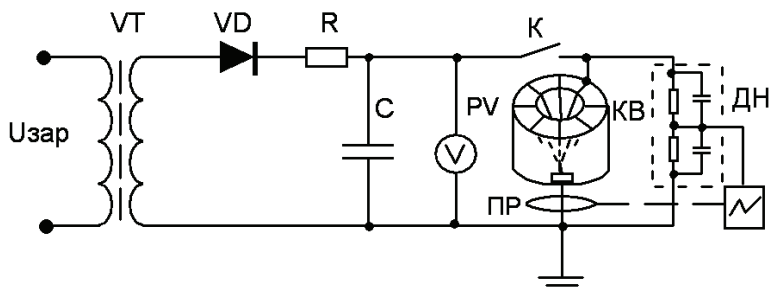


Рисунок 1 – Принципиальная электрическая схема установки: VT – высоковольтный трансформатор НОМ – 10; VD – выпрямитель; R – зарядное сопротивление; C – емкостной накопитель; K – ключ; KB – конусная воронка с взрывающейся проволокой, PV – киловольтметр; PR – пояс Роговского, ДН – компенсированный делитель напряжения

В ходе экспериментов применялось следующее диагностическое оборудование: ток измерялся поясом Роговского, с погрешностью измерения 1%, выходное напряжение 1V соответствует току 100А в измеряемой цепи; делитель напряжения Textronix 6015A (1000:1) с возможностью измерения 20kV DC, 40kV в импульсе; делитель напряжения PINTEK_{HVD}-40 максимальное напряжение 28kV AC; мультиметр SANWA CD771; оцифровка данных осуществлялась осциллографом Tektronix TPS2024B с полосой пропускания 200MHz частотой дискретизации 2Gs/s.

Иницирующее устройство выполнено из диэлектрического материала высотой 35 мм и диаметром 50 мм и представляет собой воронку с выемкой

конусной формы (угол конусности 60°), в которой симметричным образом расположены проволоки, длина проволок 20 мм, количество 9 шт., материал Cu, Al.

Эффект кумуляции ударных волн в результате ЭВП из Al выглядит следующим образом.



Рисунок 2 – Воронка с выемкой конусной формы

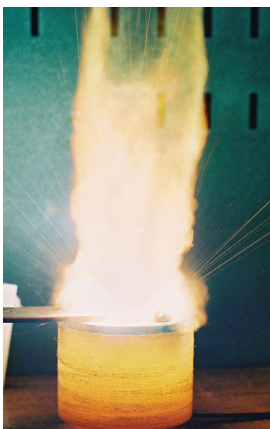


Рисунок 3 – Кумуляция ударных волн

Отчетливо видна направленность воздействия, что обеспечивается формой воронки. Высота плазменного столба 100...150 мм. В ходе экспериментов силовое воздействие определялось метательной способностью устройства. Метались проводящие и не проводящие тела массой 3...100 гр. Данное устройство позволяет метать диэлектрики, т.к. воздействующим фактором является ударная волна, образующаяся в результате взрыва проводника, что дает преимущества данного метода перед такими как, например, магнитно-импульсная технология и другими, основанными на электромагнетизме.

Для повышения эффективности кумулятивного эффекта были рассмот-

рены геометрические условия согласованного взрыва для алюминиевого проводника, полученные эмпирическим путем, для заданных предварительно энергетических параметров разрядного контура [2]:

$$d_{onm} = 2 \left[\frac{W_0}{z \rho \sigma_0 (\lambda + r)} \right]^{1/4}; \quad (1)$$

$$l_{onm} = 2 \cdot 10^{-3} U_0^4 \sqrt{LC}, \quad (2)$$

где d_{onm} , l_{onm} – диаметр и длина проводника в оптимальном режиме взрыва; W_0 – запасенная энергия конденсаторной батареи; ρ – удельная плотность алюминия (2700 кг/м^3), σ_0 – его удельная электропроводность ($37 \cdot 10^6 \text{ см/м}$); λ – удельная теплота плавления (390 кДж/кг); r – удельная теплота парообразования металла (10900 кДж/кг); z – волновое сопротивление цепи $Z = (L/C)^{1/2}$.

Так для имеющихся параметров $C_0 = 60 \text{ мкФ}$; $U_0 = 1,5 \text{ кВ}$, $Lc = 0,1 \text{ мкГн}$. $d_{onm} = 0,4 \text{ мм}$; $l_{onm} = 4,8 \text{ мм}$. Зная длину применяемых в эксперименте проволок, определим оптимальные значения U и C при постоянной $L = 0,1 \text{ мкГн}$. Пусть $C = 60 \text{ мкФ}$, тогда $U_{onm} = 6,25 \text{ кВ}$. Если же мы оставляем $U = 1,5 \text{ кВ}$, то $C_{onm} = 246 \text{ мкФ}$.

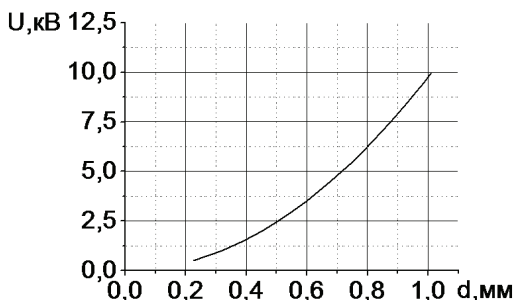


Рисунок 4 – Зависимость d от U при $C = 60 \text{ мкФ}$, $L = 0,1 \text{ мкГн}$

Поскольку в наших условиях проще изменять напряжение, то для новых параметров цепи $C_{onm} = 60 \text{ мкФ}$, $U_{onm} = 6,25 \text{ кВ}$, $L = 0,1 \text{ мкГн}$, $d_{onm} = 0,8 \text{ мм}$. При одновременном использовании 9 проволок диаметр каждой составит $0,08 \text{ мм}$. В настоящей работе эксперименты проводились с проволокой $d = 0,1 \text{ мм}$, что сравнимо с расчетными данными. В дальнейших экспериментах планируется определить соблюдение условий, описываемых формулами 1, 2, для пакета проволок.

В данной работе рассматривается взрыв проводника без паузы тока. В экспериментах, проводимых с целью метания тел, особое внимание уделялось наличию дуговой стадии разряда, которая начинается после собственно взрыва проводника и характеризуется разрядом по продуктам распада ЭВП. Дуга оказывает на произошедший взрыв сопровождающее действие, обеспе-

чивающее большее расширение разрядного объема. Полагается, что дуговая стадия может усиливать импульс давления, то есть увеличивать метательное действие ЭВП.

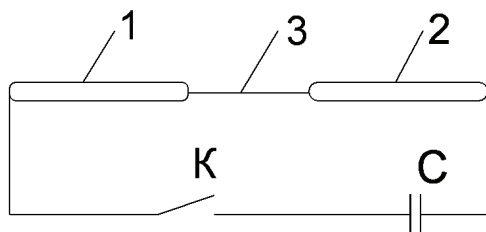


Рисунок 5 – 1,2 – положительный и отрицательный электроды,
3 – проволока, K – ключ, C – конденсатор

Для определения влияния свойств материала проводника на характер разряда были проведены следующие эксперименты. Электрическая схема установки идентична представленной на рис. 1, в качестве нагрузки применялась система с одной проволокой. Способ подключения представлен на рисунке 5 выше

Толщина проволоки из Al $v = 16$ мкм, ширина $h = 0,5 \dots 0,7$ мм (что соответствует $d = 0,11$ мм), длина $l = 10 \dots 25$ мм. Применялась малоиндуктивная емкость номиналом 7 мкФ (собств. $L = 15$ нГн), общая индуктивность разрядной цепи составила 50 нГн, напряжения заряда емкости равнялось $U = 1,5$ кВ.

Получены осциллограммы тока, и напряжения ЭВП для заданного способа подключения проволоки. Здесь наблюдается картина характерная с описываемой в литературе [3].

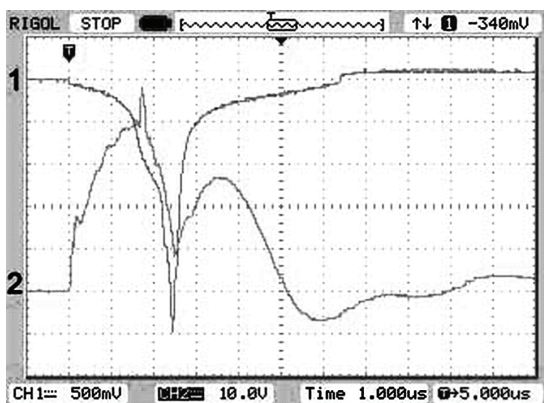


Рисунок 6 – Характерная для ЭВП осциллограмма тока и напряжения:
1 – напряжение, 2 – ток

Видны этапы нагрева проводника (ток и напряжение возрастают), его плавление (небольшой рост кривой напряжения), момент, когда сопротивление растет из-за нарушения металлической проводимости, ток начинает резко падать на фоне резкого скачка напряжения, затем происходит пробой межэлектродного промежутка по продуктам взрыва проводника, горит дуга. Из осциллограмм видно, что время жизни твердой фазы 2...2,5 мкс, время расплавленного состояния 0,2...0,4 мкс, время жизни дугового разряда 2,5...4 мкс. Напряжение в момент скачка превышает напряжение на конденсаторе и составляет $U = 3$ кВ, $I = 3,5$ кА.

На рисунках, представленных ниже, отображены результаты статического фотографирования взрывов различных материалов и соответствующие им осциллограммы тока.

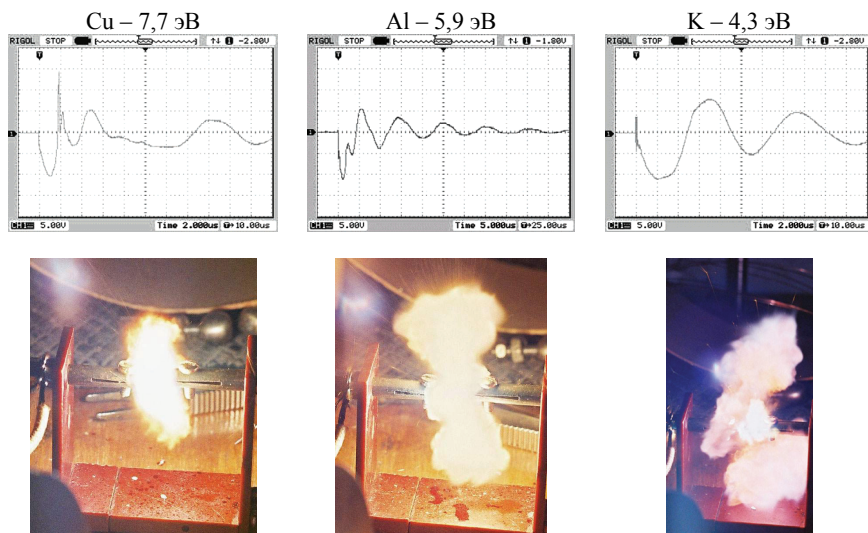


Рисунок 7 – Осциллограммы тока и соответствующие им фотографии ЭВП

Фотосъемка производилась фотоаппаратом ФЭД, в затемненных условиях, при открытом в момент взрыва затворе, так что на пленке фиксировались конечная стадия ЭВП, соответствующая максимальному расширению светящейся области. По нашему мнению характер взрыва зависит от материала проводника, а именно от его потенциала ионизации. Он самый низкий у калия, что приводит к более быстрому созданию и нагреву плазмы, что видно из осциллограммы. На фото видно, что в данном случае газодинамическое расширение наибольшее у калия, при прочих равных параметрах.

Выводы:

1. На основании предварительных экспериментальных исследований считается целесообразным применение эффекта кумуляции ударных волн,

создаваемых при взрыве проволоки для метания тел.

2. Экспериментально установлено влияние потенциала ионизации материала проводника на газодинамическое расширение. Получено, что в случае снижения потенциала ионизации материала ЭВП при прочих равных параметрах разрядной цепи, со снижением потенциала ионизации возрастает конечная область расширения продуктов взрыва, уменьшается время задержки перехода к дуговой стадии. На основании полученных результатов полагается, что усиление ударного действия волн при ЭВП может быть достигнуто за счет применения материалов ЭВП с низким потенциалом ионизации.

Список литературы: 1. Григорьев А.Н. Автореферат. Исследование электрического взрыва проводников как источника импульсного давления. <http://www.referun.com/n/issledovanie-elektricheskogo-vzryva-provodnikov-kak-istochnika-impulsnogo-davleniya>. 2. С.А. Хайнацкий Условия реализации оптимального электрического взрыва проводников в жидкости // Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев. 3. Ю.А.Котов Электрический взрыв проволоки – метод получения слабоагрегированных нанопорошков // Институт электрофизики УрО РАН. 620016, Екатеринбург, ул.Амундсена, 106, e-mail:kotov@iep.uran.ru. 4. Д.Б.Кучер, Т.В.Зонтова Длительность механизма быстрого электрического взрыва проводников под воздействием токов спирального взрывоманитного генератора // Академия военно-морских сил имени П.С.Нахимова, ул. Дыбенко 1А, Севастополь, 99028. 5. С.Ю.Давыдов О соотношении потенциала ионизации и работы выхода: металлы // Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет, 197376 Санкт-Петербург, Россия. 6. А.Н. Григорьев Потери энергии в разряднике и его коммутационная характеристика при электрическом взрыве проводника // НИИ высоких напряжений Томского политехнического университета. 7. В.И.Орешкин, С.А.Баренгольц, С.А. Чайковский Численные исследования интегрального удельного действия тока при электрическом взрыве проводников // Институт сильноточной электроники СО РАН 634055 Томск, Россия; институт общей физики РАН 119333 Москва, Россия; Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН 119991 Москва, Россия.

Поступила в редколлегию 19.10.2012

УДК 621.746.044.4.001.57

Экспериментальное исследование кумуляции ударных волн, создаваемых электрическим взрывом проволок / Д. В. Винников, А. В. Сакун, А. П. Месенко, К. В. Корытченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 42-48. – Бібліогр.: 7 назв.

У роботі розглянута кумуляція ударних хвиль створюваних при електричному вибуху дроту, у тому числі для метання тіл. Встановлено вплив потенціалу іонізації матеріалу дроту на кумуляцію ударних хвиль. Отримані вольт амперні характеристики розрядів дротів. Визначені оптимальні геометричні розміри дроту. Встановлена можливість метання тіл, що проводять струм, так і діелектричних тіл. Потрібно продовжити дослідження впливу дугової стадії розряду на метання тіл.

Ключові слова: кумуляція ударних хвиль, електричний вибух провідника, дріт, метання тіл.

Shock waves cumulation created by the electrical wire explosion for the throwing of objects has been considered. Ionization potential influence produced by the wire material on the shock waves cumulation has been established. Current – voltage curves of wire discharges have been obtained. Optimal geometric dimension of wires have been determined. The throwing capability of conductors and non – conductors have been established. The arc stage of discharge influence on object throwing requires further research.

Keywords: Shock wave cumulation, electrical wire explosion, wire, object throwing.

З.А.ВОРОНИНА, зав. отд., НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;
О.Ю. ГЛЕБОВ, ст. науч. сотр., НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;
В.И. ДОЦЕНКО, канд. техн. наук, НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;
В.М. ЖИНЖИКОВ, НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;
Г.М. КОЛИУШКО, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., зам. директора,
НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕНИЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

В статье перечислены основные функции заземляющих устройств (ЗУ), приведен перечень проверок ЗУ согласно нормативных документов, а также перечень основных недостатков ЗУ различных объектов.

Ключевые слова: заземляющее устройство, электробезопасность, выравнивание и уравнивание потенциалов, релейная защита и автоматика, подстанции.

Введение. В современных условиях заземляющее устройство (ЗУ) выполняет следующие функции [1]:

- защита от напряжений прикосновения и шага при повреждении изоляции (то есть выравнивание потенциалов на поверхности земли);
- обеспечение действия релейных защит от замыканий на землю;
- защита изоляции низковольтных цепей и оборудования;
- защита подземного оборудования и коммуникаций от токовых перегрузок;
- обеспечение действий защит от перенапряжений;
- снижение электромагнитных влияний на вторичные цепи;
- отвод в грунт токов молнии;
- отвод в грунт рабочих токов (токи несимметрии, токи при использовании земли в качестве провода и т. п.);
- обеспечение взрыво- и пожаробезопасности;
- уравнивание потенциалов;
- защита от статического электричества.

ЗУ является неотъемлемой частью электроустановки. В аварийных режимах именно ЗУ имеет определяющее значение для обеспечения электробезопасности и надежности функционирования. Поэтому определение состояния ЗУ является актуальной задачей.

Нормативные требования по диагностике ЗУ. С целью определения состояния ЗУ сотрудники НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» в соавторстве с сотрудниками ГП «ДонОРГРЭС» в 2003 году разработали нормативный документ ГНД 32.20.303 «Випробування та контроль пристроїв заземлення еле-

ктроустановок. Типова інструкція», а в 2009 году пересмотрели и выпустили в виде СОУ 31.2-21677681-19:2009 «Випробування та контроль пристроїв заземлення електроустановок. Типова інструкція».

Данный документ предусматривает следующие виды проверок:

- проверка конструктивного исполнения ЗУ;
- проверка соединения заземляемых частей электроустановки с ЗУ;
- проверка соединения естественных заземлителей с ЗУ;
- определение путей растекания тока при коротком замыкании (КЗ);
- измерение сопротивления ЗУ электроустановок;
- измерение напряжения прикосновения;
- проверка напряжения на ЗУ при стекании с него тока КЗ;
- проверка коррозионного состояния;
- определение удельного сопротивления грунта методом вертикального электрического зондирования.

Специально для выполнения указанных выше измерений и проверок сотрудники НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» разработали измерительный комплекс КДЗ–1У. Этот комплекс введен в Реестр измерительной техники, допущенной к применению в Украине.

Основное достоинство разработанной методики заключается в том, что работы выполняются на действующем объекте (без снятия напряжения и без какой-либо документации на ЗУ). Естественно данная методика позволяет проверять монтаж ЗУ на соответствие проектной документации по окончании строительства или ремонта.

Анализ результатов диагностики ЗУ. На сегодняшний день сотрудниками НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» обследовано около 1000 объектов. Среди них все четыре ныне действующие атомные электростанции, около полутора десятка тепловых электростанций, три гидроэлектростанции Днепроовского каскада, около 800 подстанций 35 – 750 кВ, газокompрессорные и нефтеперекачивающие станции, установки связи, а также здания и сооружения промышленного и иного назначения.

Анализ результатов диагностики ЗУ, полученных за последние пятнадцать лет, позволяет утверждать, что ЗУ практически всех объектов на момент обследования не удовлетворяли требованиям ПУЭ как по конструктивному выполнению, так и по значениям контролируемых параметров.

Недостатки ЗУ обусловлены целым рядом как объективных, так и субъективных факторов. К объективным факторам можно отнести естественную коррозию заземляющих проводников, что приводит, в конце концов, к их полному разрушению. Геофизические свойства грунта, протекание блуждающих токов также оказывают разрушающее действие на элементы ЗУ. Близость и агрессивность грунтовых вод вносит немалую лепту в разрушение ЗУ.

К субъективным факторам следует отнести следующие.

1. Проектная организация выполняла проектирование ЗУ согласно действовавших на момент проектирования нормативных документов, которые не

отвечают современным более жестким требованиям.

2. Строительно-монтажная организации, выполнявшая строительную часть подстанций и ЗУ, допускали отступления от проектной документации, которые по окончании строительства не проверялись.

3. Организация, выполнявшая ремонт ЗУ, допустила нарушения требований ПУЭ.

Следующие недостатки ЗУ можно считать типичными для обследованных объектов.

1. Вся территория открытого распределительного устройства (ОРУ) не занята сеткой ЗУ.

2. Расстояние от оборудования до заземлителя не редко превышает 1,5 м.

3. Горизонтальные заземлители проложены на разной глубине.

4. Отсутствие соединения продольных и поперечных горизонтальных заземлителей в местах их пересечения.

5. Металлическая ограда объекта присоединена к ЗУ, а выравнивающая потенциалы шина за пределами объекта отсутствует.

6. Здание общеподстанционного пункта управления (ОПУ) и другие здания (компрессорная, аппаратная пожаротушения, маслохозяйство и др.) не имеют внешнего контура заземления, а связь внутреннего контура (системы уравнивания потенциалов здания) с ЗУ осуществляется по заземленным с двух сторон проводящим частям кабелей различного назначения (защитные и экранирующие оболочки силовых и контрольных кабелей, PEN проводники кабелей 0,4 кВ сети собственных нужд), металлоконструкциям кабельных сооружений, проводящим частям бытовых и технологических инженерных коммуникаций (коммунальный водопровод, воздухопровод, пожарный водопровод, маслопровод).

7. При расположении здания ОПУ между двух ОРУ разных классов напряжения отсутствует необходимое количество связей между ЗУ этих ОРУ (должно быть не менее четырех) и отсутствуют необходимое количество связей между ЗУ этих ОРУ, проходящие в непосредственной близости от здания ОПУ (должно быть две связи).

8. В местах установки силовых трансформаторов (автотрансформаторов), короткозамыкателей, разрядников и ограничителей перенапряжений (ОПН) отсутствует сетка ЗУ с ячейкой 6×6 м.

9. Трансформаторы (автотрансформаторы) и их нейтрали связаны с ЗУ только по заземленным с двух сторон проводящим частям кабелей различного назначения, трубам пожаротушения, рельсам, металлоконструкциям портала, что не обеспечивает должного отвода токов в грунт.

10. У разъединителей не заземлены механизмы ручных приводов.

11. У воздушных выключателей в случае аварии большая часть аварийного тока (от 50 до 90 %) может растекаться по воздухопроводу высокого давления (20 атм.) и заземленным с двух сторон проводящим частям кабелей, что обусловлено отсутствием у воздушных выключателей гальванической

связи между корпусом (баком) выключателя и заземленным основанием (рамой), на котором установлен выключатель.

12. Конденсаторы связи (КС) присоединены к ЗУ длинными (10 м и более) проводниками и в случае аварии большая часть аварийного тока (до от 20 до 50%) может протекать по экранирующей оболочке радиочастотного кабеля. Радиочастотные кабели прокладываются в грунте на глубине нескольких сантиметров.

13. На подстанциях в качестве молниеотводов используются осветительные мачты с установленными на них стержневыми молниеприемниками. Прокладка кабеля 0,4 кВ электропитания осветительного оборудования выполнена с нарушением требований ПУЭ: кабель прокладывается в грунте на подходе (10 м) к молниеотводу и далее по молниеотводу не в металлической трубе.

14. Отдельностоящий молниеотвод устанавливают в непосредственной близости от здания ОПУ, а токоотвод молниеотвода присоединяют только к внутреннему контуру (системе уравнивания потенциалов) ОПУ, что в случае прямого удара молнии неизбежно приведет к заносу высокого потенциала в ОПУ. Иногда токоотвод молниеотвода подсоединяют непосредственно к заземляющему спуску высоковольтного оборудования.

15. Отдельностоящий или порталный молниеотвод установлен на расстоянии 20-30 см от кабельного канала и его токоотвод присоединен к металлоконструкции канала, что в случае прямого удара молнии неизбежно приведет к электрическому пробое изоляции кабелей, проложенных в этом канале. Металлическую ограду ОРУ или внешнюю ограду подстанции приваривают к металлической конструкции молниеотвода.

16. Токоотводы молниеотводов, установленных на крышах зданий, не редко выполнены с нарушением нормативных документов по молниезащите: не соблюдены безопасные расстояния от оконных и дверных проемов и др.

17. Расположение кабельных каналов на многих подстанциях не отвечает требованиям по электромагнитной совместимости (ЭМС). Элементы металлоконструкции кабельных каналов не редко находятся в неудовлетворительном состоянии вследствие коррозии и не выполняют защитных экранирующих функций.

18. При прокладке кабелей в кабельных каналах не выдерживаются расстояния между силовыми и контрольными кабелями. Очень часто кабели лежат «в навал». При вводе кабелей в здание ОПУ защитные и экранирующие оболочки кабелей не присоединяются к внутреннему контуру (системе уравнивания потенциалов) здания. При прокладке кабелей в грунте не выдерживается глубина прокладки. Кабели не защищены от механических повреждений. Не редко кабели укладываются прямо на горизонтальные заземлители.

19. Шкафы управления разъединителями не имеют заземляющих спусков и соединяются с ЗУ по заземленным с двух сторон проводящим частям

силовых и контрольных кабелей.

20. Бетонные порталы на некоторых подстанциях не имеют видимых заземляющих спусков. После ремонта порталов (бетонирования его основания) заземляющие спуски также становятся невидимыми.

21. Заземление вышек связи выполняется с нарушением требований ПУЭ и других нормативных документов по заземлению устройств связи: не выполнено уравнивание потенциалов между вышкой и оборудованием связи; отсутствуют устройства защиты от импульсных помех на вводе кабелей связи в здание (помещение) связи. В случае прямого удара молнии в вышку связи указанные недостатки неизбежно приводят к сбоям и даже к физическому разрушению устройств связи.

22. Металлические ограды вокруг элементов ОРУ (трансформаторов собственных нужд, разрядников, ОПН, КС и др.) не заземлены.

23. На многих обследованных подстанциях выявлены места вероятного выноса высокого потенциала за пределы подстанции. Вынос потенциалов возможен по трубам водоснабжения, канализации, а также по заземленным с двух сторон проводящим частям кабелей различного назначения.

24. При проведении диагностики выполняется определение нормируемой величины – сопротивление ЗУ. Для некоторых подстанций это требование не выполняется. Особенно это характерно для небольших подстанций с неразвитой сеткой ЗУ, занимающей маленькую площадь, а также для подстанций, построенных на грунтах с большим удельным сопротивлением.

25. При проведении ремонтных работ заземляющие проводники (спуски) иногда выполняются либо из арматуры, либо из проволоки диаметром 6 – 8 мм, что не удовлетворяет требованиям по термической стойкости к току КЗ. Ремонтируемое (или новое) оборудование присоединяется к ЗУ проводниками длиной более 1,5 м. Группа оборудования соединяется заземляющим проводником последовательно. Иногда не выполняются соединения продольных и поперечных заземлителей в местах их пересечения, а там, где выполняются имеют место нарушения требований по длине сварного шва и защите от коррозии.

26. На некоторых подстанциях выявляются группы оборудования, которые связаны между собой, но связи с общим ЗУ не имеют. Этот недостаток характерен для больших магистральных подстанций.

Для иллюстрации указанных недостатков на рис. 1-9 приведены примеры ЗУ подстанций, расположенных в различных частях Украины. Приведенные рисунки позволяют заключить, что недостатки не зависят от географического расположения подстанций, а обусловлены скорее субъективными факторами, нежели коррозионными процессами различной природы.

На рис. 1 изображен план подстанции, расположенной в восточной части Украины. В нижней части рисунка расположено ОРУ-220 кВ и автотрансформаторы 220/110 кВ, в средней – ОРУ-110 кВ и трансформаторы 110/35 кВ, в верхней – ОРУ-35 кВ. Слева расположено здание ГЩУ. Эта подстанция является одной из самых старых подстанций, она претерпела несколько реконструкций, в

том числе с повышением класса напряжения. Для того, чтобы более четко представить конструктивное исполнение ЗУ, на рис. 2 изображен план ЗУ, здание ГЩУ, а также трансформаторы. Видно, что отсутствует равномерная сетка ЗУ, имеют место отдельные части ЗУ, не соединенные между собой, беспорядочное присоединение к ЗУ трансформаторов, здание ГЩУ не присоединено к ЗУ искусственными заземлителями, а присоединено лишь заземленными с двух сторон проводящими частями кабелей различного назначения.

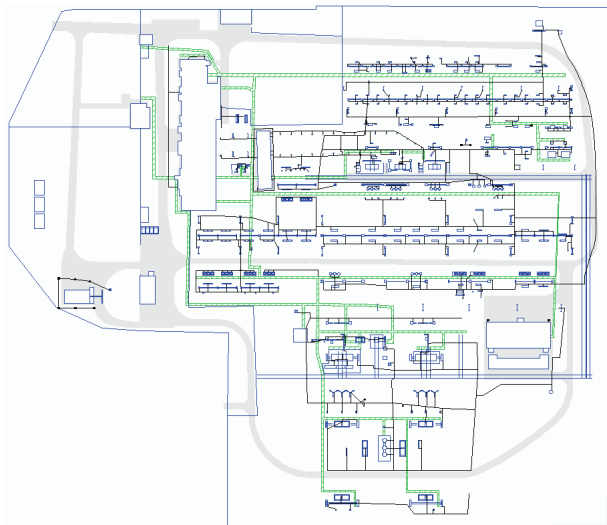


Рисунок 1 – План подстанции в восточной части Украины

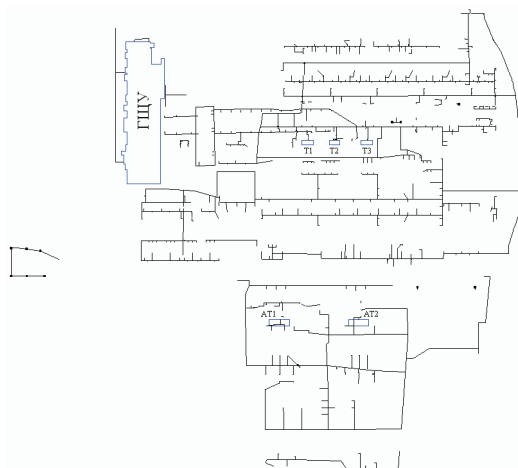


Рисунок 2 – План ЗУ, здание ГЩУ, трансформаторы подстанции

На рис. 3 изображен план подстанции, расположенной в центральной части Украины. В нижней части рисунка расположено ОРУ-330 кВ, в средней – автотрансформаторы 330/110 кВ, в верхней – ОРУ-110 кВ и здание ГЩУ. На рис. 4 изображен план ЗУ, здание ГЩУ и автотрансформаторы. Очевидно что сетка ЗУ уже более равномерная, хотя занимает не всю территорию, но также как и на предыдущей подстанции, имеет место беспорядочное присоединение к ЗУ автотрансформаторов и здание ГЩУ не присоединено к ЗУ искусственными заземлителями.

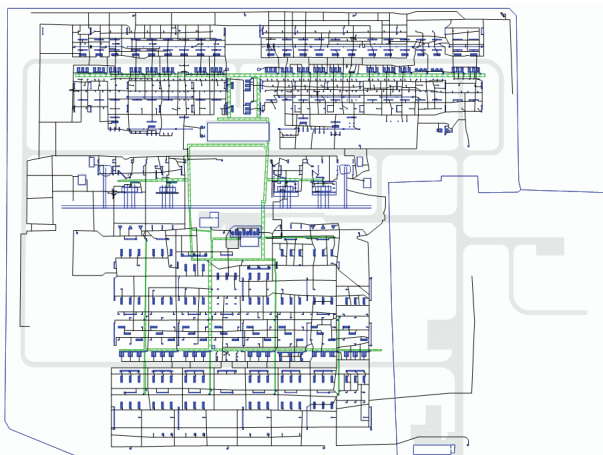


Рисунок 3 – План подстанции в центральной части Украины

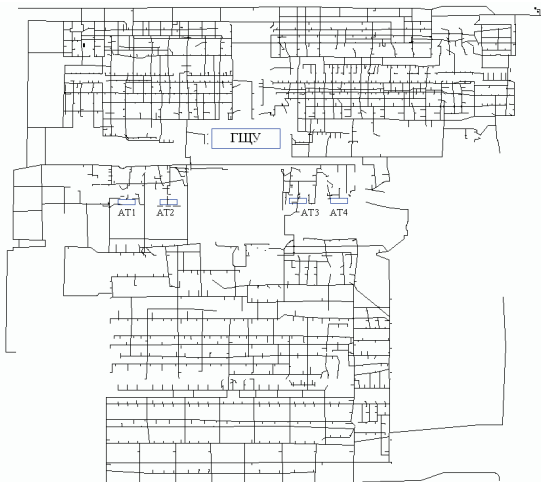


Рисунок 4 – План ЗУ, здание ГЩУ, трансформаторы подстанции

На рис. 5 изображен план подстанции, расположенной в западной части Украины. В правой части рисунка расположено ОРУ-330 кВ, в средней – ОРУ-220 кВ и здание ГЩУ, в левой – ОРУ-110 кВ, в нижней – трансформаторы и автотрансформаторы. На рис. 6 изображен план ЗУ, здание ГЩУ, а также трансформаторы и автотрансформаторы. Как и в первом примере отсутствует равномерная сетка ЗУ, имеют место отдельные части ЗУ, не соединенные между собой, беспорядочное присоединение к ЗУ трансформаторов и автотрансформаторов. Однако здание ГЩУ присоединено к ЗУ подстанции тремя заземляющими проводниками.

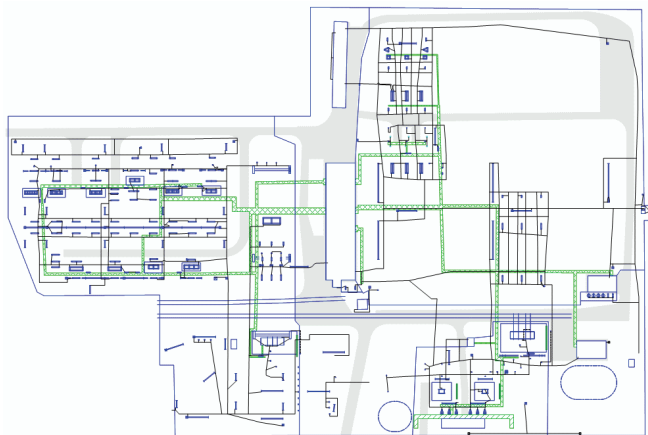


Рисунок 5 – План подстанции в западной части Украины

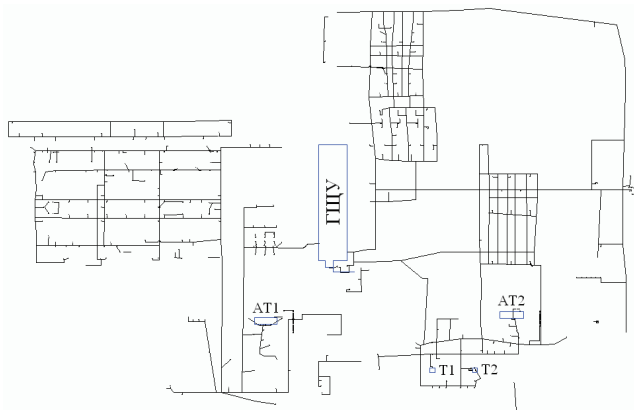


Рисунок 6 – План ЗУ, здание ГЩУ, трансформаторы подстанции

На рис. 7 изображен план подстанции, которая находится в ведении Железной дороги. В верхней части расположено ОРУ-35 кВ, в нижней – транс-

форматоры и здание ГЩУ. На рис. 8 изображены план ЗУ, здание ГЩУ и трансформаторы. В отличие от всех предыдущих примеров имеет место равномерная сетка на всей территории подстанции, многократное присоединение здания ГЩУ к ЗУ, трансформаторы присоединены к сетке ЗУ короткими заземляющими проводниками. Сотрудники НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» выполнили диагностику ЗУ всего одной подстанции, находящейся в ведении Железной дороги, и эта подстанция разительно отличается от других. Все ли подстанции Железной дороги находятся в таком состоянии – авторам не известно, но эта подстанция позволяет почувствовать разницу.

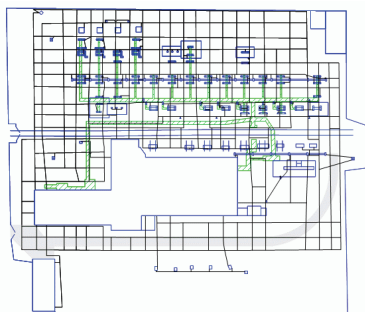


Рисунок 7 – План подстанции, находящейся в ведении железной дороги

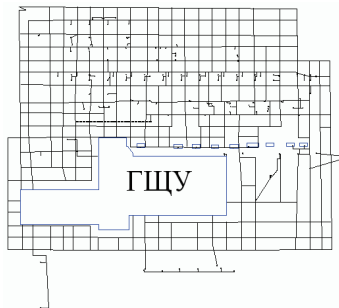


Рисунок 8 – План ЗУ, здание ГЩУ, трансформаторы подстанции

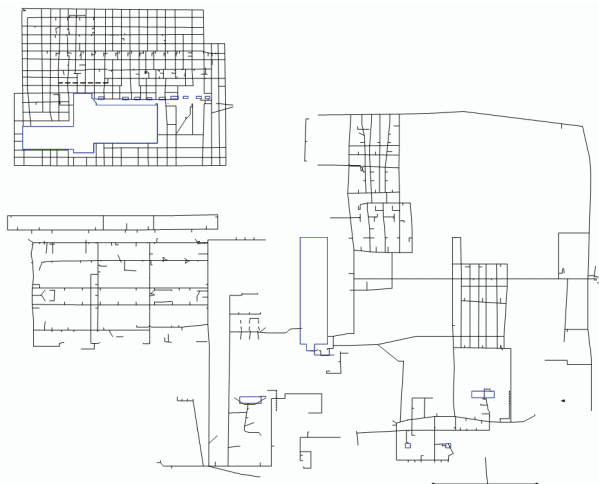


Рисунок 9 – План ЗУ, здание ГЩУ, трансформаторы подстанции

Для того, что бы эта разница была более ошутима, на рис. 9 изображены планы ЗУ двух последних подстанций в одном масштабе. Не правда ли, есть к чему стремиться?!

На рис. 10 изображено ЗУ подстанции (см. рис. 1 и 2) с рекомендациями по ремонту, направленными на выполнение требований ПУЭ:2006 в части обеспечения электробезопасности. Приведенные рекомендации возможно не удовлетворяют требованиям электромагнитной совместимости вторичных и первичных цепей в полной мере, но все же лучше, чем ничего. К тому же на сегодняшний день отсутствуют нормативные основания для разработки рекомендаций по ЭМС. В ПУЭ:2006 лишь указано, что ЗУ должно обеспечивать требования ЭМС, но каким именно образом этого достичь – не указано.

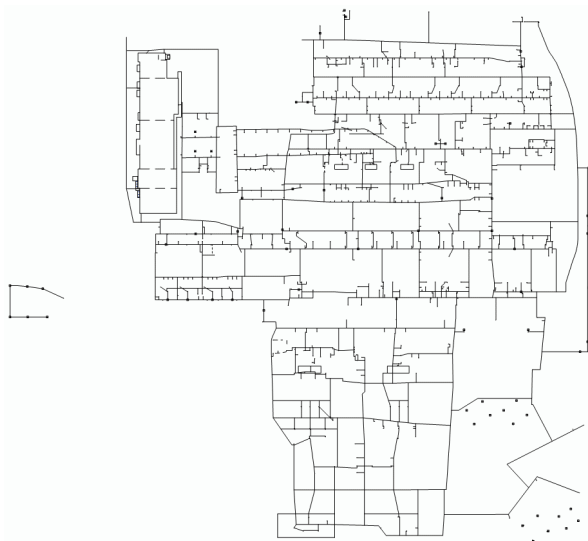


Рисунок 10 – План ЗУ, здание ГЩУ, трансформаторы подстанции с учетом рекомендаций

Выводы

1. Необходимо выполнить работы по электромагнитной диагностике ЗУ для всех энергообъектов и для всех ЗУ необходимо составить паспорта с исполнительными схемами.
2. Во время строительства и реконструкции подстанций необходимо контролировать проведение монтажа ЗУ. Акт скрытых работ оформлять после полной проверки ЗУ на соответствие проектной документации.
3. Необходимо разработать нормативные требования к ЗУ по обеспечению электромагнитной совместимости первичных и вторичных цепей на подстанциях 110 кВ и выше.

Список литературы: 1. Кац Е. Л., Меньшов Б. Г., Целебровский Ю. В. Заземляющие устройства электроустановок высокого и низкого напряжений // Сер. «Электрические станции и сети» (Итоги науки и техники). – М., ВИНТИ, 1989.

Поступила в редколлегию 17.10.2012

Методика и результаты проведения диагностики заземляющих устройств / З. А. Воронина, О. Ю. Глебов, В. И. Доценко, В. М. Жинжиков, Г. М. Колишко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХП», 2012. – № 52 (958). – С. 49-59. – Бібліогр.: 1 назв.

В статті наведено основні функції заземлюючих пристроїв (ЗП), перелік перевірок ЗП згідно до нормативних документів, а також перелік основних недоліків ЗП різних об'єктів.

Ключові слова: заземлюючий пристрій, електробезпека, зрівнювання та вирівнювання потенціалів, релейний захист та автоматика, підстанції.

The main function of grounding system (GS), a list of GS test procedures in relation with normative documents and a list of GS disadvantage of different objects are given in the paper.

Keywords: grounding system, electrical safety, potential balancing, equipotential bonding, relay protection and automatics, substation.

В.Н. ГОРБЕНКО, ген. директор, НПП «СИГМА-М», Харьков

ПРОЕКТ ОТРАСЛЕВОГО СТАНДАРТА ГП НАЭК «ЭНЕРГОАТОМ» ПО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Требования Технического регламента Украины по электромагнитной совместимости не могут быть реализованы без активности центральных органов власти. В качестве примера, представлен проект отраслевого стандарта ГП НАЭК «Энергоатом», учитывающий специфику отрасли.

Ключевые слова: технический регламент, электромагнитная совместимость, виды испытаний, оборудование, атомная электрическая станция.

В рамках «Комплексного плану організаційно-технічних заходів на 2011 р.» ГП НАЭК «Энергоатом, нашим предприятием разрабатывается проект отраслевого стандарта по электромагнитной совместимости технических средств СОУ НАЕК 029:2012 [1].

СОУ НАЕК 029 распространяется на электротехнические, электронные и радиоэлектронные изделия (оборудования, аппаратуру) в том числе, на электрические привода разного назначения, а также на изделия, которые содержат электрические, электронные и радиоэлектронные компоненты (схемы), для конструктивно завершённых технических изделий, которые поставляются на АЭС.

В 2004-2012 годах в Украине разработаны и введены общесистемные стандарты (ДСТУ) по требованиям электромагнитной совместимости (ЭМС),

которые гармонизированы со стандартами EN и IEC 61000 серии 61000, и публикации CISPR. Наличие принятых ДСТУ не означает, что они внедрены в той или иной отрасли промышленности, поскольку, стандарты не являются обязательными для применения. Для их внедрения необходимо создавать родовые стандарты для вида или видов продукции той или иной отрасли, как предусматривается международной практикой. Рассмотрим, что происходит по внедрению ДСТУ по ЭМС на примере атомной энергетики, где, можно ожидать, порядка намного больше, чем в других базовых отраслях промышленности. ДСТУ, указанные выше, поставщик оборудования может применять или не применять в зависимости от технической компетенции заказчика. Как результат, в ГП НАЭК ДСТУ не все необходимые виды проверки включаются в требования при закупке оборудования на АЭС, или включаются выборочно в зависимости от согласования между поставщиком оборудования и заказчиком.

Поэтому, возникла необходимость создать на базе комплекса ДСТУ по ЭМС родовой стандарт «Сумісність технічних засобів електромагнітна. Технічні засоби для атомних станцій. Вимоги та методи випробувань». НПП «СИГМА-М» вопрос о создании данного стандарта ставило перед руководством ГП НАЭК начиная с 2008 г. и только 2011 г. было принято решение по разработке этого отраслевого стандарта.

В общесистемных ДСТУ содержатся технические требования для оборудования по ЭМС, без учета привязки к техническим требованиям, которым должно соответствовать оборудование, поставляемое на АЭС, по условиям эксплуатации и требованиям по ядерной безопасности АЭС, а именно: жесткости электромагнитной обстановки в местах размещения оборудования на энергоблоках (ЭБ) АЭС, класса систем (элементов) влияющих на безопасность, необходимой степени жесткости испытаний на помехоустойчивость и других требований.

В процессе разработки СОУ НАЕК 029 был проведен анализ более 100 принятых в Украине общесистемных ДСТУ, стандартов серии EN и IEC 61000, CISPR и ГОСТ Р по техническим требованиям к оборудованию по ЭМС и методикам испытаний. В результате анализа отобраны общесистемные ДСТУ и стандарты серии EN и IEC 61000, CISPR, как базовые для разработки СОУ НАЕК 029.

На базе общесистемных ДСТУ, которые гармонизированы со стандартами серии EN и IEC 61000, CISPR, разработана вторая редакция СОУ НАЕК 029, в которой указаны технические требования к техническим средствам поставляемых на ЭБ АЭС, в соответствии с требованиями по условиям эксплуатации и требованиям по ядерной безопасности АЭС, а именно жесткости электромагнитной обстановки в местах размещения оборудования на ЭБ АЭС, класса систем (элементов) влияющих на безопасность, необходимой степени жесткости испытаний на помехоустойчивость и других требований. СОУ НАЕК 029 согласован со всеми АЭС Украины и прошел экспертизу в

техническом комитете ТК У 22 ЭМС.

В СОУ НАЕК 029 определены требования, методы и методики испытаний по ЭМС, критерии качества функционирования оборудования при испытаниях в соответствии с техническими требованиями на ЭМС. В СОУ НАЕК 029 учтены все требования нормативных документов, действующих в ГП НАЭК «Энергоатом».

Разработка СОУ НАЕК 029 для конкретной отрасли нашей промышленности является международной практикой создания стандартов для отрасли. Хотелось отметить, что, к сожалению, в Украине это только эпизод по созданию родовых стандартов для базовых отраслей промышленности. А если и созданы такие стандарты, так например ДСТУ 4151-2003 «Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Електромагнітна сумісність», то они совершенно отстали от требований ДСТУ действующих в Украине и сформированы на базе стандартов 90-х годов прошлого века. Вопрос создания родовых стандартов по ЭМС для базовых отраслей промышленности, продукция которых связана с экономической безопасностью государства, необходимо ставить общими усилиями перед Министерством экономического развития и торговли Украины, а также перед профильными Министерствами. Ведь нашли в Минэкономике средства на создание менее важных гармонизированных стандартов на проведение 24.09.2012г. тендера по разработке гармонизированных стандартов методом перевода в количестве 352 единиц, в тоже время 39 единиц стандартов по ЭМС, в том числе связанные высотным ядерным взрывом и защитой от молнии, которые напрямую связаны с безопасностью Украины, были приняты приказом Минэкономики № 640 от 28 мая 2012г. методом подтверждения из-за отсутствия финансирования. Гармонизация стандартов методом подтверждения (текст стандартов на английском языке) не обеспечит в таком виде внедрения данных стандартов в отраслях промышленности Украины, с учетом подготовленности заказчиков и поставщиков оборудования использовать текст стандартов на английском языке для любой отрасли промышленности.

Коротко о взаимосвязи СОУ НАЕК 029 с «Техническим регламентом по электромагнитной совместимости оборудования».

СОУ НАЕК 029 полностью обеспечивает выполнения требований ДСТУ по ЭМС включенных в приложение № 1 к «Техническому регламенту по электромагнитной совместимости оборудования», при этом ДСТУ указанные в приложении к Регламенту в редакции, утвержденной постановлением Кабинета Министров Украины от 20.06.2012 № 63, который начинает действовать с 23 января 2013 года, недостаточны по необходимым требованиям по ЭМС для технических средств поставляемых на АЭС. Требования СОУ НАЕК 029 шире, чем в приложении №1 «Техническому регламенту ..», поскольку включает все значимые виды сторонних воздействий. В ГП НАЭК согласно распоряжения №680-р от 17.08. 2012 г. Технический регламент начинает действовать, также с 23 января 2013 г .

В связи с тем, что требования к оборудованию для АЭС связаны с ядерной безопасностью Украины, то процедуры оценки соответствия технических средств, указанные в техническом регламенте являются необходимыми, но недостаточными. ГП НАЭК проводится работа по созданию системы оценки соответствия продукции на всех этапах жизненного цикла продукции, как сделано в европейских странах и в Российской Федерации. При этом оценка соответствия продукции должна проводиться 1-й стороной – производитель, 2-й стороной – заказчик, 3-й стороной независимой организацией и, значит, должны быть разработаны процедуры оценки соответствия оборудования. По мнению НПП «СИГМА-М» технический регламент является в техническом и организационном плане недостаточным для оборудования поставляемого на АЭС, и может быть взят только как руководство к действию.

Некоторые технические особенности в СОУ НАЭК 029, а также организационные и технические вопросы, которые будут решены при его внедрении:

1. Данный стандарт будет распространяться не только на информационные управляющие системы, ПТК, АСК, но на электротехнические, электронные и радиоэлектронные изделия (оборудование, аппаратуру) у том числе, на электрические привода разного назначения, а также на изделия (оборудование, аппаратуру), которые содержат электрические, электронные и радиоэлектронные компоненты (схемы), для конструктивно завершенных технических изделий, которые поставляются на АЭС. То есть, требования данного стандарта будут определять требования по ЭМС для любых технических средств поставляемых на АЭС. Данный стандарта обеспечит формирование и выполнения требований по ЭМС на технические средства поставляемые на АС, которые охвачены сферой действия СОУ НАЭК и исключит поставку оборудования не обеспечивающего требований по ЭМС. Например, на АЭС поставляется электротехническое оборудование одной из Швейцарских фирм по ТУ разработанное в Украине в 2000 г. и согласовано необходимыми структурами. Требования по ЭМС в ТУ записано только такое «Уровень напряжения радиопомех, создаваемый агрегатом на своих входных и выходных зажимах, не должен превышать значений, установленных в «Общесоюзных нормах допускаемых промышленных радиопомех» (Нормы 8-72). При этом в данное оборудование содержит микропроцессорную систему управления и контроля. Требование по помехозащищенности отсутствует, требования по эмиссии не соответствуют действующим ДСТУ. Почему так происходит? Причина, в том, что нет на сегодня в нормативных документах ГП НАЭК единых требований по ЭМС для электротехнического оборудования и других видов оборудования. НП 306.5.02/3.035-2000, который с момента его появления сыграл определенную положительную роль, так как в Украине не было никакого документа, который хоть в какой-то мере определял бы требования по ЭМС для оборудования поставляемого на АС, при этом НП даже на момент своего создания не отвечало стандартам МЭК по ЭМС, точно также, как

и ДСТУ 4151 разработаны на устаревших стандартах. В тоже время, в России в 2000г. был разработан ГОСТ Р для АС на базе стандартов МЭК, но при этом на сегодня его необходимо дорабатывать под новые редакции стандартов EN и IEC.

2. СОУ НАЕК 029 разработан на базе 23 ДСТУ, которые гармонизованы со стандартами EN и IEC серии 61000, CISPR, включая ДСТУ EN 61000-4-12:2012. Електромагнітна сумісність. Частина 4-12. Методики випробування та вимірювання. Випробування на несприйнятливість до неповторюваних загасних коливних перехідних процесів (EN 61000-4-12:2006, IDT) и ДСТУ IEC 61000-4-18:2012. Електромагнітна сумісність. Частина 4-18. Методики випробування та вимірювання. Випробування на несприйнятливість до повторюваних загасних коливань (IEC 61000-4-18:2011, IDT), которые были гармонизованы методом подтверждения, т.е. существуют в английском варианте.

НПП «СИГМА-М» данные стандарты адаптировало к требованиям для оборудования АЭС и включило в СОУ НАЕК 029, как приложения на украинском языке.

3. В сравнении с действующей в Российской Федерации нормативной базой по ЭМС для Технических средств поставляемых на АЭС, стандарт СОУ НАЕК- 029 разработан на современной нормативной базе, гармонизированной с серией стандартов EN и IEC 61000 и с большим объемом требований. В стандарте РФ [3] нет требований по IEC 61000-4-13:2002, IEC 61000-4-29:2000 и при разработке указанного стандарта ГОСТ Р не учитывается разделение EN 61000-4-12:2006 на EN 61000-4-12:2006 и IEC 61000-4-18:2011.

4. Стандартизовано испытательное оборудование, методы и методики испытаний оборудования на помехоустойчивость к токам кратковременных синусоидальных помех частотой 50 Гц в цепях защитного и сигнального заземления и токам микросекундных импульсных помех в цепях защитного и сигнального заземления.

5. Стандартизована форма протокола испытаний технических средств на стойкость к помехам и форма протокола испытаний технических средств на нормы электромагнитной эмиссии.

В Украине имеются испытательные аккредитованные лаборатории для проведения испытаний оборудования на ЭМС по требованиям указанным в СОУ НАЕК 29 Например, проведение всех видов испытаний на ЭМС обеспечивает аккредитованная испытательная лаборатория НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ».

Выводы:

Внедрение СОУ НАЕК 029 обеспечит:

– поставку оборудования с повышенными техническими требованиями по ЭМС, за счет увеличения количества видов технических требований, повышения жесткости технических требований и повышения качества испыта-

ний обладнання, тем самым позволит повысить качество технических средств поставляемых на АС за счет повышения помехоустойчивости, при этом будет повышена безопасность АС;

- оптимизацию технических требований с учетом электромагнитной обстановки в местах размещения оборудования и установления групп исполнения на устойчивость к помехам с учетом класса безопасности;

- стандартизацию испытательного оборудования, методов и методик испытаний согласно требованиям стандартов EN и IEC серии 61000, CISPR и стандартов ГОСТ Р по ЭМС, что позволит улучшить качество испытаний, тем самым позволит повысить качество технических средств поставляемых на АЭС;

- повысить безопасность ЭБ АЭС, за счет повышения помехоустойчивости оборудования, поставляемого на АЭС.

Сроки внедрения СОУ НАЕК 029 будет определять ГП НАЭК «Энергоатом».

Список литературы: 1. СОУ НАЕК 029:2012 «Сумісність технічних засобів електромагнітна. Технічні засоби для атомних станцій. Вимоги та методи випробувань» (проект). 2. НП 306.5.02/3.035-2000 «Требования ядерной и радиационной безопасности к информационным и управляющим системам, важным для безопасности атомных станций». 3. ГОСТ Р 50746-2000 Совместимость технических средств электромагнитная. Технические средства для атомных станций. Требования и методы испытаний.

Поступила в редколлегию 09.10.2012

УДК 621.31.048.015

Проект отраслевого стандарта ГП НАЭК «Энергоатом» по электромагнитной совместимости технических средств / В. Н. Горбенко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 59-64. – Бібліогр.: 17 назв.

Вимоги Технічного регламенту України з електромагнітної сумісності не можуть бути запроваджені без активності центральних органів влади. В якості прикладу представлено відповідний проект галузевого стандарту ДП НАЕК «Енергоатом», який враховує специфіку галузі.

Ключеві слова: технічний регламент, електромагнітна сумісність, види випробувань, обладнання, атомна електрична станція.

The requirements of Technical regulation of Ukraine on electromagnetic compatibility can not be realized without activity of central government bodies. As an example, the project of industry standard of the State plant National AEK "ENERGOATOM" is presented, taking into account the specific of industry.

Keywords: technical regulation, electromagnetic compatibility, types of tests, equipment, nuclear power electric station.

В. И. ГУНЬКО, зав. сектором, ИИПТ НАН Украины, Николаев;
А. Я. ДМИТРИШИН, мл. науч. сотр., ИИПТ НАН Украины, Николаев;
Л. И. ОНИЩЕНКО, зав.отделом, ИИПТ НАН Украины, Николаев;
С. О. ТОПОРОВ, вед. инж., ИИПТ НАН Украины, Николаев;
И. А. ПЕРЕКУПКА, инж.-констр. I кат., ИИПТ НАН Украины, Николаев

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ С ПЛЕНОЧНЫМ ДИЭЛЕКТРИКОМ

Проведены исследования пленочного диэлектрика на макетах секций высоковольтного импульсного конденсатора. На основе этих исследований разработаны три новых типа конденсаторов с пленочным диэлектриком, которые имеют повышенный ресурс в сравнении с аналогичными конденсаторами с бумажным и бумажно-пленочным диэлектриками.

Ключевые слова: высоковольтный импульсный конденсатор, пленочный диэлектрик, запасаемая энергия, электрическая прочность диэлектрика, ресурс.

Введение. Удовлетворение растущего спроса на импульсное электротехническое высоковольтное оборудование ориентирует исследователей и разработчиков такой продукции на поиск малозатратных технологических процессов их изготовления и минимизацию технологических операций [1-5].

На данный момент в ИИПТ НАН Украины проведен комплекс научных исследований различных диэлектрических систем для секций высоковольтных импульсных конденсаторов (ВИК) на основе полимерных пленок, пропитанных жидкими диэлектриками с малой вязкостью, имеющих более высокую электрическую прочность по сравнению с ранее применяемым комбинированным бумажно-пленочным диэлектриком, пропитанным касторовым маслом [6, 7].

Проведенные исследования показали, что по сравнению с бумажно-пленочным диэлектриком применение в конструкции ВИК пропитанного пленочного диэлектрика позволяет повысить от 1,3 до 2 раз удельную запасаемую энергию конденсатора при одинаковом ресурсе или более, чем на порядок повысить его ресурс при одинаковой величине удельной запасаемой энергии конденсатора [7, 8]. В проведенных исследованиях повышение удельной запасаемой энергии ВИК достигается за счет повышения рабочей напряженности электрического поля в диэлектрике секции конденсатора.

Цель данной работы – создание ВИК с пленочным диэлектриком с повышенным ресурсом.

Для достижения поставленной цели было предложено использовать в секциях конденсатора трехслойный полипропиленово-полиэтилентерефта-

латный диэлектрик толщиной 30, 34 и 39 мкм, пропитанный трансформаторным маслом Т-1500. Данные диэлектрики были выбраны по результатам проведенных ранее исследований [9], в которых между двумя слоями двусторонне шероховатой полипропиленовой пленки толщиной 12 мкм расположен один слой гладкой полиэтилентерефталатной пленки толщиной 6, 10 или 15 мкм. При пропитке макетов секций была задействована технология, разработанная специально для пленочного диэлектрика [10].

Исследования кратковременной и длительной (ресурса) электрической прочности этих пленочных диэлектриков на макетах секций позволяют обоснованно, в зависимости от заданного ресурса и режима работы конденсатора, выбрать конкретную конструкцию рабочего диэлектрика.

Кратковременная электрическая прочность $E_{пр.кр}$ определялась путем доведения секций до электрического пробоя.

Определение длительной электрической прочности (ресурса) макетов секций с различными конструкциями диэлектрика проводились в режиме колебательного разряда с декрементом колебаний разрядного напряжения 10 и частотой следования зарядов-разрядов 0,2 Гц при высоких значениях напряженности электрического поля в диэлектрике $E_{раб}$ от 153,8 до 220,6 кВ/мм.

Для сравнения макетов секций одной и той же конструкции, которые испытывались на ресурс при различных величинах напряженности электрического поля в диэлектрике, введен коэффициент запаса по электрической прочности $K_{зап}$, равный отношению $E_{пр.кр}$ к $E_{раб}$.

Результаты испытаний макетов секций с пленочным диэлектриком приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний макетов секций с пленочным диэлектриком

Толщина диэлектрика, мкм	$E_{пр.кр}$, кВ/мм	Коэфф. вариации, %	$U_{раб}$, кВ	$E_{раб}$, кВ/мм	$K_{зап}$	$N_{ср}$, зарядов-разрядов	Коэфф. вариации, %
30	433,3	4,6	6	200	2,17	$3,38 \cdot 10^5$	16,3
34	418,2	2,5	6	183,8	2,28	$5,3 \cdot 10^5$	9,1
			7,5	220,6	1,9	$9,74 \cdot 10^4$	31,6
39	388,3	2,3	6	153,8	2,52	$1,2 \cdot 10^6$	6,2
			7,5	192,3	2,02	$4,83 \cdot 10^5$	10,6

Из анализа полученных результатов испытаний для полипропиленово-полиэтилентерефталатного диэлектрика толщиной 39 мкм видно, что средняя величина пробивной напряженности электрического поля для этого диэлектрика составляет 388,3 кВ/мм при коэффициенте вариации 2,3 %. Средняя пробивная напряженность электрического поля для диэлектрика толщиной 34 мкм составила 418,2 кВ/мм при коэффициенте вариации 2,5 %, а диэлектрик толщиной 30 мкм пробивался при средней напряженности электрического поля 433,3 кВ/мм при коэффициенте вариации 4,6 %.

Анализируя результаты ресурсных испытаний макетов секций с различными структурами диэлектрика, видно, что средний ресурс макетов секций с толщиной диэлектрика 30 мкм при рабочей напряженности электрического поля 200 кВ/мм составил $3,38 \cdot 10^5$ зарядов-разрядов при коэффициенте вариации 16,3 %.

Сравнивая между собой результаты ресурсных испытаний макетов секций с толщиной диэлектрика 34 мкм и коэффициентом запаса по электрической прочности 1,9 с результатами испытаний макетов секций с толщиной диэлектрика 30 мкм и коэффициентом запаса по электрической прочности 2,17, видно, что при меньшем коэффициенте запаса результаты испытаний имеют выше коэффициент вариации.

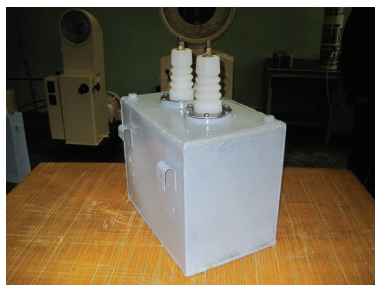
Более сильно эта зависимость от коэффициента запаса по электрической прочности заметна при испытании на ресурс макетов секций с толщиной диэлектрика 34 мкм. Так, макеты секций с коэффициентом запаса по электрической прочности, равным 1,9 ($E_{\text{раб}} = 220,6$ кВ/мм), имеют средний ресурс $9,74 \cdot 10^4$ зарядов-разрядов, в то время, как у секций с коэффициентом запаса, равным 2,37 ($E_{\text{раб}} = 176,5$ кВ/мм), средний ресурс равен $5,3 \cdot 10^5$ зарядов-разрядов.

Аналогично эта зависимость проявляется и у диэлектрика толщиной 39 мкм.

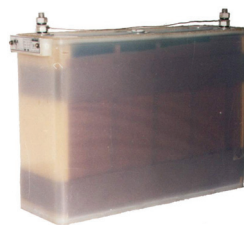
Результаты проведенных исследований были использованы при создании пленочных высоковольтных импульсных конденсаторов ИМП-6-200, ИМП-10-5 и ИМП-50-1, в конструкции которых применены диэлектрики толщиной 30 мкм, 34 мкм, 39 мкм соответственно.



а



б



в

Внешний вид созданных высоковольтных импульсных конденсаторов с пленочным диэлектриком: *а* – ИМП-6-200; *б* – ИМП-50-1; *в* – ИМП-10-5

В табл. 2 и 3 приведены технические характеристики конденсаторов ИМП-6-200 и ИМП-50-1 в сравнении с существующими конденсаторами-аналогами, в которых применен бумажный и бумажно-пленочный диэлектрики, пропитанные касторовым маслом.

В табл. 4 приведены технические характеристики конденсатора

ИМП-10-5, аналогов среди конденсаторов с бумажным и бумажно-плёночным диэлектриками у него не существует.

На рисунке приведены внешние виды указанных ВИК.

Анализ данных, приведенных в табл. 2, показывает, что применение в конструкции конденсатора ИМП-6-200 плёночного полипропиленово-полиэтилентерефталатного диэлектрика толщиной 30 мкм, пропитанного трансформаторным маслом Т-1500, при напряженности электрического поля 200 кВ/мм позволяет создать конденсатор с запасаемой энергией 3600 Дж со средним ресурсом $3 \cdot 10^5$ зарядов-разрядов. По сравнению с конденсатором ИК-5-200 с бумажно-плёночным диэлектриком его удельная запасаемая энергия выше в 1,4 раза, а ресурс выше в 2 раза.

Таблица 2 – Технические параметры и характеристики конденсатора ИМП-6-200 в сравнении с применяемыми конденсаторами ИК-5-200 и ИК-6-250

Наименование	ИМП-6-200	ИК-5-200	ИК-6-250
Номинальное напряжение, кВ	6	5	6
Номинальная емкость, мкФ	200	200	250
Запасаемая энергия, Дж	3600	2500	4500
Тип диэлектрика	плёночный	бумажно-плёночный	
Пропитывающая жидкость	трансформаторное масло	касторовое масло	
Рабочая напряженность электрического поля в диэлектрике секций, кВ/мм	200	83,3	158
Режим работы:			
– характер разряда			
– декремент затухания колебаний разрядного напряжения	2,5	3	10
– максимальный ток разряда, кА	20	10	
– частота повторения разрядов, Гц	0,1	0,17	0,2
Средний ресурс, зарядов-разрядов	$3 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^4$
Габаритные размеры по корпусу, мм:	306x150x615	310x150x590	310x160x500
Масса, кг	42	48	38
Удельная запасаемая энергия:			
– по объёму, Дж/дм ³	127,6	90	181
– по массе, Дж/кг	85,7	52,1	118,4

По сравнению с конденсатором ИК-6-250, в котором применен бумажно-плёночный диэлектрик, удельная запасаемая энергия конденсатора ИМП-6-200 ниже в 1,4 раза, но ресурс при этом выше в 5 раз.

Анализ данных, приведенных в табл. 3, показывает, что применение в конструкции конденсатора ИМП-50-1 плёночного полипропиленово-полиэтилентерефталатного диэлектрика толщиной 39 мкм, пропитанного трансформаторным маслом Т-1500, при напряженности электрического поля в диэлектрике секции 91,6 кВ/мм, позволило создать конденсатор с запасаемой энергией 1250 Дж со средним ресурсом 10^8 зарядов-разрядов. По сравне-

нию с конденсатором ИКГ-50-1 с бумажным диэлектриком его удельная запасаемая энергия и ресурс в 1,4 и 1,3 раза выше соответственно.

Таблица 3 – Технические параметры и характеристики конденсатора ИМП-50-1 в сравнении с применяемыми конденсаторами ИКГ-50-1 и ИК-50-1

Наименование	ИМП-50-1	ИКГ-50-1	ИК-50-1
Номинальное напряжение, кВ	50		
Номинальная емкость, мкФ	1,0		
Запасаемая энергия, Дж	1250		
Тип диэлектрика	плёночный	бумажный	бумажно-плёночный
Пропитывающая жидкость	трансформаторное масло	касторовое масло	
Рабочая напряженность электрического поля в диэлектрике секций, кВ/мм	91,6	40	90,9
Режим работы:			
– характер разряда	колебательный		
– декремент затухания колебаний разрядного напряжения			
– максимальный ток разряда, кА	20		10
– частота повторения разрядов, Гц	от 2 до 4	2	
Средний ресурс, зарядов-разрядов	10^8 (при $f = 2$ Гц; $\Delta = 50$) $9 \cdot 10^7$ (при $f = 4$ Гц; $\Delta = 10$)	$7,5 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^7$
Габаритные размеры по корпусу, мм:	485x296x400	314x314x670	455x150x326
Масса, кг	77	110	31
Удельная запасаемая энергия:			
– по объёму, Дж/дм ³	21,8	19	56,2
– по массе, Дж/кг	16,2	11,4	40,3

По сравнению с конденсатором ИК-50-1, в котором применен бумажно-плёночный диэлектрик, изготавливаемом в изоляционном корпусе, удельная запасаемая энергия этого конденсатора ниже в 2,5 раза, но ресурс при этом выше в 6,7 раза.

У конденсатора ИМП-10-5 при относительно невысокой удельной энергоемкости средний ресурс составляет $2 \cdot 10^9$ зарядов-разрядов. Это достигается за счет низкой рабочей напряженности электрического поля 58,8 кВ/мм, что применительно к плёночному диэлектрику обеспечивает большой запас по электрической прочности.

Таблица 4 – Технические параметры и характеристики конденсатора ИМП-10-5

Наименование	Величина
Номинальное напряжение, кВ	10
Номинальная емкость, мкФ	5
Запасаемая энергия, Дж	250
Индуктивность, нГн	500
Тип диэлектрика	плёночный
Пропитывающая жидкость	трансформаторное масло
Рабочая напряженность электрического поля в диэлектрике секций, кВ/мм	58,8
Режим работы:	
– характер разряда	апериодический
– максимальный ток разряда, кА	5
– частота повторения разрядов, Гц	10
Средний ресурс, зарядов-разрядов	$2 \cdot 10^9$
Габаритные размеры по корпусу, мм:	455x156x326
Масса, кг	28
Удельная запасаемая энергия:	
– по объему, Дж/дм ³	10,8
– по массе, Дж/кг	8,93

Выводы. В результате выполненной работы были проведены исследования электрической прочности трех конструкций плёночного диэлектрика на макетах секций высоковольтных импульсных конденсаторов. Ресурсные испытания проводились при различных величинах рабочей напряженности электрического поля. На основе этих исследований были созданы высоковольтные импульсные конденсаторы ИМП-6-200, ИМП-50-1, ИМП-10-5, которые имеют повышенные характеристики по сравнению с аналогичными конденсаторами, в конструкции которых применен бумажный и бумажно-плёночный рабочие диэлектрики.

Список литературы: 1. General Atomics Energy Products. High Voltage Capacitors [Электронный ресурс]. – <http://www.gaep.com/capacitors.html>. 2. Ермилов И.В. Высоковольтные импульсные конденсаторы с полимерной изоляцией // Электричество. – 2006. – № 9. – С. 73-79. 3. Ермилов И.В. Современные импульсные высоковольтные конденсаторы с плёночным диэлектриком // Электронные компоненты. – 2005. – № 4. – С. 47-55. 4. Рудаков В.В. Стан та тенденції розвитку високовольтних імпульсних конденсаторів // Вісник НТУ «ХПІ»: зб. наук. пр.: Тем. вип.: Техніка і електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2009. – № 39. – С. 146-154. 5. Емельянов О.А. Электрические соотношения для оценки эффективности диэлектриков конденсаторов // Электричество. – 2007. – № 1. – С. 65-69. 6. Гребенников И.Ю., Гунько В.И., Дмитришин А.Я., Онищенко Л.И., Швец И.С. О повышении удельных энергетических характеристик и ресурса высоковольтных импульсных конденсаторов // Электронная обработка материалов. – 2004. – № 5. – С. 70-73. 7. Гребенников И.Ю., Гунько В.И., Дмитришин А.Я., Онищенко Л.И., Швец И.С. Оценка достигнутого уровня и перспективы создания высоковольтных импульсных конденсаторов для погружных электроразрядных комплексов // Электротехника. – 2007. – № 8. – С. 48-51. 8. Дмитришин А.Я., Гунько В.И., Онищенко Л.И., Слепец Е.Н., Фецул Т.А. Тенденции создания высоковольтных импульсных конденсаторов для технологической обработки различных сред // Материалы 6-й международной студенческой научно-исследовательской конференции «Пер-

спективная техника и технологии-2010» (15-17 сентября 2010 г.). – Николаев: 2010. – С. 54-57. **9.** Гунько В.И., Дмитришин А.Я., Онищенко Л.И., Топоров С.О., Фецул Т.А. Исследования конструкций пленочного диэлектрика для высоковольтных импульсных конденсаторов // Электронная обработка материалов. – 2012. – № 2. – С. 93-96. **10.** Пат. 57999 Украина. МПК H01G 13/04 Способ пропитки электрических конденсаторов с пленочным диэлектриком / Гунько В.И., Гребенников И.Ю., Дмитришин А.Я., Онищенко Л.И., Топоров С.О.; заявитель и патентообладатель ИИПТ НАН Украины. – № U201010500; заявл. 30.08.10; опубл. 25.03.11, Бюл. № 6. – 4 с.

Поступила в редколлегию 01.10.2012

УДК 621.319.4

Разработка высоковольтных импульсных конденсаторов с пленочным диэлектриком / В.И.Гунько, А.Я.Дмитришин, Л.И.Онищенко, С.О.Топоров, И.А.Перекупка // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 65-71. – Бібліогр.: 10 назв.

Проведено дослідження плівкового діелектрика на макетах секцій високовольтного імпульсного конденсатора. На основі цих досліджень розроблено три нових типи конденсаторів с плівковим діелектриком, які мають підвищений ресурс у порівнянні з аналогічними конденсаторами з паперовим та паперово-плівковим діелектриками.

Ключові слова: високовольтний імпульсний конденсатор, плівковий діелектрик, енергія, що запасастся, електрична міцність діелектрика, ресурс.

Researches of film dielectric on sections of high voltage pulse capacitors are carried out. Three new types of capacitors, which had higher life-time on comparison with analogical capacitors with paper and paper-film dielectrics, are developed on base of these researches.

Key words: high-voltage pulse capacitor, film dielectric, stored energy, dielectric strength, life-time of capacitor.

УДК 621.319.4

А. Я. ДМИТРИШИН, мл. науч. сотр., ИИПТ НАН Украины, Николаев;
В. И.ГУНЬКО, зав. сектором, ИИПТ НАН Украины, Николаев;
С. О. ТОПОРОВ, вед. инженер, ИИПТ НАН Украины, Николаев;
Е. Н. СЛЕПЕЦ, инженер, ИИПТ НАН Украины, Николаев

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ ДЛЯ ПОГРУЖНЫХ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Выполнен расчет перегрева высоковольтных импульсных конденсаторов для погружных электроразрядных комплексов в зависимости от частоты следования зарядов-разрядов, декремента затухания колебаний разрядного напряжения и периода разрядного тока. Выданы рекомендации для уменьшения величины перегрева конденсаторов при их эксплуатации с повышенной частотой следования зарядов-разрядов.

© А.Я.Дмитришин, В.И.Гунько, С.О.Топоров, Е.Н.Слепец, 2012

Ключевые слова: высоковольтный импульсный конденсатор, тепловой режим, частота следования зарядов-разрядов, декремент затухания колебаний разрядного напряжения, период разрядного тока.

Введение. Институтом импульсных процессов и технологий (ИИПТ) НАН Украины создан ряд погружных электроразрядных комплексов для повышения дебита скважин (нефтяных, газовых и др.) [1-3]. Накопителями электрической энергии в них являются высоковольтные импульсные конденсаторы, эксплуатирующиеся в режиме колебательного разряда. В настоящее время ведутся работы по увеличению частоты следования зарядов-разрядов, с целью уменьшения времени обработки скважин, что приводит к изменению теплового режима работы конденсатора, кроме того, конструктивные изменения в электроразрядных погружных комплексах, с целью их совершенствования, приводят к изменению таких параметров их эксплуатации как декремент затухания колебаний разрядного напряжения и период разрядного тока, что, в свою очередь, также ведет к изменению теплового режима работы конденсатора. Вместе с тем, учитывая высокую температуру окружающей среды эксплуатации погружных электроразрядных комплексов (85-100 °С), определение величины максимальной температуры в центре конденсатора является важным для исключения теплового пробоя конденсатора.

Цель данной работы – исследование тепловых режимов работы высоковольтных импульсных конденсаторов с различными диэлектрическими системами для погружных электроразрядных комплексов с повышенной частотой следования зарядов-разрядов.

Тепловой режим работы конденсатора определяется его максимальной температурой в центре конденсатора, которая может быть определена по формуле [4]:

$$T_m = T_0 + \Delta T = T_0 + \frac{P}{n_c} \cdot R_{pad} \cdot \left(1 - \frac{R_{pad}}{(R_{pad} + R_{oc})} \right), \quad (1)$$

где P – потери энергии в конденсаторе, Вт;

n_c – количество секций в конденсаторе;

R_{pad} – тепловое сопротивление радиальному тепловому потоку, К/Вт;

R_{oc} – тепловое сопротивление в осевому тепловому потоку, К/Вт;

T_0 – температура окружающей среды, К.

Потери энергии в конденсаторе в случае колебательного разряда с учетом потерь при заряде и разряде определяются по методу эквивалентной замены [5]:

$$P = W_3 \cdot f_0 \cdot \left[\pi \cdot \text{tg} \delta_3 + \frac{C \cdot (\Delta^n - 1) \cdot (4\pi^2 + \ln^2 \Delta) \cdot \left(\frac{\text{tg} \delta_p}{\omega \cdot C} + R_0 \right)}{\Delta^n \cdot \ln \Delta \cdot 2 \cdot T_{раз}} \right], \quad (2)$$

где W_3 – энергия, запасаемая в конденсаторе, Дж;
 f_0 – частота следования зарядов-разрядов, Гц;
 $\operatorname{tg} \delta_3$ – значение тангенса угла потерь, соответствующее частоте заряда;
 Δ – декремент затухания колебаний разрядного напряжения;
 n – число полувольт разрядного тока, если он снижается до $I_{\min}=0.01I_{\max}$;
 $\operatorname{tg} \delta_p$ – значение тангенса угла потерь, соответствующее частоте разряда;
 ω – циклическая частота разрядного тока, с^{-1} ;
 R_0 – приведенное активное сопротивление конденсатора, Ом;
 $T_{\text{разр}}$ – период разрядного тока, с.

Для аналогичных электроразрядных комплексов в России применяются высоковольтные импульсные конденсаторы с комбинированным бумажно-пленочным диэлектриком, пропитанным касторовым маслом [6]. Эти конденсаторы рассчитаны на рабочее напряжение 40-50 кВ при номинальной емкости 1,35 мкФ и предназначены для эксплуатации при температуре окружающей среды 100 °С, с частотой следования зарядов-разрядов не более 0,2 Гц.

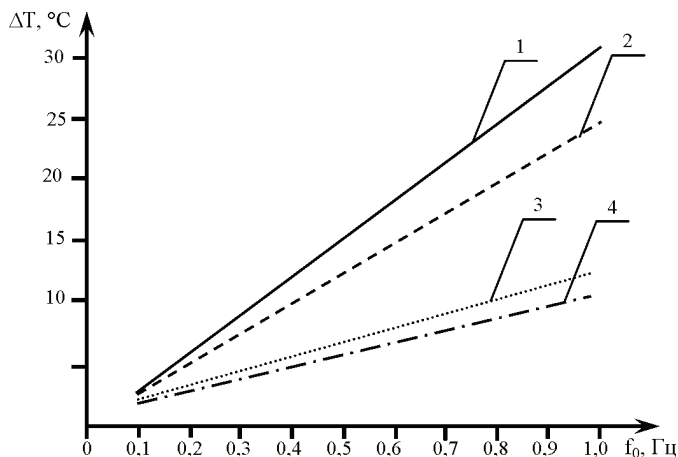
В данной работе рассматриваются диэлектрические системы – на основе бумажно-пленочного диэлектрика, пропитанного касторовым маслом, толщинами 47 мкм (содержание пленки – 64 %) и 50 мкм (содержание пленки – 40 %), и полипропиленово-полиэтилентерефталатного диэлектрика, пропитанного полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-20, толщинами 34 мкм (содержание полипропиленовой пленки – 70%) и 39 мкм (содержание полипропиленовой пленки – 61 %). Эти диэлектрические системы исследовались применительно к высоковольтному импульсному конденсатору ИКП-30-1,2, на номинальное напряжение 30 кВ и номинальной емкостью 1,2 мкФ.

Используя формулы (1) и (2) построены зависимости перегрева, то есть превышения температуры в центре конденсатора над температурой окружающей среды (85 °С), от частоты следования зарядов-разрядов для выбранных типов диэлектрических систем конденсатора, которые представлены на рис. 1.

Анализируя зависимости на рисунке 1 видно, что наибольшая величина перегрева у бумажно-пленочного диэлектрика, толщиной 50 мкм (кривая 1), что объясняется большим процентным содержанием полярного диэлектрика – конденсаторной бумаги. Уменьшение процентного содержания конденсаторной бумаги в диэлектрической системе (кривая 2) приводит к снижению перегрева. Аналогичная картина наблюдается у пленочного полипропиленово-полиэтилентерефталатного диэлектрика, где уменьшение содержания полярной полиэтилентерефталатной пленки приводит к снижению перегрева (кривая 4). Также можно отметить, что значения величин перегрева у пленочных диэлектрических систем с ростом частоты следования зарядов-разрядов до 1 Гц значительно ниже, чем у бумажно-пленочных диэлектрических систем.

На рис. 2 представлены зависимости перегрева конденсатора ИКП-30-1,2 в случае применения бумажно-пленочной диэлектрической сис-

темы толщиной 47 мкм и пленочной диэлектрической системы толщиной 34 мкм, при которых в соответствии с рисунком 1 перегрев был наименьшим, от изменения величин декремента колебаний разрядного напряжения и периода разрядного тока, при эксплуатации конденсатора при частоте следования зарядов-разрядов 0,25 Гц.



1 – бумажно-пленочный диэлектрик толщиной 50 мкм; 2 – бумажно-пленочный диэлектрик толщиной 47 мкм; 3 – пленочный диэлектрик толщиной 39 мкм; 4 – пленочный диэлектрик толщиной 34 мкм;

Рисунок 1 – Зависимости перегрева конденсатора от частоты следования зарядов-разрядов

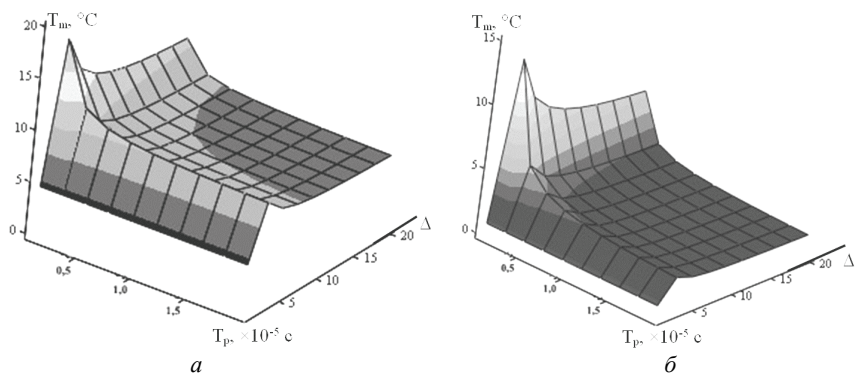


Рисунок 2 – Зависимости перегрева от декремента колебаний и периода разрядного тока для конденсатора ИКП-30-1,2 с бумажно-пленочной толщиной 47 мкм (а) и пленочной толщиной 34 мкм (б) диэлектрическими системами

Анализируя графики на рис. 2 видно, что максимум перегрева наблюдается при декрементах равном 5, и с увеличением величины декремента пере-

грев уменьшается. С увеличением же периода разрядного тока перегрев конденсатора снижается, однако при величине периода больше 10 мкс это снижение незначительно.

Проведенные испытания экспериментальных образцов конденсатора ИКП 30-1,2 при температуре окружающей среды 85 °С с частотами следования зарядов-разрядов от 0,25 до 1 Гц и декременте колебаний разрядного тока 8 показали близкие к теоретическим экспериментальные данные.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие **выводы**:

- наименьшая величина перегрева при эксплуатации конденсаторов с повышенной частотой следования зарядов-разрядов наблюдается у конденсаторов на основе пленочных диэлектрических систем;

- в случае применения бумажно-пленочной диэлектрической системы при повышенных частотах следования зарядов-разрядов наиболее перспективным является применение системы толщиной 47 мкм с большим процентным содержанием пленки;

- для снижения перегрева конденсаторы должны эксплуатироваться в режиме с декрементом колебаний разрядного тока больше 5 и периодом колебаний – порядка 8-10 мкс.

Список литературы: 1. Жекул В.Г., Косенков В.М., Курашко Ю.И., Онищенко Л.И., Поклонов С.Г., Сизоненко О.Н., Хвоцан О.В., Швеиц И.С. Разработка и создание высоковольтных малогабаритных погружных устройств для интенсификации добычи полезных ископаемых из недр земли // Материалы XII Международной школы-семинара «Физика разрядов в конденсированных средах», Николаев. – 2005. – С. 101-103. 2. Швеиц И.С., Онищенко Л.И., Курашко Ю.И., Мельхер Ю.И. ГИТ для погружных установок, обеспечивающих повышение производительности водозаборных скважин // Вісник НТУ «ХПІ». Тем. випуск «Електроенергетика і перетворююча техніка» – 2003. – № 1. Т.1. – С. 147-154. 3. Швеиц И.С., Курашко Ю.И., Хвоцан О.В., Литвинюк В.В., Мельхер Ю.И., Онищенко Л.И., Гунько В.И. Электроразрядный комплекс для интенсификации добычи шахтного метана // Наука та інновації. – 2008. – № 6. – С.54-59. 4. Ренне В.Т., Багалеи Ю.В., Фридберг А.Д. Расчет и конструирование конденсаторов. – К.: Техніка, 1976. – 328 с. 5. Кучинский Г.С., Назаров Н.И. Силовые электрические конденсаторы. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 320 с. 6. Кармелев А.Я. Высоковольтный импульсный конденсатор. Евразийский патент № 10989В1 Н016 2/10, опубл. 30.12.2008 г.

Поступила в редколлегию 04.10.2012

УДК 621.319.4

Исследование тепловых режимов работы высоковольтных импульсных конденсаторов для погружных электроразрядных комплексов / А.Я.Дмитришин, В.И.Гунько, С.О.Топоров, Е.Н.Слепец // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 71-76. – Бібліогр.: 5 назв.

Виконано розрахунок перегріву високовольтних імпульсних конденсаторів для заглиблених електророзрядних комплексів в залежності від частоти слідування зарядів-розрядів, декременту затухання коливальних розрядної напруги та періоду розрядного струму. Видано рекомендації для зменшення величини перегріву конденсаторів при їх експлуатації з підвищеною частотою слідування зарядів-розрядів.

Ключові слова: високовольтний імпульсний конденсатор, тепловий режим, частота слідування зарядів-розрядів, декремент затухання коливальних розрядної напруги, період розрядного струму.

Calculation of excessive heating of high voltage pulse capacitors for downhole electrodischarge complexes depending on frequency of following charges-discharges, decrement of fluctuations of digit voltage and period of a digit current is carried out. Recommendations for decrease of excessive heating of capacitors at there exploitation with heightened frequency of following charges-discharges are given.

Keywords: high-voltage pulse capacitor, thermal mode, frequency of following charges-discharges, decrement of fluctuations of digit voltage, period of a digit current.

УДК 621.314

А. Ф. ЖАРКИН, д-р техн. наук, чл.- корр. НАН Украины, зам.

директора, Институт электродинамики НАН Украины, Киев;

В. А. НОВСКИЙ, д-р техн. наук, вед. науч. сотр., Институт электродинамики НАН Украины, Киев;

С. А. ПАЛАЧЕВ, мл. науч. сотр., Институт электродинамики НАН Украины, Киев

НОРМАТИВНЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАНДАРТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УКРАИНЫ

Рассмотрены некоторые пути решения проблемы, возникшей при гармонизации нормативных документов в области обеспечения характеристик напряжения в соответствии с международными европейскими стандартами.

Ключевые слова: качество напряжения, стандарт, технический регламент, точка присоединения.

Введение. В соответствии с концепцией Международной электротехнической комиссии (МЭК), показатели качества напряжения в электрических сетях с контролируемым уровнем эмиссии помех устанавливаются не ниже соответствующих уровней электромагнитной совместимости по каждому виду возмущений. МЭК в стандартах IEC 61000-2-2 и IEC 61000-2-12 установила значения уровней совместимости для кондуктивных помех в электрических сетях напряжением до 35 кВ, которые учитывали как технические так и экономические аспекты обеспечения производителями аппаратуры сбалансированного уровня ее помехоустойчивости и помехоэмиссии. На основании этих значений уровней совместимости европейской организацией CENELEC в европейском международном стандарте EN 50160:2010 «Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks» были установлены характеристики напряжения электроснабжения для сетей напряжением до 150 кВ. Этот стандарт по сути устанавливает основные характеристики такого

© А. Ф. Жаркин, В. А. Новский, С. А. Палачев, 2012

продукта, как электроэнергия, которые должны учитываться при составлении договоров между потребителем и поставщиком, и должен рассматриваться исключительно с этой точки зрения. EN 50160:2010 был принят в качестве национального стандарта всеми странами Евросоюза, являющимися членами CENELEC. Согласно обязательствами аффилированного члена CENELEC Украина должна изъять из обращения свои стандарты по качеству напряжения электроснабжения, которые противоречат стандарту EN 50160:2010.

Рассмотрим два существенных отличия международного стандарта EN50160:2010 от действующего в Украине с 2000 года межгосударственного стандарта (для членов СНГ) ГОСТ 13109-97:

- в EN50160:2010 указана та конкретная точка, в которой в соответствии с договором на подключение потребителя, должны обеспечиваться характеристики напряжения электроснабжения. Этой точкой является точка присоединения потребителя к электрической сети («supply terminal»);

- в EN 50160 указано конкретное значение номинального напряжения электроснабжения для сетей низкого напряжения – 230/400 В, которое относится к характеристикам напряжения, а не к показателям качества напряжения. Рассмотрим эти отличия более подробно.

Важность определения точки, в которой происходит измерение показателей качества напряжения. Уже первый абзац раздела 1 «Область применения» ГОСТ 13109-97 сформулирован неоднозначно с точки зрения составления договора на передачу энергии между электроснабжающей организацией и потребителем (физическим или юридическим лицом): «Стандарт устанавливает показатели и нормы качества электрически энергии (КЭ) в электрических сетях систем электроснабжения общего назначения переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц в точках, к которым присоединяются электрические сети, находящиеся в собственности различных потребителей электрической энергии, или приемники электрической энергии (точки общего присоединения)».

Упоминание о точке общего присоединения (ТОП) в отношении точки оценки показателей качества напряжения впервые появилось в тексте ГОСТ 13109-97 (в ГОСТ 13109-87 речь шла о «точках, к которым присоединяются приемники или потребители электрической энергии»). Это нововведение явилось следствием того, что разработчики данного стандарта в свое время напрасно решили объединить в один документ стандарт коммерческой направленности, устанавливающий перечень и значения показателей качества электроэнергии, которые используются при составлении договоров между поставщиком и потребителем, и стандарт на величину уровней совместимости, которые связывают уровни эмиссии помех одного потребителя и уровни помехоустойчивости других потребителей в ТОП. В результате, согласно ГОСТ 13109-97 потребитель может получать электроэнергию в одной точке присоединения к сети электроснабжения

(которая в типовом договоре на поставку электроэнергии называется точкой продажи электроэнергии и находится на границе балансовой принадлежности поставщика и этого потребителя), а ее качество допускается контролировать совсем в другой точке этой сети на границе балансовой принадлежности поставщика и другого потребителя.

Термин «ТОП» обычно используется европейскими электроснабжающими организациями на этапе разработки технических условий на присоединение с целью установления предельных уровней эмиссии помех при подключении потребителя к сетям напряжением 35 кВ и выше или потребителя мощностью свыше 330 кВА к сетям низкого напряжения (НН) при расчетах ожидаемого значения напряжения возмущения на терминалах питания других потребителей. Поскольку договор на поставку электроэнергии заключается только после выполнения потребителем требований технических условий на присоединение, то этот термин в EN 50160:2010 не используется.

Кроме того, электроснабжающая организация не может отвечать за качество электроэнергии «в точках, к которым присоединяются... приемники электрической энергии» если эти точки находятся вне балансовой принадлежности сети системы электроснабжения общего назначения. Таким образом, в отличие от неоднозначной формулировки ГОСТ 13109-97, формулировка EN50160:2010 относительно точки обеспечения качества напряжения является логичной и конкретной.

На первый взгляд может сложиться впечатление, что качество напряжения в ТОП и в точке присоединения потребителя не может значительно отличаться. Однако мощный потребитель может быть подключен к системе электроснабжения через собственный распределительный трансформатор (РТ) или трансформатор, принадлежащий электроснабжающей компании. В первом случае точка присоединения потребителя и ТОП будут расположены на стороне высокого напряжения РТ. Во втором случае точка присоединения потребителя будет расположена на вторичной стороне РТ, а ТОП – на стороне высокого напряжения. Эти точки будут относиться к разным уровням напряжения электроснабжения, следовательно, импеданс сети и показатели качества напряжения в этих точках могут существенно различаться.

Неоднозначность в определении точки измерения показателей качества напряжения, которая есть в ГОСТ 13109-97, была устранена в новом российском стандарте ГОСТ Р 54149 – 2010 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения», который вступает в России силу с 2013 года и содержит следующую формулировку раздела 1 «Область применения»: «Настоящий стандарт устанавливает показатели и нормы качества электрической энергии (КЭ) в точках передачи электрической энергии пользователям электрических сетей...». Аналогичная формулировка имеется и в проекте нового украинского стандарта ДСТУ EN 50160:2010 (который находится на заключительном этапе гармонизации): «Цей стандарт установлює терміни та значення для осно-

вних характеристик напруги в точках приєднання користувачів до електричних мереж...».

Обзор действующих в Евросоюзе и Украине стандартов по номинальным значениям низкого напряжения. В странах Евросоюза в настоящее время действует унифицированный ряд номинальных напряжений для электрических сетей в соответствии с седьмым изданием стандарта IEC 60038:2009 «IEC standard voltages». Для обеспечения этой унификации, например, Великобритании пришлось изменить значения номинального напряжения с 240/415 В на 230/400 В, а странам Восточной Европы – с 220/380 В на 230/400 В. При этом для этих стран Евросоюза был установлен переходной период с 1993 г. по 2003 г., в течение которого энергоснабжающие организации и производители аппаратуры должны были произвести необходимые мероприятия по «переходу» на указанное напряжение. Учитывая сложность задачи, этот переходной период был продлен до 2008 года. Таким образом, с 2008 года в странах Евросоюза существует единое стандартное напряжение для низковольтных распределительных сетей общего назначения 230/400 В, которое напрямую указано в международном европейском стандарте EN50160:2010.

В СССР, а затем в Украине в свое время органами стандартизации были предприняты необходимые меры для постепенного «перехода» на унифицированное с европейскими странами номинальное значение напряжения 230 В. Так, с 1993 года и по настоящее время в Украине действует межгосударственный (для стран СНГ) стандарт ГОСТ 29322-92 (МЭК 38-83) «Стандартные напряжения», который предусматривал поэтапный «переход» на стандартные фазные и линейные напряжения 230 В и 400 В, соответственно, в странах СНГ одновременно со странами Евросоюза к 2003 году. Этот стандарт был подготовлен методом прямого применения первого издания упоминавшегося выше международного стандарта IEC 60038, выпущенного в 1983 году (который по старой классификации МЭК назывался МЭК 38-83).

В ГОСТ 29322-92 предусматривалось до 2003 года как временную меру использовать номинальное значение напряжения 230 В с допусками $+6\%$ - -10% , что увеличивало бы величину верхнего порога предельно допустимого значения напряжения по сравнению с ГОСТ 13109-97 менее, чем на 2 В, что для потребителей было бы практически незаметным. После 2003 г. данным стандартом предполагалось установить допуск на номинальное значение напряжения 230/400 В $\pm 10\%$, чтобы полностью соответствовать требованиям европейского стандарта EN50160:2010. В отличие от стран Евросоюза, которые выполнили требования стандарта IEC 60038 и с 2008 г. перешли на унифицированные напряжения, в странах СНГ, и в том числе и в Украине принятие ГОСТ 29322-92 не привело к каким-либо конкретным действиям соответствующих организаций, несмотря на то, что установленный этим стандартом срок «перехода» на новые номинальные значения напряжения 230/400 В уже

давно прошел.

В Украине также действует еще со времен СССР стандарт ГОСТ 21128–83 «Системы электроснабжения, сети, источники, преобразователи и приемники электрической энергии. Номинальные напряжения до 1000 В», последние поправки к которому вносились в 1990 году. Область применения этого стандарта распространяется на системы электроснабжения, сети, источники, преобразователи и непосредственно присоединяемые к ним приемники электрической энергии и устанавливает для них ряды номинальных значений постоянных и переменных напряжений. В данном стандарте указано, что «Номинальные напряжения на выходе систем электроснабжения, источников и преобразователей электрической энергии, номинальные значения напряжения сетей и на выводах непосредственно присоединяемых к ним приемников электрической энергии должны соответствовать указанным в таблице...». В этой таблице приведено значение напряжения 220/380 В, но в примечании указано, что « для электрических сетей допускаются дополнительные значения напряжений 230, 400; 690; 1000 В (МЭК 38-83)». Данное примечание говорит о том, что разработчики данного стандарта учли появление в 1983 году международного стандарта IEC 60038 и уже тогда предусматривали «переход» в СССР в перспективе на международное значение номинального напряжения 230/400 В.

Таким образом, все необходимые стандарты, которые предусматривают «переход» в Украине на номинальное значение напряжение 230/400 В уже давно приняты, однако они не дополнены соответствующими нормативно-правовыми актами, которые должны придать им обязательную силу, поскольку в 2005 года в украинском законодательстве произошли серьезные изменения, касающиеся применения стандартов.

Обзор правовых аспектов обеспечения «перехода» Украины на новые номинальные значения низкого напряжения 230В/400 В. В Законе Украины «Про стандарти, Технічні регламенти та процедури оцінки відповідності» в статье 11 «Нормативні документи із стандартизації і застосування стандартів» указано, что «Стандарти застосовуються на добровільній основі, за винятком випадків, коли застосування цих стандартів вимагають Технічні регламенти».

Вопросы обязательности применения стандартов при составлении договоров в Украине регулируются Господарським Кодексом Украины (ГКУ). В статье 15, которая касается технического регулирования в области хозяйствования указано, что «Застосування стандартів чи їх окремих положень є обов'язковим для:

- суб'єктів господарювання, якщо на стандарти є посилання в технічних регламентах;
- учасників угоди (контракту) щодо розроблення, виготовлення чи постачання продукції, якщо в ній (ньому) є посилання на певні стандарти;

– виробника чи постачальника продукції, якщо він склав декларацію про відповідність продукції певним стандартам чи застосував позначення цих стандартів у її маркуванні».

Данное положение ГКУ находится в полном соответствии с европейскими принципами, которые обязывают участника договора безусловно соблюдать требования стандартов, если они указаны в декларации соответствия продукции требованиям Технического регламента или непосредственно в договоре. Таким образом, в соответствии с законодательно установленным в Украине с 2005 года принципом добровольного соблюдения стандартов наличие в Украине только стандартов с указанием номинального значения напряжения электрических сетей НН 230/400 В не обязывает энергоснабжающие организации переходить на новое унифицированное значение напряжения. Для этого соответствующее решение должно быть оформлено органами государственной власти, например, Кабинетом Министров Украины, который принимает соответствующий «Технический регламент». В отсутствие такого документа величина напряжения может оговариваться в индивидуальных договорах между потребителем и поставщиком электроэнергии. Для сравнения, в Великобритании значение фазного напряжения 230 В указано в национальном стандарте BS EN 50160:2010, однако обязательную силу ему придает Технический регламент Великобритании №2665 от 2002 г. по безопасности, качеству и непрерывности поставок электроэнергии, в котором также указано это значение напряжения и который утвержден Парламентом Великобритании.

Технические аспекты «перехода» в Украине с номинальных значений фазного (линейного) напряжения 220 В (380 В) на 230 В (400 В).

а) Влияние на работоспособность электроприемников.

Для современной электронной аппаратуры, имеющей в своем составе стабилизированные импульсные источники питания, повышение номинального значения питающего напряжения на 4,5 % (с 220 В до 230 В) является абсолютно несущественным. Исключение составляют устаревшие устройства с источниками питания, имеющими линейные стабилизаторы напряжения, тепловые режимы которых при верхних допусках питающего напряжения могут оказаться недопустимыми и приводить к выходу их из строя.

Чувствительными к значению напряжения питания могут быть установки с асинхронными электродвигателями и устройства, рассчитанные на электропитание напряжением 220 В. Для обеспечения возможности эксплуатации подобных устройств при повышенных питающих напряжениях разработчики ГОСТ 29322-92 (МЭК 38-83) «Стандартные напряжения» предусмотрели «переходный период» (10 лет), в течение которого должен был бы действовать несимметричный допуск на питающее напряжение 230 В +6 % –10 %. В течение этого «переходного периода» предусматривается после выработки ресурса устаревшими устройствами замена их современными устройствами

без дополнительных финансовых инвестиций. Ввиду того, что в свое время эти мероприятия не были осуществлены, в современных условиях такой подход является вполне целесообразным при существенном сокращении времени «переходного периода».

б) Возможные «последствия» для энергоснабжающих организаций.

1. При переключении отводов первичной обмотки РТ (6-10/0,4) кВ с «регулированием под напряжением» и «без возбуждения» необходимо осуществлять регулярный контроль значения напряжения с тем, чтобы на низкой стороне РТ значения фазных напряжений не превышали $230 \text{ В} + 6\%$ (243,8 В), а значения линейных – $400 \text{ В} + 6\%$ (424 В).

2. При повышении номинального значения фазного напряжения до 230 В рабочая точка кривой намагничивания магнитопровода РТ вследствие необходимости осуществления дополнительного снижения его коэффициента трансформации «смещается» с «прямолинейного» участка, в результате чего синусоидальная форма напряжения на вторичной стороне трансформатора 0,4 кВ искажается, что приводит к появлению дополнительных высших гармоник в кривой фазного (линейного) напряжения сети и, соответственно, к увеличению его несинусоидальности.

3. Существенно повышаются требования к изоляции уже имеющегося в настоящее время устаревшего электрооборудования, в результате чего срок службы его снижается.

4. В связи с наличием в настоящее время в низковольтных четырехпроводных сетях достаточно больших «перекосов» фазных напряжений (из-за наличия систематической несимметрии нагрузки сети) и, соответственно, значений «напряжения смещения нейтрали», при переводе номинального напряжения с 220 В на 230 В будут наблюдаться более высокие перенапряжения в сети, которые могут значительно превышать допустимые уровни фазного напряжения $230 \text{ В} + 6\%$.

5. Следует определенным образом пересмотреть Методические указания по применению технических средств местного регулирования напряжения и компенсации реактивной мощности в низковольтных сетях с помощью конденсаторных установок для устранения возможных перенапряжений в сети в режиме «минимума» нагрузки.

В связи с вышеизложенным необходима модернизация основного оборудования в низковольтных сетях с нулевым проводом с целью снижения значения «напряжения смещения нейтрали», а также уровней высших гармоник токов и напряжений, то есть требуется реконструкция элементов сетей НН для снижения их импедансов по нулевой последовательности, в особенности «периферийных» участков линий четырехпроводной сети НН.

Выводы

Поскольку область применения стандарта по характеристикам напряжения ДСТУ EN 50160 является более узкой, чем ГОСТ 13109-97, то должен

существовать «переходной период», в течение которого в Украине будут действовать одновременно оба эти стандарта. За это время нормативно-правовая база Украины должна быть дополнена следующими нормативными документами:

- кодексом электрических сетей, или иным документом, устанавливающим показатели качества напряжения для сетей напряжением свыше 150 кВ;
- стандартом по методике измерения показателей качества напряжения ДСТУ ІЕС 61000-4-30:2010 (принят, но пока не опубликован);
- стандартом по уровням совместимости ДСТУ ІЕС 61000-2-12 (работы по гармонизации находятся на завершающей стадии);

Кроме того, необходимо в настоящее время начать проведение соответствующих мероприятий, предусмотренных ГОСТ 29322-92 для «перехода» номинальных значений напряжения на 230/400 В. При этом основной технической проблемой является обеспечение энергоснабжающими организациями несимметричного допуска на предельно допустимые значения фазного (линейного) напряжения 230(400)В +6 % –10 %. Учитывая, что в настоящее время в Украине, согласно действующему ГОСТ 13109-97, допуск для 95 % результатов измерений значений напряжения составляет $\pm 5\%$, можно считать, что это требование вполне выполнимо, но обуславливает в дальнейшем реализацию определенных организационно-технических мероприятий.

Поступила в редколлегию 05.10.2012

УДК 621.314

Нормативные и технические аспекты обеспечения стандартных характеристик напряжения в системах электроснабжения Украины / А. Ф. Жаркин, В. А. Новский, С. А. Палачев // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 76-83.

Розглянуто деякі шляхи вирішення проблеми, що виникла при гармонізації нормативних документів у галузі забезпечення характеристик напруги у відповідності з міжнародними європейськими стандартами.

Ключові слова: якість напруги, стандарт, технічний регламент, точка приєднання

Consider some solutions to the problem that has arisen in the harmonization of regulations in the area of voltage characteristics in accordance with international European standards.

Key words: quality of voltage standards, technical regulations, the attachment point.

В. В. КНЯЗЕВ, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;

П. Н. МЕЛЬНИКОВ, науч. сотр., НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;

А. Ю. ЧЕРНУХИН, мл. науч. сотр., НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭТАЛОННЫХ ОБРАЗЦОВ СТЕРЖНЕВЫХ МОЛНИЕПРИЕМНИКОВ

Экспериментально исследованы характеристики стержневые молниеприемников, предлагаемых в качестве эталонных образцов. Описана методика сравнения характеристик стержневых молниеприемников. Приведены результаты совместного испытания по определению вероятности поражения молниеприемников.

Ключевые слова: эталонный молниеприемник, время опережения, вероятности поражения.

В настоящее время ни у кого не вызывает сомнения важность повышения эффективности защиты объектов от дестабилизирующего действия молнии и обеспечения безопасности людей.

Основой систем молниезащиты зданий и сооружений от прямых ударов молнии являются металлические конструкции, в том числе стержневые, тросовые и сеточные молниеприемники. Рекомендации по устройству таких систем и методике оценки их защитных свойств содержатся в стандарте Международной электротехнической комиссии IEC 62305-3:2010 [1], который введен в действие в Украине как ДСТУ IEC 62305-3:2012.

Помимо упомянутых выше конструкций, в мире принимаются попытки использования так называемых «активных» молниеприемников (ESE). Стандарт Франции NF C 17-102: 2011 [2] регламентирует правила установки, оценки защитных свойств и экспериментального определения основной характеристики ESE молниеприемника – времени опережения. Время опережения определяется относительно стержневого молниеприемника.

В новой редакции стандарта NF C 17-102 [2] учтены предложения, по его улучшению, изложенные в работах [3-5]. В том числе, установлены параметры стандартного стержневого образца:

- материал: алюминиевый сплав;
 - форма: стержень кругового сечения;
 - диаметр стержня: – 28 мм;
 - длина стержня: не менее 1 м;
 - конец стержня конический высотой 0,1 м, радиус округления вершины 1 мм;
 - площадь опоры не менее 400 см².
- Кроме того, введена оценка величины среднего квадратичного отклоне-

ния σ результатов измерения времени пробоя воздушного промежутка. Обусловлено, что для ESE молниеприемников значение σ_{ESE} должно удовлетворять неравенству $\sigma_{ESE} < \sigma_{ST}$, где σ_{ST} характеризует стандартный образец. Устройства, содержащие источники питания и электронные элементы должны соответствовать требованиям стандартов EN 61000-6-2 - по устойчивости и 61000-6-3 - по уровню собственных помех.

В работе [6] было обосновано предложение в качестве альтернативного стандартного образца молниеприемника использовать стержень квадратного сечения со стороной 12 мм и плоской вершиной.

С целью сравнения параметров двух вариантов предложенных стандартных образцов проведены экспериментальные исследования, по методике стандарта NF C 17-102:2011. При испытании каждого образца было подано по 100 разрядов.

Исследование характеристик стержневых молниеприемников осуществлено на высоковольтном испытательном стенде ВВС-1.2 НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ». Внешний вид испытательной площадки показан на рис. 1.



Рисунок 1 – Испытательная стенд ВВС-1.2

Молниеприемники размещались в пространстве между двумя параллельными металлическими плоскостями, размерами 4 x 5,5 м. Нижняя плоскость – заземлена, на верхнюю подавался импульс напряжения от генератора импульсных напряжений (ГИН) положительной полярности амплитудой около 600 кВ формой 360/8460 мкс. Расстояние между плоскостями при испытаниях было 2,20 м, вершина стержня находилась на расстоянии 1,0 м от нижней плоскости.

Первоначально, исследовались времена пробоя для каждого молниеприемника в отдельности. Затем, оба образца были установлены в испытательном объеме, как показано на рис. 2. В этом варианте определялась вероятность пробоя воздушного промежутка с молниеприемников, с целью выявления корреляции с параметрами времени опережения. Образцы располага-

лись на расстоянии более 1 м друг от друга, что позволило исключить эффекты их взаимного влияния. Основные результаты исследований представлены далее.

Измерение параметров испытательного импульса напряжения и времени опережения осуществлялось одновременно с помощью высоковольтного емкостного делителя и датчика электрического поля. Формы зарегистрированных сигналов по обоим измерительным трактам хорошо согласовывались. Форма импульса напряжения, воздействующего на образцы молниеприемников, показана на рис. 3.



Рисунок 2 – Одновременное расположение исследуемых образцов в рабочем объеме

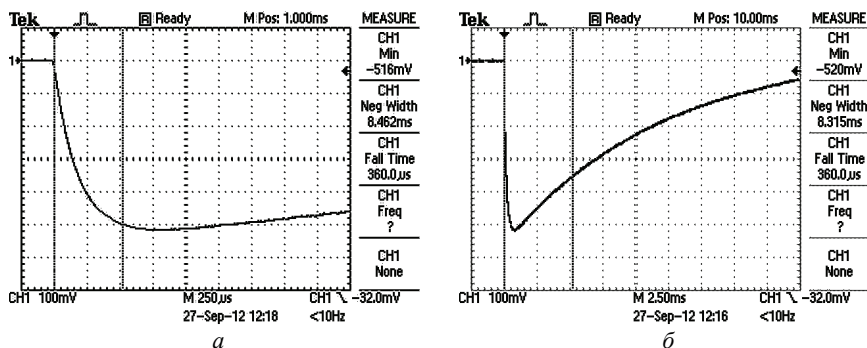


Рисунок 3 – Осциллограммы импульса напряжения: фронт (а), спад (б)

Типичные осциллограммы, регистрируемые при пробое воздушного промежутка, показаны на рис. 4. Момент начала резкого спада напряжения принимается за время пробоя промежутка, отсчитываемое от начала импульса напряжения. На осциллограммах время пробоя определяется между вертикальными линиями курсоров.

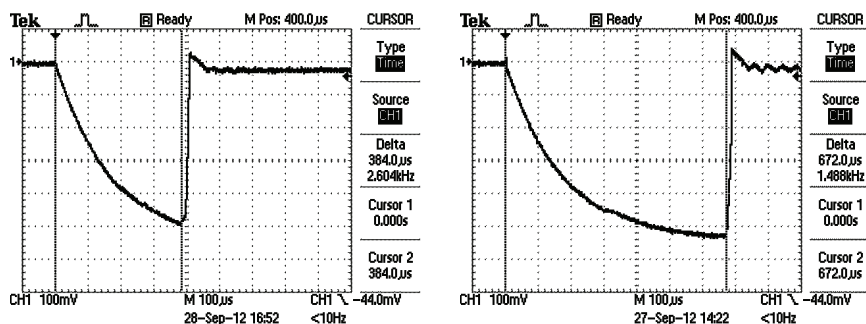


Рисунок 4 – Типичные осциллограммы, регистрируемые при пробое воздушного промежутка

Результаты исследования представлены в виде гистограмм распределения времени пробоя воздушного промежутка. На гистограммах по оси ординат отложено число пробоев, для которых время пробоя попадает в соответствующий временной интервал (в рассматриваемом случае это число совпадает с вероятностью, выраженной в процентах). Длительность каждого временного интервала равна 50 мкс. Гистограммы распределения представлены на рис. 5. Анализ гистограмм показывает, что распределение вероятности времени пробоя обоих образцов молниеприемников имеет схожий характер. Кроме того, очевидно, что форма гистограмм не соответствует нормальному закону распределения. Причины такого факта могут быть следующие:

- недостаточное число испытаний;
- отклонение времени пробоя от среднего значения в сторону меньших значений имеет предел, обусловленный физической природой процесса, а отклонение в сторону больших, ограничено длительность спада воздействующего импульса.

По мнению авторов, вторая причина более значимая. Поэтому, высказывается гипотеза, что аттестацию образцов молниеприемников следует проводить более короткими импульсами напряжения, например, формы 1,2/50 мкс.

Результаты расчетной оценки характеристик молниеприемников представлены в таблице.

Полученные результаты свидетельствуют в пользу эталонного образца по стандарту [2]. Однако, вызывает сомнение следующий факт: при разнице средних значений времени пробоя 68,3 мкс, что соответствует 13%, разница

среднего напряжения пробоя составляет всего 1,2 кВ, что соответствует 0,2%. Известно, что вариация пробивных напряжений длинных промежутков может достигать 10%. Поэтому, разница в 0,2% представляется несущественной, обусловленной изменением условий окружающей среды (температуры, влажности и давления).

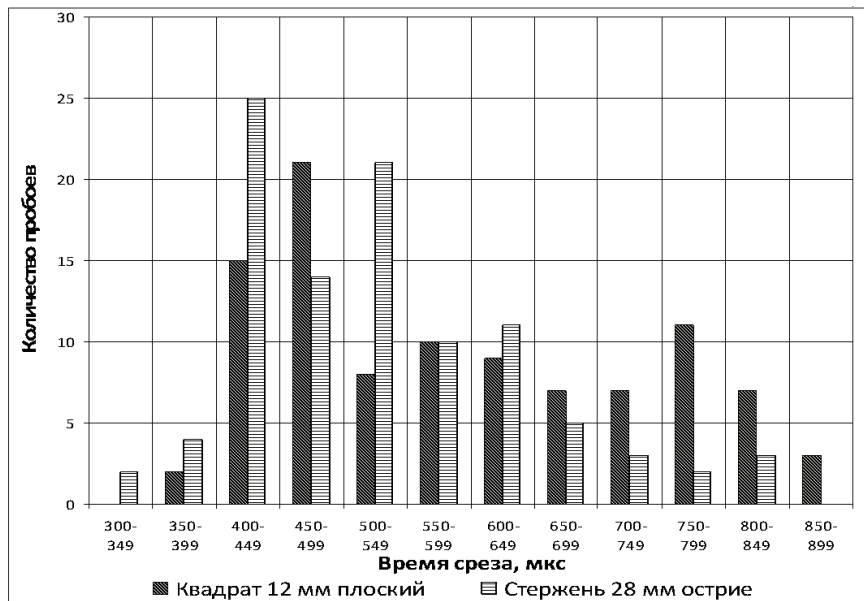


Рисунок 5 – Гистограммы времени пробоя для эталонных образцов

Основные характеристики образцов молниеприемников

Характеристика	Квадрат 12 мм	Острые 28 мм	Разница
Среднее время пробоя, мкс	591,6	523,3	68,3
Среднее напряжение пробоя, кВ	525,4	524,2	1,2
СКО результата	14,1	10,9	3,2

Для проверки этого предположения, проведены исследования вероятности развития пробоя с каждого образца молниеприемника, при условии одновременного размещения образцов в испытательном поле (как показано на рис.2). После подачи 100 импульсов напряжения формой 360/8460 мкс, установлено, что в каждый из образцов произошло по 50 разрядов. Следовательно, по главному объективному параметру: вероятности разряда, оба образца одинаковые. Однако, этот вывод порождает вопрос о степени корреляции среднего значения времени пробоя и вероятности перехвата молнии.

Представляется логичным, демонстрировать эффективность ESE молни-

епримника путем сравнительных одновременных испытаний с эталонным образцом.

Выводы:

1. По результатам сравнения характеристик двух вариантов предложенных эталонных образцов стержневых молниеприемников, установлено некоторое преимущество образца в виде стержня кругового сечения с заостренной вершиной.

2. Преимущества, указанные в п. 1, не приводят к повышению вероятности перехвата молнии.

3. Целесообразно дополнить стандарт Франции NF C 17-102 [2] требованием демонстрации эффективности ESE молниеприемника путем сравнительных одновременных испытаний с эталонным образцом.

Список литературы: 1. IEC 62305-3: 2010. Protection against Lightning - Part 3: Physical damage to structures and life hazard. 2. NF C 17-102: 2011. Lightning protection. Protection of structures and open areas against lightning using early streamer emission air terminals. 3. Князев В.В., Кравченко В.И., Лесной И.П., Мельников П.Н. Результаты исследования параметров активных молниеприемников и рассеивателей. // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып. «Техника и электрофизика высоких напряжений». – 2008. – Вып. 21. – С.78-87. 4. Князев В.В. Новые конструкции молниеприемников: научные основы и практическая реализация // Электропанорама. – К.: 2008. – № 6. – С. 36-37; № 7-8. – С.16-18. 5. Князев В.В., Кравченко В.И. Тенденции развития систем молниезащиты зданий и сооружений // Матеріали науково-технічної конференції. Актуальні проблеми наглядно-профілактичної діяльності МНС України. – Х.: УЦЗУ, 2008. – № 234. – С. 24-27. 6. Князев В.В., Кравченко В.И., Мельников П.Н., Чернухин А.Ю. Образцовый молниеприемник Франклина для оценки защитных свойств новых видов молниеприемников // Матеріали X науково-практичної конференції «Пожежна безпека-2011». – С. 99-100.

Поступила в редколлегию 09.10.2012

УДК 621.31.048.015

Сравнение характеристик эталонных образцов стержневых молниеприемников / В. В. Князев, П. Н. Мельников, А. Ю. Чернухин // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 84-89. – Бібліогр.: 6 назв.

Експериментально досліджено характеристики стрижневих блискавкоприймачів, які запропоноване в якості еталонних зразків. Наведено методику порівняння характеристик стрижневих блискавкоприймачів. Наведено результати сумісного випробування за визначення вірогідності ураження блискавкоприймача.

Ключові слова: еталонний блискавкоприймач, час випередження, вірогідність влучення.

The air terminal characteristics are experimentally investigated. This terminal determinate as standard samples. Methodology over of comparison of descriptions of the characteristics is brought. Results over of compatible test are brought for determination of authenticity of defeat of the air terminals.

Keywords: standard air terminal, advantage time, probability of discharge.

В. В. КНЯЗЕВ, канд. техн. наук, вед. науч. сотр., НТУ «ХПИ»;
Ю. С. НЕМЧЕНКО, гл. метролог, НТУ «ХПИ»;
И. П. ЛЕСНОЙ, зав. лаб., НТУ «ХПИ»;
С. Б. СОМХИЕВ, вед. инж., НТУ «ХПИ»;
А. Ю. СКОБЛИКОВ, мл. науч. сотр., НТУ «ХПИ»

РЕАЛИЗАЦИЯ ИСПЫТАНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВОГО АВИАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ К ПЕРЕХОДНЫМ ПРОЦЕССАМ, КОТОРЫЕ ВЫЗВАНЫ МОЛНИЕЙ

Описаны конструкции и результаты аттестации комплекса установок, созданных для испытаний на устойчивость бортового авиационного оборудования к переходным процессам, вызванным молнией, в соответствии со стандартом КТ-160D.

Ключевые слова: контактный ввод, кабельная инжекция, ввод в заземление, многократный удар, многократная вспышка.

В настоящее время в Украине, как и в СНГ, основным нормативным документом при испытаниях бортового авиационного оборудования (БАО) на электромагнитную совместимость (ЭМС) является стандарт КТ-160D [1]. Среди множества заложенных в нем видов испытаний на ЭМС наиболее сложным являются испытания БАО на восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией (раздел 22).

Это объясняется тем, что данные испытания чрезвычайно объемны, т.к. их надо проводить:

1. По 5 формам испытательных сигналов, которые можно классифицировать по трем основным видам:

- апериодические импульсы (формы 1, 4 и 5 А);
- импульсы с переходом через ноль (форма 2);
- колебательные затухающие импульсы с частотами 1 МГц и 10 МГц (форма 3).

2. По 5 испытательным уровням.

3. По 3 видам испытательных пакетов, а именно:

- пакет из однократных испытательных импульсов (по 3 формам контактного ввода, по 3 формам кабельной инжекции и по 2 формам ввода в заземление);
- пакет из многократных ударов (по 3 формам кабельной инжекции и по 2 формам ввода в заземление);
- пакет из многократных вспышек (по 2 формам кабельной инжекции).

Для реализации этого вида испытаний необходимо большое количество испытательных генераторов (по нашим оценкам – 12 генераторов), которые в

Украине промышленно не выпускаются. Поэтому в Испытательной лаборатории Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института «Молния» НТУ «ХПИ» (НИПКИ «Молния») данные генераторы начали проектировать и изготавливать самостоятельно. Рамки статьи не позволяют описать все технические проблемы, которые были преодолены в процессе проектирования таких генераторов. Поэтому, далее приведены краткие технические характеристики созданных генераторов.

1 Генераторы однократных испытательных импульсов

Эти генераторы делятся на генераторы контактного ввода (ИГЛА-КВ), генераторы кабельного ввода или кабельной инъекции (ИГЛА-КИ) и генератор ввода в заземление (ИГЛА-ЗВ).

На рис. 1 приведен общий вид генератора ИГЛА-КВ, который применяется для испытания БАО методом «штырьковой индукции» испытательными напряжениями форм 3, 4 и 5А.



Рисунок 1 – Общий вид генератора ИГЛА-КВ

Основные нормированные точностные характеристики генератора ИГЛА-КВ приведены в табл. 1 и 2, где (как и в других таблицах) $U_{исн}$ ($I_{исн}$) является испытательным параметром, а $I_{пред}$ ($U_{пред}$) – предельные значения ненормированной формы (кроме формы 3).

Типовые осциллограммы испытательных сигналов генератора ИГЛА-КВ приведены на рис. 2-4.

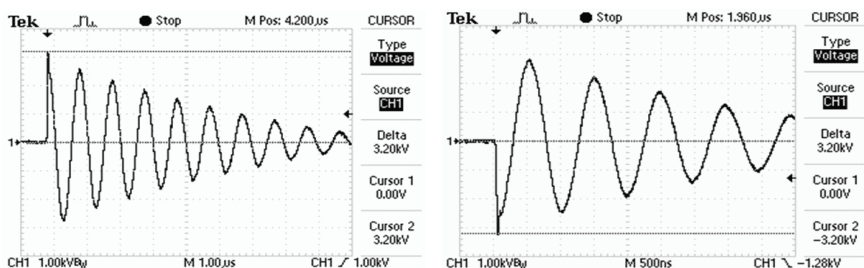


Рисунок 2 – Типовые осциллограммы испытательного напряжения положительной и отрицательной полярностей 3 формы 5 уровня на выходе генератора ИГЛА-КВ

Таблица 1 – Основные НТХ генератора ИГЛА-КВ (форма 3)

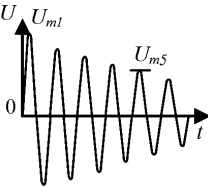
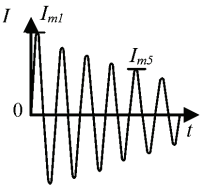
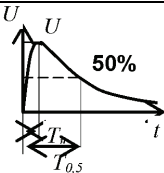
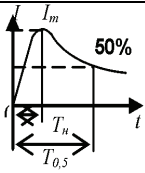
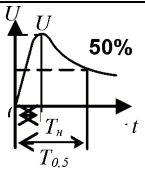
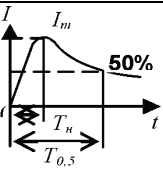
Параметр	Испытательный комплект № 3	
	Напряжение $U_{исп}$	Ток $I_{пред}$
1. Испытательный комплект		
2. Уровни испытаний:	– 1 (100 + 10) В – 2 (250 + 25) В – 3 (600 + 60) В – 4 (1500 + 150) В – 5 (3200 + 320) В	(4 + 0,4) А (10 + 1) А (24 + 2,4) А (60 + 6) А (128 + 13) А
3. Частота колебаний, МГц	1 ± 0,2	1 ± 0,2
4. Степень затухания, δ	$U_{m5}=(0,25\div 0,75)U_{m1}$	$I_{m5}=(0,25\div 0,75)I_{m1}$

Таблица 2 – Основные НТХ генератора ИГЛА-КВ (формы 4, 5)

Параметр	Испытательный комплект № 4		Испытательный комплект № 5А	
	Напряжение $U_{исп}$	Ток $I_{пред}$	Напряжение $U_{исп}$	Ток $I_{пред}$
1. Испытательный комплект				
2. Уровни испытаний:	– 1 (50 + 5) В – 2 (125 + 13) В – 3 (300 + 30) В – 4 (750 + 75) В – 5 (1600 + 160) В	(10 + 1) А (25 + 2,5) А (60 + 6) А (150 + 15) А (320 + 32) А	(50 + 5) В (125 + 13) В (300 + 30) В (750 + 75) В (1600 + 160) В	(50 + 5) А (125 + 13) А (300 + 30) А (750 + 75) А (1600 + 160) А
3. Время нарастания, $T_{н}$, мкс	6,4 ± 1,28	40 ± 8	40 ± 8	-
4. Время спада, $T_{0,5}$, мкс	69 ± 13,8	120 ± 24	120 ± 24	-

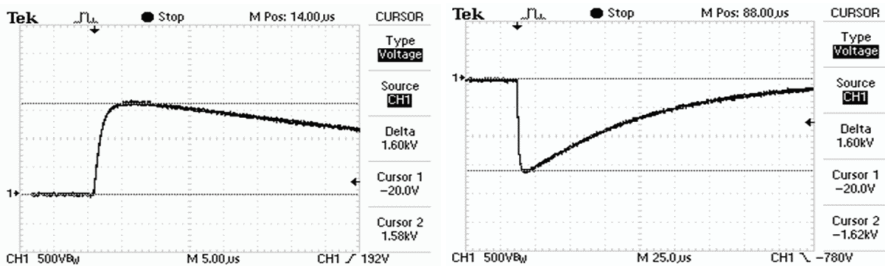


Рисунок 3 – Типовые осциллограммы испытательного напряжения положительной и отрицательной полярностей 4 формы 5 уровня на выходе генератора ИГЛА-KB

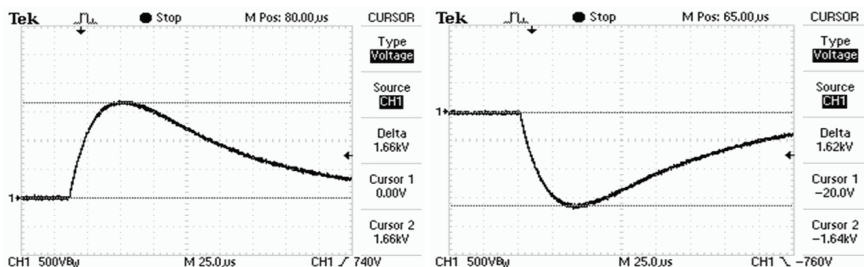


Рисунок 4 – Типовые осциллограммы испытательного напряжения положительной и отрицательной полярностей 5А формы 5 уровня на выходе генератора ИГЛА-KB

На рис. 5 приведен общий вид генератора ИГЛА-КИ-1,2, который применяется для испытаний межблочных линий связи (МЛС) БАО методом «кабельной инъекции» испытательными токами формы 1 или испытательными напряжениями формы 2 путем помещения МЛС в инжектирующий трансформатор.

Основные нормированные точностные характеристики генератора ИГЛА-КИ-1,2 приведены в табл. 3, а типовые осциллограммы испытательных сигналов – на рис. 6 и 7.



Рисунок 5 – Общий вид генератора ИГЛА-КИ-1,2

Таблица 3 – Основные НТХ генератора ИГЛА-КИ-1,2 (формы 1, 2)

Параметр	Испытательный комплект № 1		Испытательный комплект № 2	
	Ток $I_{исп}$	Напряжение $U_{пред}$	Напряжение $U_{исп}$	Ток $I_{пред}$
1. Испытательный комплект				
2. Уровни испытаний:				
– 1	(100 + 10) А	≤ 50 В	(50 + 5) В	≤ 100 А
– 2	(250 + 25) А	≤ 125 В	(125 + 13) В	≤ 250 А
– 3	(600 + 60) А	≤ 300 В	(300 + 30) В	≤ 600 А
– 4	(1500 + 150) А	≤ 750 В	(750 + 75) В	≤ 1500 А
– 5	(3200 + 320) А	≤ 1600 В	(1600 + 160) В	≤ 3200 А
3. Время нарастания, T_n , мкс	$6,4 \pm 1,28$	не нормировано	≤ 0,1	$6,4 \pm 1,28$
4. Время спада, $T_{0,5}$, мкс	$69 \pm 13,8$	не нормировано	$6,4 \pm 1,28$	$69 \pm 13,8$

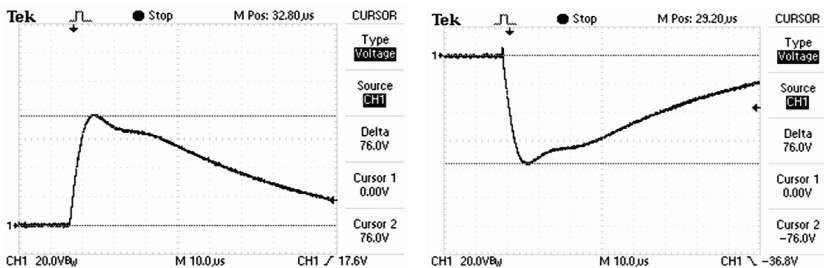


Рисунок 6 – Типовые осциллограммы испытательного тока положительной и отрицательной полярностей 1 формы 5 уровня (масштаб 1В = 42,37 А) на выходе генератора ИГЛА-КИ-1,2

На рис. 8 приведен общий вид генератора ИГЛА-КИ-3, который применяется для испытаний межблочных линий связи (МЛС) БАО методом «кабельной инъекции» испытательными напряжениями и токами формы 3 путем помещения МЛС в инжeksiрующий трансформатор.

Основные нормированные точностные характеристики генератора ИГЛА-КИ-3 приведены в табл. 4, а типовые осциллограммы испытательных сигналов – на рис. 9.

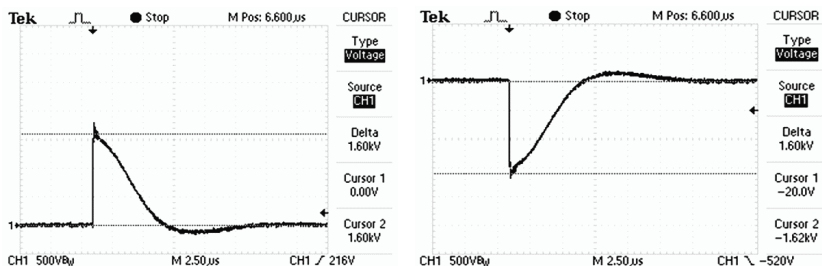


Рисунок 7 – Типовые осциллограммы испытательного напряжения положительной и отрицательной полярностей 2 формы 5 уровня на выходе генератора ИГЛА-КИ-1,2



Рисунок 8 – Общий вид генератора ИГЛА-КИ-3

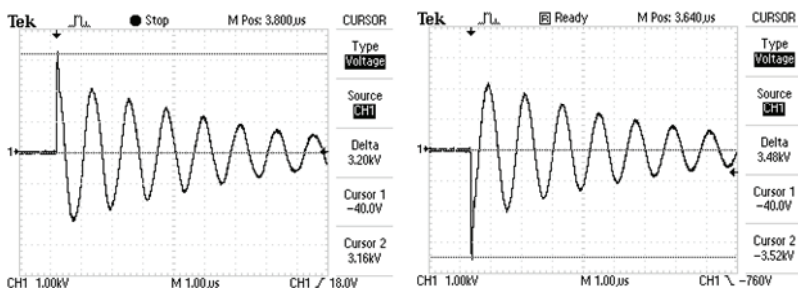


Рисунок 9 – Типовые осциллограммы испытательного напряжения положительной и отрицательной полярностей 3 формы 5 уровня на выходе генератора ИГЛА-КИ-3

На рис. 10 приведен общий вид генератора ИГЛА-3В, который применяется для испытания БАО методом «ввода в заземление» испытательными напряжениями формы 4 и испытательными токами формы 5А.

Основные нормированные точностные характеристики генератора ИГ-ЛА-3В приведены в табл. 5, а типовые осциллограммы испытательных сигналов – на рис. 11 и 12.

Таблица 4 – Основные НТХ генератора ИГЛА-КИ-1,2 (форма 3)

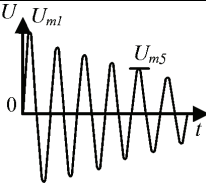
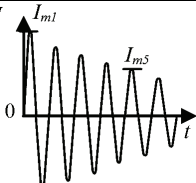
Параметр	Испытательный комплект № 3	
	Напряжение $U_{исп}$	Ток $I_{пред}$
1. Испытательный комплект		
2. Уровни испытаний:		
– 1	(100 + 10) В	≤ 20 А
– 2	(250 + 25) В	≤ 50 А
– 3	(600 + 60) В	≤ 120 А
– 4	(1500 + 150) В	≤ 300 А
– 5	(3200 + 320) В	≤ 640 А
3. Частота колебаний, МГц	$1 \pm 0,2$	$1 \pm 0,2$
4. Степень затухания, δ	$U_{m5}=(0,25 \div 0,75)U_{m1}$	$I_{m5}=(0,25 \div 0,75)I_{m1}$



Рисунок 10 – Общий вид генератора ИГЛА-3В

Таблица 5 – Основные НТХ генератора ИГЛА-КИ-1,2 (формы 4, 5А)

Параметр	Испытательный комплект № 4		Испытательный комплект № 5А	
	Напряжение $U_{исп}$	Ток $I_{пред}$	Ток $I_{исп}$	Напряжение $U_{пред}$
1. Испытательный комплект				
2. Уровни испытаний:				
– 1	(50 + 5) В	(100 + 10) А	(150 + 15) А	(50 + 5) В
– 2	(125 + 13) В	(250 + 25) А	(400 + 40) А	(125 + 13) В
– 3	(300 + 30) В	(600 + 60) А	(1000 + 100) А	(300 + 30) В
– 4	(750 + 75) В	(1500 + 150) А	(2000 + 200) А	(750 + 75) В
– 5	(1600 + 160) В	(3200 + 320) А	(5000 + 500) А	(1600 + 160) В
3. Время нарастания, T_n , мкс	$6,4 \pm 1,28$	не нормировано	40 ± 8	$6,4 \pm 1,28$
4. Время спада, $T_{0,5}$, мкс	$69 \pm 13,8$	не нормировано	120 ± 24	$69 \pm 13,8$

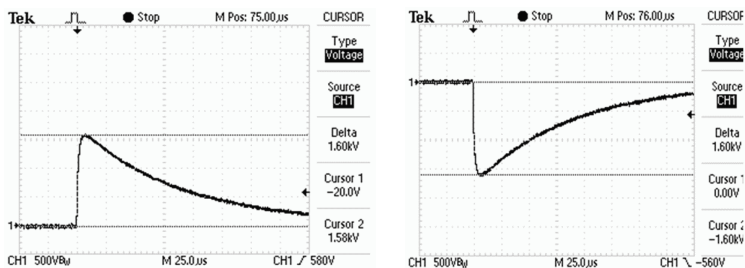


Рисунок 11 – Типовые осциллограммы испытательного напряжения положительной и отрицательной полярностей 4 формы 5 уровня на выходе генератора ИГЛА-ЗВ

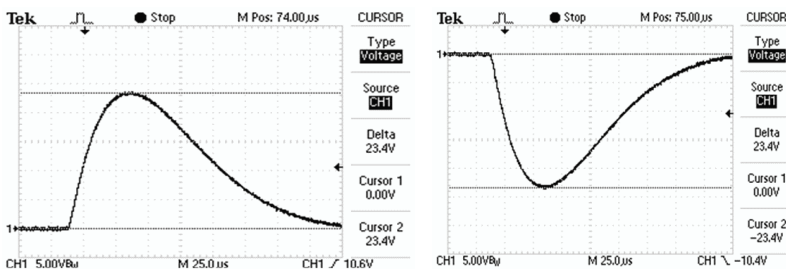


Рисунок 12 – Типовые осциллограммы испытательного тока положительной и отрицательной полярностей 5А формы 5 уровня на выходе генератора ИГЛА-ЗВ

2 Генераторы «многократных ударов»

В отличие от генераторов однократных испытательных импульсов генераторы «многократных ударов» генерируют испытательные напряжения и токи пакетами из 14 одиночных испытательных сигналов по рис. 13 и 14.

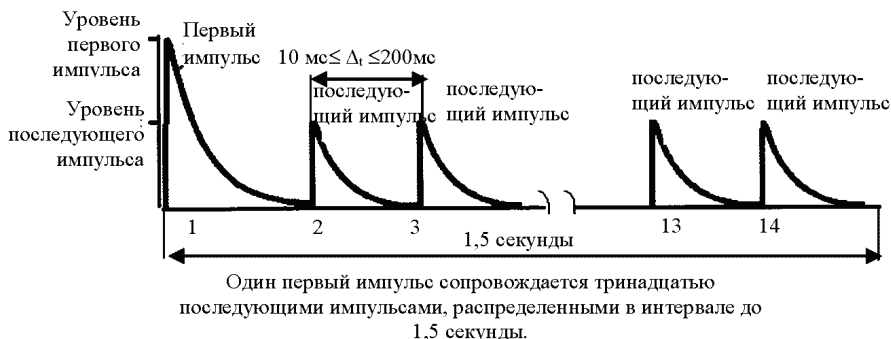


Рисунок 13 – Циклограмма испытательного пакета «многократные удары» формы 4

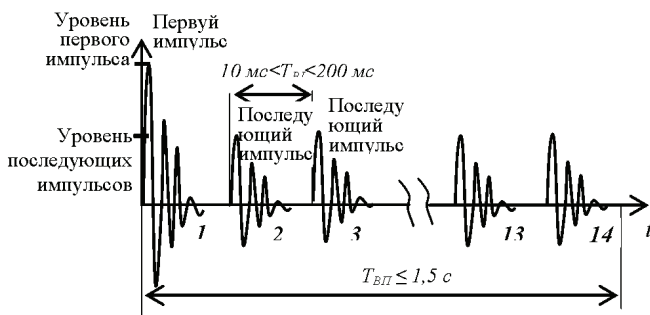


Рисунок 14 – Циклограмма испытательного пакета «многократные удары» формы 3

Для реализации всех требований данного вида испытаний, по нашему мнению, требуется 6 генератора. В настоящее время создано 3:

- генератор ИГЛА-МКУ-3-1 МГц, который реализует испытания МЛС БАО методом «кабельной инъекции» импульсами напряжения 3 формы частотой 1 МГц.
- генератор ИГЛА-МКУ-4, который реализует испытания БАО методом подачи испытательного напряжения между корпусом БАО и плоскостью заземления;
- генератор ИГЛА-МКУ-5А, который реализует испытания БАО методом подачи испытательного тока в проводник, соединяющий корпус БАО и плоскость заземления.

На рис. 15 приведен общий вид генератора ИГЛА-МКУ-3-1 МГц, который применяется для испытания БАО методом «кабельной инъекции» им-

пульсами напряжения 3 формы частотой 1 МГц.

Основные нормированные точностные характеристики генератора ИГЛА-МКУ-3-1 МГц приведены в табл. 6, а типовые осциллограммы испытательных сигналов – на рис. 16 и 17.

На рис. 18 приведен общий вид генератора ИГЛА-МКУ-4, который применяется для испытания БАО методом подачи испытательного напряжения между корпусом БАО и плоскостью заземления.



Рисунок 15 – Общий вид генератора ИГЛА-МКУ-3-1 МГц

Таблица 6 – Основные НТХ генератора ИГЛА-МКУ-3-1 (форма 3)

Параметр	Испытательный комплект № 3	
	Напряжение $U_{исп}$	Ток $I_{пред}$
1. Испытательный комплект		
2. Уровни испытаний:		
– 1 (первый удар)	(100 + 20) В	$\leq (20 + 4) \text{ А}$
– 1 (посл. удары)	(50 + 25) В	$\leq (10 + 5) \text{ А}$
– 2 (первый удар)	(250 + 50) В	$\leq (50 + 10) \text{ А}$
– 2 (посл. удары)	(125 + 62,5) В	$\leq (25 + 12,5) \text{ А}$
– 3 (первый удар)	(600 + 120) В	$\leq (120 + 24) \text{ А}$
– 3 (посл. удары)	(300 + 150) В	$\leq (60 + 30) \text{ А}$
– 4 (первый удар)	(1500 + 300) В	$\leq (300 + 60) \text{ А}$
– 4 (посл. удары)	(750 + 150) В	$\leq (150 + 75) \text{ А}$
– 5 (первый удар)	(3200 + 640) В	$\leq (640 + 128) \text{ А}$
– 5 (посл. удары)	(1600 + 800) В	$\leq (320 + 160) \text{ А}$
3. Частота колебаний, МГц	$1 \pm 0,2$	$1 \pm 0,2$
4. Степень затухания, δ	$U_{m5} = (0,25 \div 0,75) U_{m1}$	$I_{m5} = (0,25 \div 0,75) I_{m1}$

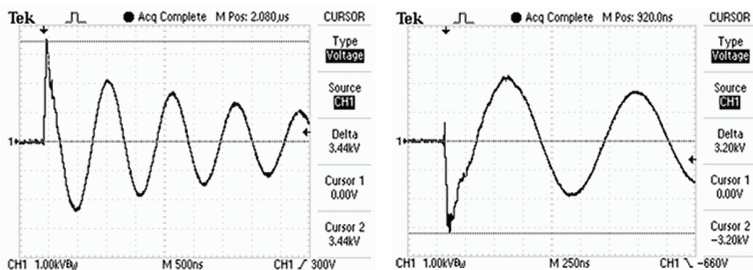


Рисунок 16 – Типовые осциллограммы испытательного напряжения положительной и отрицательной полярностей 3 формы 5 уровня на выходе генератора ИГЛА-МКУ-3-1 МГц

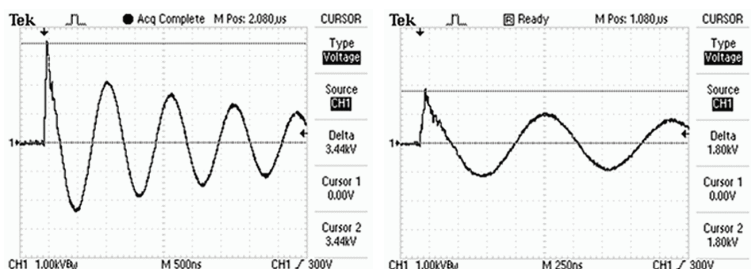


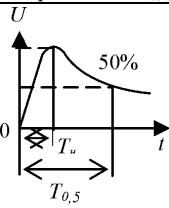
Рисунок 17 – Типовые осциллограммы испытательного напряжения первого и последующих ударов 3 формы 5 уровня на выходе генератора ИГЛА-МКУ-3-1 МГц

Основные нормированные точностные характеристики генератора ИГЛА-МКУ-4 приведены в табл. 7, а типовые осциллограммы испытательных сигналов – на рис. 19-21.



Рисунок 18 – Общий вид генератора ИГЛА-МКУ-4

Таблица 7 – Основные НТХ генератора ИГЛА-МКУ-4

Параметр	Испытательный комплект № 4	
	Напряжение $U_{исп}$	Ток $I_{пред}$
1. Испытательный комплект		не нормирована
2. Уровни испытаний:		
– 1 (первый удар)	(25 + 5) В	$\leq (50 + 1) \text{ А}$
– 1 (посл. удары)	(12,5 + 6,25) В	$\leq (25 + 12,5) \text{ А}$
– 2 (первый удар)	(62,5 + 13) В	$\leq (125 + 62,25) \text{ А}$
– 2 (посл. удары)	(31,25 + 15,626) В	$\leq (62,5 + 31,75) \text{ А}$
– 3 (первый удар)	(150 + 30) В	$\leq (300 + 60) \text{ А}$
– 3 (посл. удары)	(75 + 37,5) В	$\leq (150 + 75) \text{ А}$
– 4 (первый удар)	(375 + 75) В	$\leq (750 + 150) \text{ А}$
– 4 (посл. удары)	(187,5 + 93,75) В	$\leq (375 + 187,25) \text{ А}$
– 5 (первый удар)	(800 + 160) В	$\leq (1600 + 320) \text{ А}$
– 5 (посл. удары)	(400 + 200) В	$\leq (800 + 400) \text{ А}$
3. Время нарастания, $T_{нз}$, мкс	$6,4 \pm 1,28$	не нормирована
4. Время спада, $T_{0,5}$, мкс	$69 \pm 13,8$	не нормирована

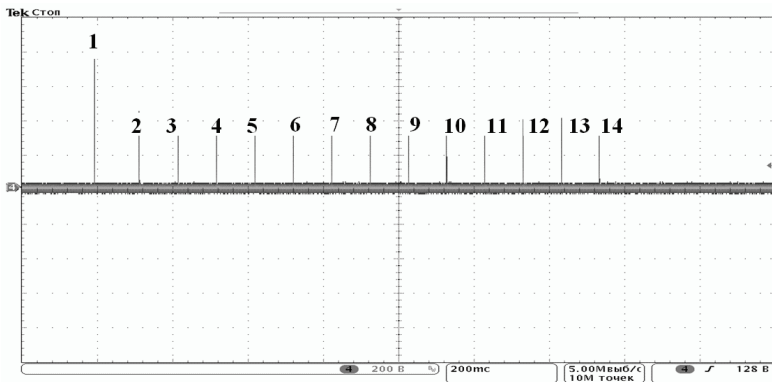


Рисунок 19 – Циклограмма испытательного пакета «многократные удары» из 14 ударов общей длительностью 1,36 с на выходе генератора ИГЛА-МКУ-4

На рис. 22 приведен общий вид генератора ИГЛА-МКУ-5А, который применяется для испытания БАО методом подачи испытательного тока в проводник, соединяющий корпус БАО и плоскость заземления.

Основные нормированные точностные характеристики генератора

ИГЛА-МКУ-5А приведены в табл. 8, а типовые осциллограммы испытательных сигналов – на рис. 23 - 25.

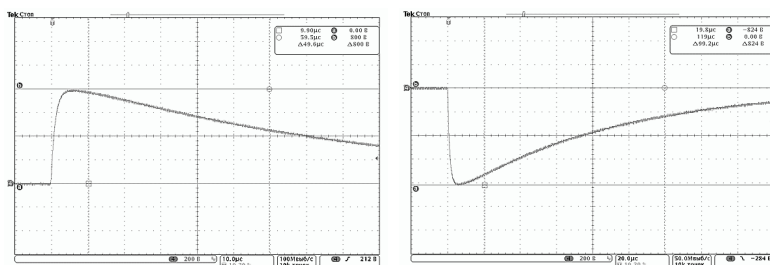


Рисунок 20 – Типовые осциллограммы испытательного напряжения положительной и отрицательной полярностей 4 формы 5 уровня на выходе генератора ИГЛА-МКУ-4

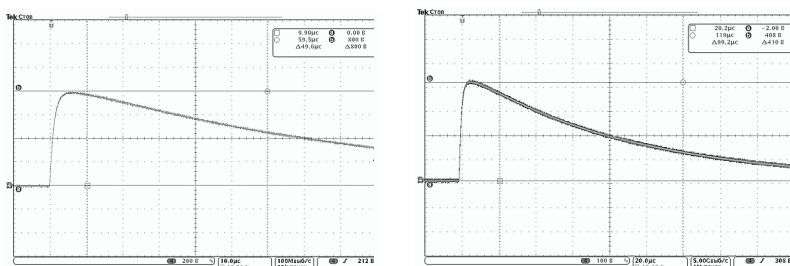
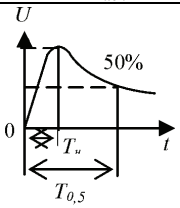


Рисунок 21 – Типовые осциллограммы испытательного напряжения первого и последующих ударов 4 формы 5 уровня на выходе генератора ИГЛА-МКУ-4



Рисунок 22 – Общий вид генератора ИГЛА-МКУ-5А

Таблица 8 – Типовые НТХ генератора ИГЛА-5А

Параметр	Испытательный комплект № 5А	
	Напряжение $U_{пред}$	Ток $I_{исп}$
1. Испытательный комплект	не нормирована	
2. Уровни испытаний:		
– 1 (первый удар)	$\leq (20 + 4) \text{ В}$	(60 + 12) А
– 1 (посл. удары)	$\leq (10 + 5) \text{ В}$	(30 + 15) А
– 2 (первый удар)	$\leq (50 + 10) \text{ В}$	(160 + 32) А
– 2 (посл. удары)	$\leq (25 + 12,5) \text{ В}$	(80 + 40) А
– 3 (первый удар)	$\leq (120 + 24) \text{ В}$	(400 + 80) А
– 3 (посл. удары)	$\leq (60 + 30) \text{ В}$	(200 + 100) А
– 4 (первый удар)	$\leq (300 + 60) \text{ В}$	(800 + 160) А
– 4 (посл. удары)	$\leq (150 + 75) \text{ В}$	(400 + 200) А
– 5 (первый удар)	$\leq (640 + 128) \text{ В}$	(2000 + 400) А
– 5 (посл. удары)	$\leq (320 + 160) \text{ В}$	(1000 + 500) А
3. Время нарастания, $T_{нз}$, мкс	не нормировано	40 ± 8
4. Время спада, $T_{0,5}$, мкс	не нормировано	120 ± 24

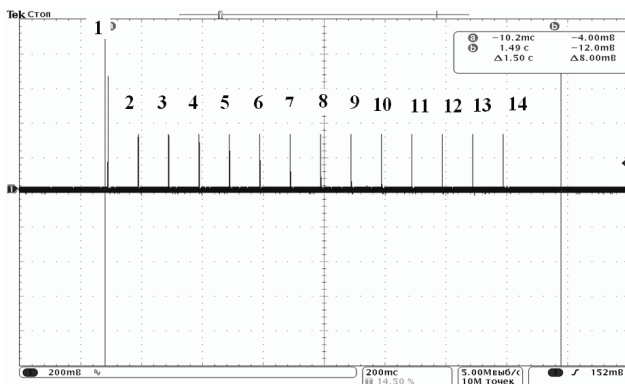


Рисунок 23 – Циклограмма испытательного пакета «многоразовые удары» из 14 ударов общей длительностью 1,50 с на выходе генератора ИГЛА-МКУ-5А

Генераторы ИГЛА-МКУ-1, ИГЛА-МКУ-2 и ИГЛА-МКУ-3-10 МГц в настоящее время находятся в производстве.

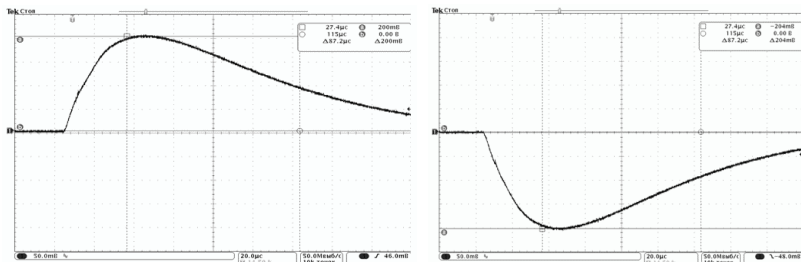


Рисунок 24 – Типовые осциллограммы испытательного тока положительной и отрицательной полярностей 5А формы 5 уровня на выходе генератора ИГЛА-МКУ-5А

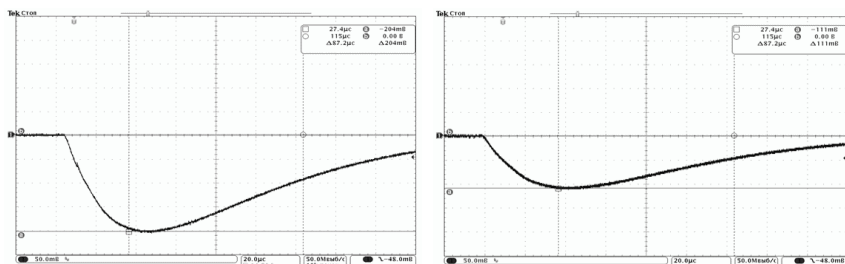


Рисунок 25 – Типовые осциллограммы испытательного тока первого и последующих ударов 5А формы 5 уровня на выходе генератора ИГЛА-МКУ-5А

3 Генераторы «многократных вспышек»

Генераторы испытательных напряжений вида «многократные вспышки» генерируют в инжектирующем трансформаторе только напряжения 3 формы с частотами 1 МГц и 10 МГц, что предполагает испытания МЛС БАО методом «кабельной инъекции». При этом испытательный пакет, который длится 5 мин., имеет очень сложную циклограмму (рис. 26), где каждый одиночный испытательный импульс представляет собой импульс напряжения формы 3.

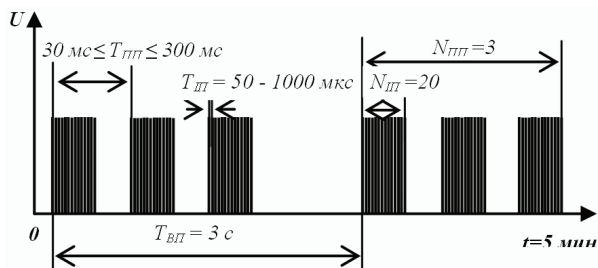
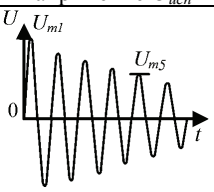
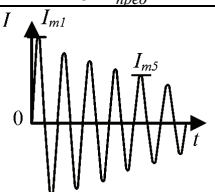


Рисунок 26 – Циклограмма «многократных вспышек»



Рисунок 27 – Общий вид генератора ИГЛА-МВ-3-10 МГц

Таблица 9 – Основные НТХ генератора ИГЛА-МВ-3-10

Параметр	Испытательный комплект № 3	
	Напряжение $U_{исп}$	Ток $I_{пред}$
1. Испытательный комплект		
2. Уровни испытаний: – 1 – 2 – 3 – 4 – 5	(60 + 12) В (150 + 30) В (360 + 72) В (900 + 180) В (1920 + 384) В	$\leq (1 + 0,2) \text{ А}$ $\leq (2,5 + 0,5) \text{ А}$ $\leq (6 + 1,2) \text{ А}$ $\leq (15 + 3) \text{ А}$ $\leq (32 + 6,4) \text{ А}$
3. Частота колебаний, МГц	10 ± 2	10 ± 2
4. Степень затухания, δ	$U_{m5} = (0,25 \div 0,75) U_{m1}$	$I_{m5} = (0,25 \div 0,75) I_{m1}$

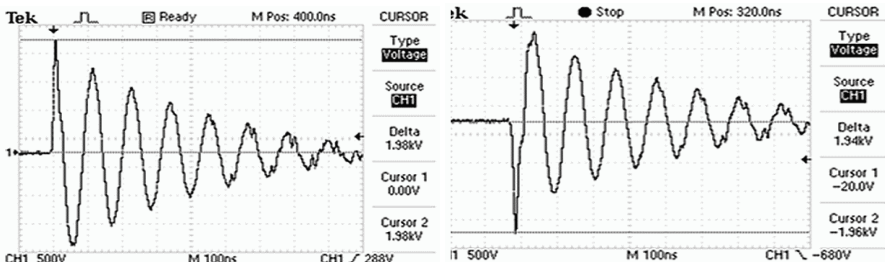


Рисунок 28 – Типовые осциллограммы испытательного напряжения положительной и отрицательной полярностей 3 формы 5 уровня на выходе генератора ИГЛА-МВ-3-10 МГц

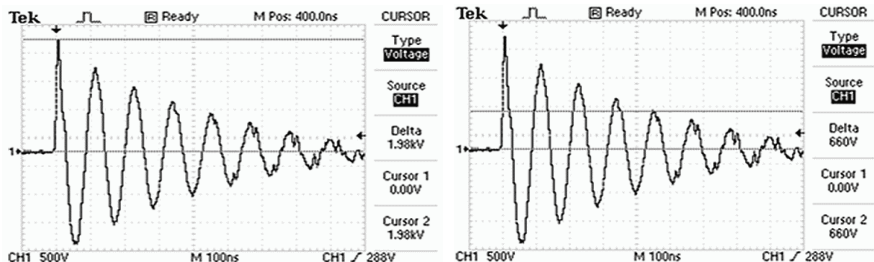


Рисунок 29 – Типовые осциллограммы испытательного напряжения первого и последующих ударов 4 формы 5 уровня на выходе генератора ИГЛА-МВ-3-10 МГц

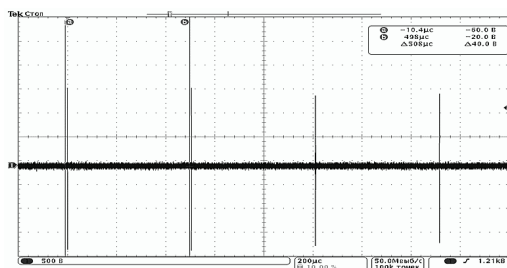


Рисунок 30 – Интервал между испытательными импульсами в пакете на выходе генератора ИГЛА-МВ-3-10 МГц

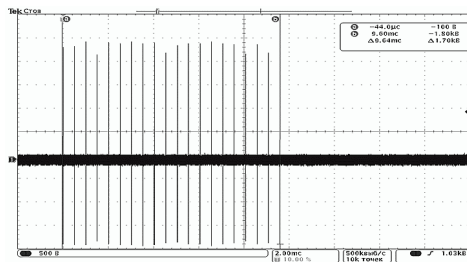


Рисунок 31– Количество испытательных импульсов в пакете на выходе генератора ИГЛА-МВ-3-10 МГц

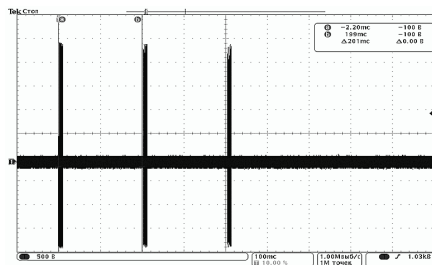


Рисунок 32 – Интервал между пакетами на выходе генератора ИГЛА-МВ-3-10 МГц

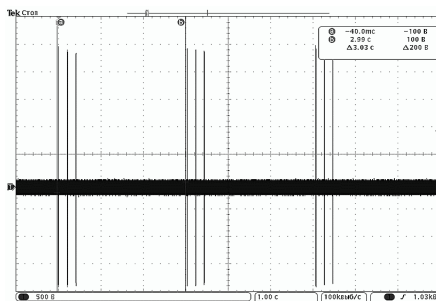


Рисунок 33 – Интервал между испытательными пакетами на выходе генератора ИГЛА-МВ-3-10 МГц

Таблица 10 – Выбор набора испытательных пакетов

Обозначение набора форм импульсов	Тип испытания	Номера форм импульсов
А (щелевая связь)	Контакт	3,4
В (щелевая и резистивная связь)	Контакт	3,5А
С Кабельный жгут (неэкранированная щелевая связь)	Единичный удар	2,3 4
Д Кабельный жгут (неэкранированная щелевая и резистивная связь)	Единичный удар	2,3 5А
Е Кабельный жгут (экранированная щелевая связь)	Единичный удар	1,3
Г Кабельный жгут (экранированная щелевая и резистивная связь)	Единичный удар	3 5А
Г Кабельный жгут (неэкранированная щелевая связь)	Единичный удар	2,3 4
	Многократный удар	2,3 4
	Многократная вспышка	3
Н Кабельный жгут (неэкранированная щелевая и резистивная связь)	Единичный удар	2,3 5А
	Многократный удар	2,3 5А
	Многократная вспышка	3
Ж Кабельный жгут (экранированная щелевая связь)	Единичный удар	1,3
	Многократный удар	1,3
	Многократная вспышка	3
К Кабельный жгут (экранированная щелевая и резистивная связь)	Единичный удар	3 5А
	Многократный удар	3 5А
	Многократная вспышка	3

В настоящее время реализован один генератор типа ИГЛА-МВ-3-10 МГц (рис. 27), который генерирует испытательное напряжение 3 формы с частотой 10 МГц. Второй генератор с частотой 1 МГц находится в производстве.

На рис. 27 приведен общий вид генератора ИГЛА-МВ-3-10 МГц.

Основные нормированные точностные характеристики генератора ИГЛА-МВ-3-10 МГц приведены в табл. 9, а типовые осциллограммы испытательных сигналов – на рис. 28-33.

Выбор набора испытательных пакетов в зависимости от конструкции БАО и МЛС приведен в табл. 10.

Испытания БАО по р. 22 КТ-160D имеют обозначение, например, ВЗГ-43. Расшифровка этой записи дана в табл. 11, где буквы в этой записи (виды испытаний) устанавливаются Заказчиком испытаний и берутся из предыдущей таблицы, а цифры обозначают испытательные уровни.

Заключение

Все описанные выше генераторы прошли первичную аттестацию в Госстандарте Украины, которая подтвердила, что генераторы воспроизводят испытательные напряжения и токи всех форм, приведенных в [1], всех 5 испытательных уровней с амплитудно-временными параметрами, изложенными в разделе 22 КТ-160D.

Таблица 11 – Расшифровка условий испытания БАО по р. 22 КТ-160D

В	З	Г	4	3
множество импульсов для испытания контактным вводом	уровень испытания контактным вводом	множество импульсов испытания кабельным вводом	уровень испытания кабельным вводом на единичный и многократный удар	уровень испытания кабельным вводом на многократную вспышку

Список литературы: 1. Квалификационные требования КТ-160D. Условия эксплуатации и окружающей среды для БАО (Внешние воздействующие факторы). Требования и нормы испытаний. Раздел 22. Восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией. 2004.

Поступила в редколлегию 15.10.2012

УДК 621.317.3

Реализация испытаний устойчивости бортового авиационного оборудования к переходным процессам, которые вызваны молнией // В. В. Князев, Ю. С. Немченко, И. П. Лесной, С. Б. Сомхив, А. Ю. Скобликов / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 90-108. – Бібліогр.: 1 назв.

Описані конструкції і результати атестації комплексу установок, створених для випробувань на стійкість бортового авіаційного устаткування до перехідних процесів, які викликані блискавкою, відповідно до стандарту КТ-160D.

Ключові слова: контактний ввід, кабельна інжекція, ввід в уземлення, багаторазовий удар, багаторазовий спалах

Constructions and results of attestation of complex of the equipments, created for tests on stability of the technical facilities to the transients caused by lightning, are described, in accordance with the standard of КТ-160D

Keywords: pin injection test, cable injection, input in grounding, multiple stroke, multiple flash.

В. В. КНЯЗЕВ, канд. техн. наук, вед. науч. сотр.; НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;

Ю. С. НЕМЧЕНКО, гл. метролог, НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;

И. П. ЛЕСНОЙ, зав. лаб., НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;

С. Б. СОМХИЕВ, вед. инженер, НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;

А. Ю. СКОБЛИКОВ, мл. науч. сотр., НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»

УСТАНОВКА У-ГИГ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА НЕВОСПРИИМЧИВОСТЬ К НИЗКОЧАСТОТНЫМ ГАРМОНИКАМ И ИНТЕРГАРМОНИКАМ, ВКЛЮЧАЯ СИГНАЛЫ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ НА ПОРТАХ СЕТИ ПИТАНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Описана конструкция и результаты аттестации установки У-ГИГ, предназначенной для испытаний технических средств на невосприимчивость к низкочастотным гармоникам и интергармоникам, включая сигнальные системы передачи на портах электросети переменного тока, согласно действующим в Украине стандартам.

Ключевые слова: гармоники, интергармоники, кривая Мейстера, отдельные гармоники, нечетные гармоники не кратные 3, перестройка частоты.

При работе электрического и электронного оборудования с номинальной силой тока до 16 А на фазу со значениями частоты помех до 2 кГц включительно (для сети питания 50 Гц) и 2,4 кГц (для сети питания 60 Гц) возникают гармоники и интергармоники, которые в низковольтных сетях электропитания приводят к ухудшению рабочих характеристик оборудования, потере функций в системах управления, к нестабильности внутренних напряжений и токов в оборудовании, к потере синхронизации и другим нежелательным явлениям.

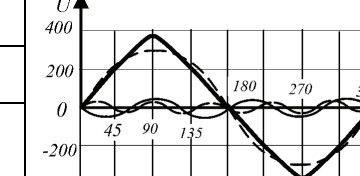
Основными источниками гармоник и интергармоник являются силовые распределительные системы и силовое электронное оборудование, которое при работе или коммутации может создавать помехи в линиях электропитания, в сигнальных линиях и линиях управления техническими средствами (ТС). Технические требования и методика проведения испытаний регламентируются гармонизированным в Украине международным стандартом ДСТУ ІЕС 61000-4-13:2009 [1].

Формы гармоник и интергармоник электропитания и технические требования к их амплитудно-временным параметрам приведены на рис. 1-5 и табл. 1 и 2.

Таблица 1 – Амплитуда и форма выходного напряжения установки У-ГИГ в режиме испытаний «Ограниченная синусоида»

Класс	Амплитудное значение «фундаментальной синусоиды» U_{max}^{fc} , В	Уровень отсечки напряжения ΔU , %	Максимальное напряжение ограниченной синусоиды U_{max}^{oc} , В	Форма импульса
1	$329,6 \pm 6,6$	$5 \pm 0,3$	$313,1 \pm 19$	
2	$337,6 \pm 6,75$	$10 \pm 0,6$	$303,8 \pm 18,5$	
3	$361,6 \pm 7,2$	$20 \pm 1,2$	$289,3 \pm 18$	

Таблица 2 – СКЗ и частоты гармонических составляющих выходного напряжения установки У-ГИГ в режиме испытаний «Треугольные импульсы»

Класс	Номера гармоник				Форма импульса
	3		5		
	% от U_ϕ	B	% от U_ϕ	B	
1	4 % / 180°	9,2 ± 0,46	3 % / 0°	6,9 ± 0,34	
2	6 % / 180°	13,8 ± 0,69	4 % / 0°	9,2 ± 0,46	
3	8 % / 180°	18,4 ± 0,92	5 % / 0°	11,5 ± 0,57	

Примечание. Сокращение СКЗ – среднеквадратичное значение.

Примечание. Сокращение СКЗ – среднеквадратичное значение.

Таблица 3 – СКЗ и частоты гармонических составляющих выходного напряжения установки У-ГИГ в режиме испытаний «Перестройка частоты»

Полоса частот, Гц	Время изменения частоты, не менее, сек.	Класс					
		1		2		3	
		% от U_ϕ	В	% от U_ϕ	В	% от U_ϕ	В
16-100	300	2	4,6	3	6,9	4,5	10,35
100-500	130	5	11,5	9	20,7	14	32,2
500-1000	170	4	9,2	4,5	10,35	9	20,7
1000-1500	150	2	4,6	2	4,6	6	13,8
1500-2000	150	2	4,6	2	4,6	4	9,2

Примечание. Допуск на воспроизведение гармонических составляющих – $\pm 5\%$.

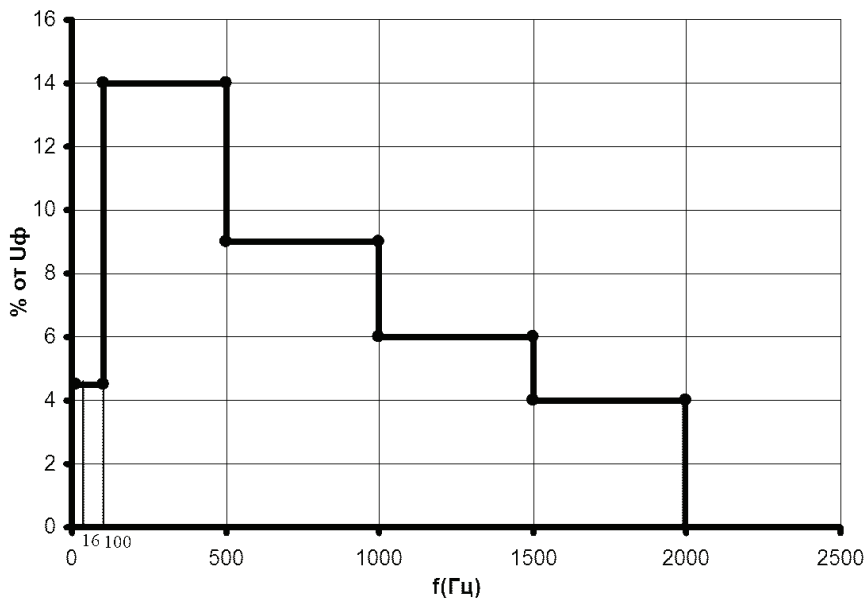


Рисунок 1 – Циклограмма изменения СКЗ напряжения гармоник в режиме испытаний «Перестройка частоты» для класса 3

Таблица 4 – СКЗ и частоты гармонических составляющих выходного напряжения установки У-ГИГ в режиме испытаний «Кривая Мейстера»

Полоса частот, Гц	Время изменения частоты, не менее, сек.	Класс ТС					
		1		2		3	
		% от U_{ϕ}	В	% от U_{ϕ}	В	% от U_{ϕ}	В
16-100	300	н.п.	-	3	6,9	4	9,2
100-500	130	н.п.	-	9	20,7	10	23
500-1000	170	н.п.	-	4500/f (9 – 4,5)	20,7 - 10,35	4500/f (9 – 4,5)	20,7 - 10,35
1000-2000	300	н.п.	-	4500/f (4,5 – 2,25)	10,35 - 5,18	4500/f (4,5 – 2,25)	10,35 - 5,18
Примечание 1. Сокращение н.п. – не применяется.							
Примечание 2. Допуск на воспроизведение гармонических составляющих $\pm 5\%$.							

Нижe описана разработанная и изготовленная в НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» установка У-ГИГ, предназначенная для испытания ТС на невосприимчивость к низкочастотным гармоникам и интергармоникам путем создания в цепи электропитания ТС всех видов гармоник и интергармоник. по [1]. Основные технические и конструктивные параметры испытательной установки У-ГИГ приведены в табл. 3.

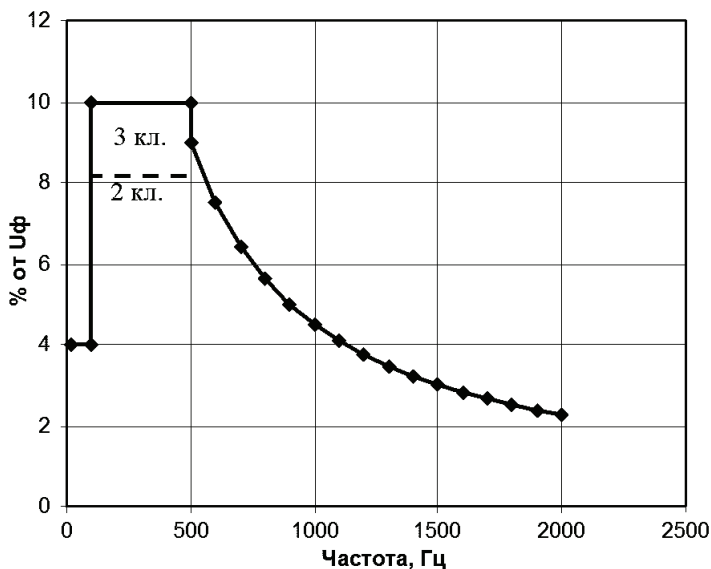


Рисунок 2 – Циклограмма изменения СКЗ напряжения гармоник в режиме испытаний «Кривая Мастера»

Таблица 5 – СКЗ и частоты гармонических составляющих выходного напряжения установки У-ГИГ в режиме испытаний «Отдельные гармоники»

Гармоника		Класс					
Номер	Частота, Гц	1		2		3	
		% от U_{ϕ}	В	% от U_{ϕ}	В	% от U_{ϕ}	В
1	2	3	4	5	6	7	8
2	100	3	6,9	3	6,9	5	11,5
3	150	4,5	10,35	8	18,4	9	20,7
4	200	1,5	3,45	1,5	3,45	2	4,6
5	250	4,5	10,35	9	20,7	12	27,6
6	300	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	1,5	3,45
7	350	4,5	10,35	7,5	17,25	10	23
8	400	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	1,5	3,45
9	450	2	4,6	2,5	5,75	4	9,2
10	500	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	1,5	3,45
11	550	4,5	10,35	5	11,5	7	16,1
12	600	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	1,5	3,45
13	650	4	9,2	4,5	10,35	7	16,1
14	700	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	1,5	3,45
15	750	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	3	6,9
16	800	н.п.	н.п.	н.п.	н.п.	1,5	3,45
17	850	3	6,9	3	6,9	6	13,8

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8
18	900	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	1,5	<i>3,45</i>
19	950	2	<i>4,6</i>	2	<i>4,6</i>	6	<i>13,8</i>
20	1000	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	1,5	<i>3,45</i>
21	1050	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	2	<i>4,6</i>
22	1100	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	1,5	<i>3,45</i>
23	1150	2	<i>4,6</i>	2	<i>4,6</i>	6	<i>13,8</i>
24	1200	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	1,5	<i>3,45</i>
25	1250	2	<i>4,6</i>	2	<i>4,6</i>	6	<i>13,8</i>
26	1300	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	1,5	<i>3,45</i>
27	1350	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	2	<i>4,6</i>
28	1400	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	1,5	<i>3,45</i>
29	1450	1,5	<i>3,45</i>	1,5	<i>3,45</i>	5	<i>11,5</i>
30	1500	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	1,5	<i>3,45</i>
31	1550	1,5	<i>3,45</i>	1,5	<i>3,45</i>	3	<i>6,9</i>
32	1600	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	1,5	<i>3,45</i>
33	1650	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	2	<i>4,6</i>
34	1700	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	1,5	<i>3,45</i>
35	1750	1,5	<i>3,45</i>	1,5	<i>3,45</i>	3	<i>6,9</i>
36	1800	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	1,5	<i>3,45</i>
37	1850	1,5	<i>3,45</i>	1,5	<i>3,45</i>	3	<i>6,9</i>
38	1900	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	1,5	<i>3,45</i>
39	1950	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	2	<i>4,6</i>
40	2000	н.п.	<i>н.п.</i>	н.п.	<i>н.п.</i>	1,5	<i>3,45</i>

Примечание 1. Все гармоники со 2 по 9 имеют фазы 0 и 180° к синусоиде основной гармоники электропитания.

Примечание 2. Допуск на воспроизведение гармонических составляющих – $\pm 5\%$.

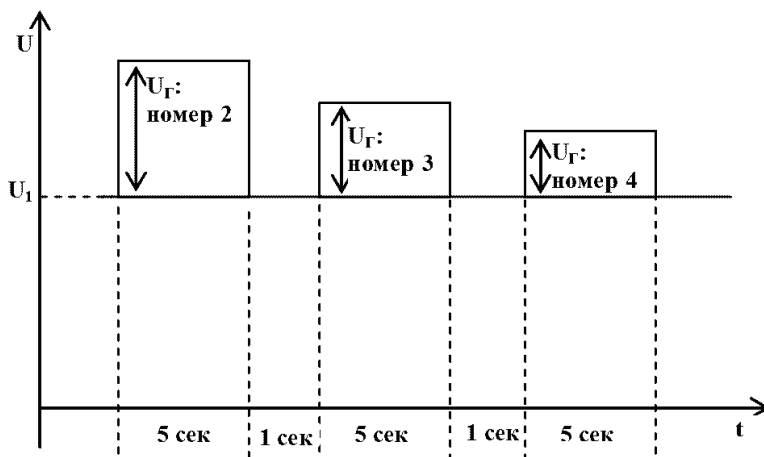


Рисунок 3 – Циклограмма гармонических составляющих выходного напряжения установки У-ГИГ в режиме испытаний «Отдельные гармоники»

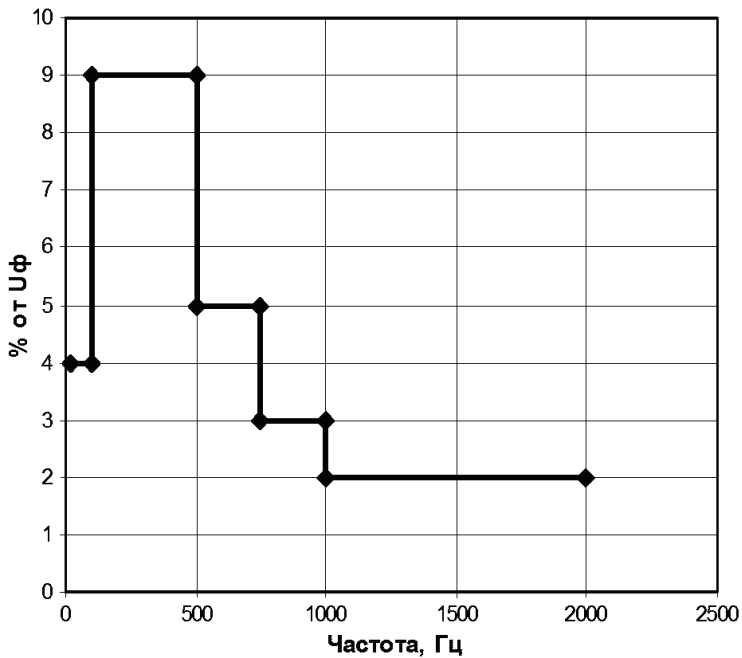


Рисунок 4 – Циклограмма изменения СКЗ напряжения гармоник в режиме генерирования «Интергармоники» для класса 3

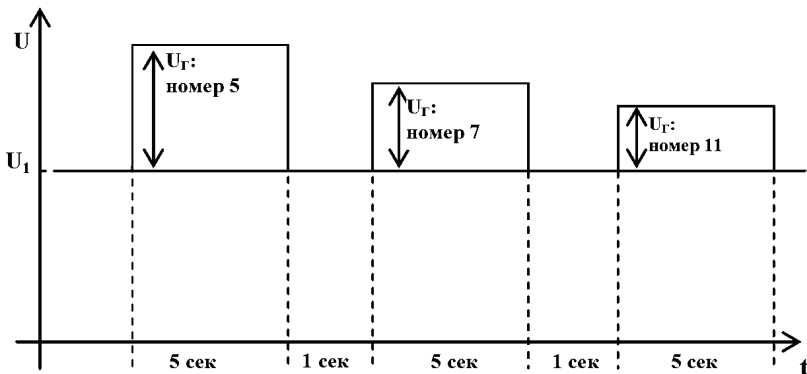


Рисунок 5 – Циклограмма гармонических составляющих выходного напряжения установки У-ГИГ в режиме «Нечетные гармоники, некртные 3»

Примечание. Все гармоники с 5 по 9 имеют фазы 0° и 180° к синусоиде основной гармоники электропитания.

Таблица 6 – СКЗ и частоты гармонических составляющих выходного напряжения установки У-ГИГ в режиме испытаний «Интергармоники»

Полоса частот, Гц	Время изменения частоты, не менее, сек.	Класс					
		1		2		3	
		% от U_{ϕ}	В	% от U_{ϕ}	В	% от U_{ϕ}	В
16-100	300	н.п.	-	2,5	5,75	4	9,2
100-500	130	н.п.	-	5	11,5	9	20,7
500-750	85	н.п.	-	3,5	8,05	5	11,5
750-1000	85	н.п.	-	2	4,6	3	6,9
1000-2000	300	н.п.	-	1,5	3,45	2	4,6
Примечание. Допуск на воспроизведение гармонических составляющих $\pm 5\%$.							

Таблица 7 – СКЗ и форма гармонических составляющих выходного напряжения установки У-ГИГ в режиме генерирования «Нечетные гармоники, не кратные 3»

Гармоника		Класс					
Но-мер	Частота, Гц	1		2		3	
		% от U_{ϕ}	В	% от U_{ϕ}	В	% от U_{ϕ}	В
1	2	3	4	5	6	7	8
5	250	4,5	10,35	9	20,7	12	27,6
7	350	4,5	10,35	7,5	17,25	10	23
11	550	4,5	10,35	5	11,5	7	16,1
13	650	4	9,2	4,5	10,35	7	16,1
17	850	3	6,9	3	6,9	6	13,8
19	950	2	4,6	2	4,6	6	13,8
23	1150	2	4,6	2	4,6	6	13,8
25	1250	2	4,6	2	4,6	6	13,8
29	1450	1,5	3,45	1,5	3,45	5	11,5
31	1550	1,5	3,45	1,5	3,45	3	6,9
35	1750	1,5	3,45	1,5	3,45	3	6,9
37	1850	1,5	3,45	1,5	3,45	3	6,9
Примечание. Допуск на воспроизведение гармонических составляющих $\pm 5\%$.							

Таблица 8 – Основные технические и конструктивные параметры испытательной установки

Наименование характеристики	Размерность	Величина
Напряжение питания установки У-ГИГ	В Гц	220 50
Потребляемая мощность, не более	кВ А	5
Время готовности установки к использованию, не более	мин	15
Время непрерывной работы, не более	час	8
Габаритные размеры, не более: – генератора Г-ГИГ – усилителя мощности УМ	мм	480x210x495 482x88x500
Масса, не более: – генератора Г-ГИГ – усилителя мощности УМ	кг	15 30

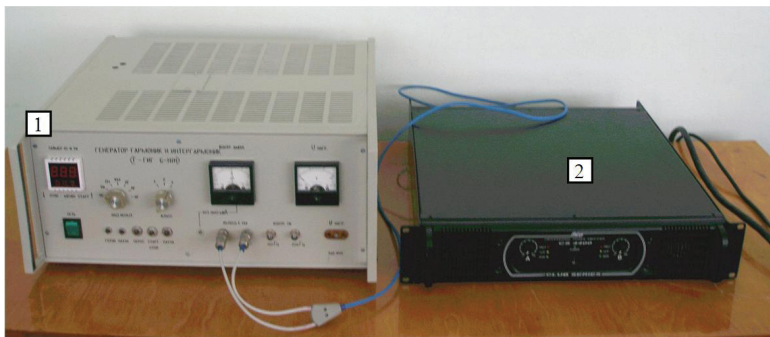


Рисунок 6 – Общий вид установки У-ГИГ:
1 – генератор Г-ГИГ; 2 – низкочастотный усилитель мощности УМ

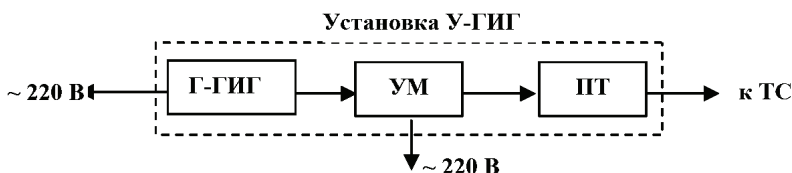


Рисунок 7 – Структурная схема установки У-ГИГ: Г-ГИГ – генератор Г-ГИГ;
УМ – усилитель мощности; ПТ – повышающий трансформатор

Общий вид установки У-ГИГ приведен на рисунке 6, а структурная схема – на рис. 7.

Генератор Г-ГИГ собран в металлическом корпусе и его общий вид показан на рис. 8.

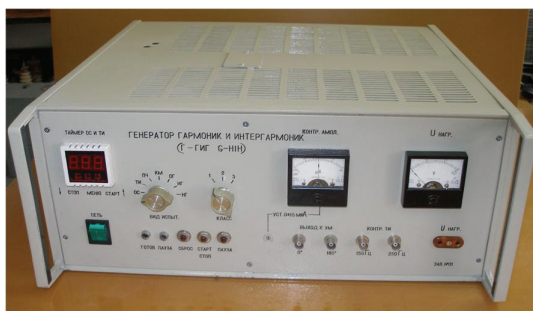


Рисунок 8 – Общий вид генератора Г-ГИГ

Установка У-ГИГ представляет собой автономный источник питания ТС напряжением 220 В частотой 50 Гц и мощностью до 4 кВт. Установка генерирует практически идеальную синусоиду с коэффициентом гармоник менее 1 %. Это необходимо для того, чтобы исключить питание ТС от промышлен-

ной электросети, которая содержит много разных гармоник, то есть является «грязной».

На передней панели генератора Г-ГИГ расположены следующие органы управления и контроля:

– клавиша СЕТЬ с подсветкой служит для подачи напряжения питания 220 В 50 Гц на генератор У-ГИГ и для его отключения после окончания работы;

– переключатель ВИД ИСПЫТ. служит для установления вида испытаний и имеет семь положений:

- ОС – «Ограниченная синусоида»
- ТИ – «Треугольные импульсы»;
- ПЧ – «Перестройка частоты»;
- КМ – «Кривая Мейстера»;
- ОГ – «Отдельные гармоники»;
- ИГ – «Интергармоники»;
- НГ – «Нечетные гармоники, не кратные 3».

– переключатель КЛАСС служит для установления класса электромагнитной обстановки и имеет 3 положения: «1», «2», «3»;

– ТАЙМЕР ОС И ТИ служит для установки длительности испытаний вида ОС и ТИ, при этом кнопка МЕНЮ на ТАЙМЕРЕ служит для установления длительности испытаний, кнопка СТАРТ на ТАЙМЕРЕ служит для увеличения длительности испытаний при нажатой кнопке МЕНЮ, а кнопка СТОП служит для уменьшения длительности испытаний при нажатой кнопке МЕНЮ. Кроме того, при выключенной кнопке МЕНЮ кнопка СТАРТ служит для включения генератора в режимы испытаний видов ОС и ТИ, а кнопка СТОП для выключения этих видов испытаний;

– микроамперметр КОНТР. АМПЛ. служит для контроля правильности работы генератора;

– вольтметр $U_{\text{НАГР}}$ служит для установки выходного напряжения 230 (220) В 50 Гц;

– разъемы ВЫХОД К УМ (0° и 180°) служит для выдачи двух идентичных по амплитуде, но противоположных по фазе выходных сигналов для подключения к усилителю мощности;

– потенциометр УСТ. 0 ± 15 мкА служит для первоначальной установки режимов работы генератора по микроамперметру КОНТР. АМПЛ.;

– разъемы КОНТР. ТИ (150 Гц и 250 Гц) служат для контроля работы генератора в режиме ТИ;

– кнопка СТАРТ служит для перевода генератора в режимы генерирования видов ПЧ, КМ, ОГ, ИГ и НГ;

– кнопка СТОП служит для возвращения генератора в начальное состояние режимов генерирования видов ПЧ, КМ, ОГ, ИГ и НГ;

– кнопка ПАУЗА служит для приостановки режимов генерирования видов ПЧ, КМ, ОГ, ИГ и НГ в любом месте циклограммы, а при повторном на-

жатию ее – для возобновления режимов генерирования видов ПЧ, КМ, ОГ, ИГ и НГ;

– кнопка СБРОС служит для перевода генератора в исходное состояние;

На задней панели генератора Г-ГИГ (рис. 9) расположены следующие органы управления и контроля:

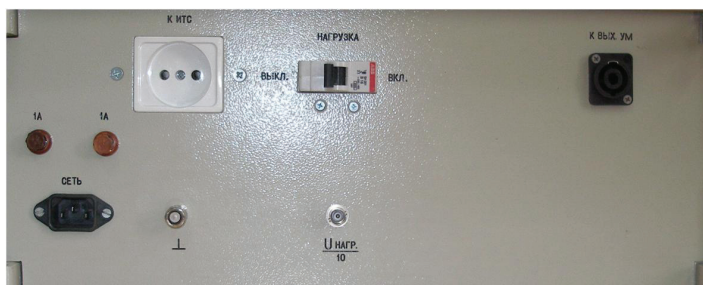


Рисунок 9 – Задняя панель генератора Г-ГИГ

– НАГРУЗКА служит для подключения к генератору испытываемого технического средства;

– автомат защиты НАГРУЗКА служит для включения ИТС, а также для защиты генератора от перегрузки;

– разъем К ВЫХ. УМ служит для подключения выхода усилителя мощности к выходному (повышающему) трансформатору.

На рис. 10-12 показаны результаты измерения выходного напряжения на выходе установки У-ГИГ в разных режимах работы.

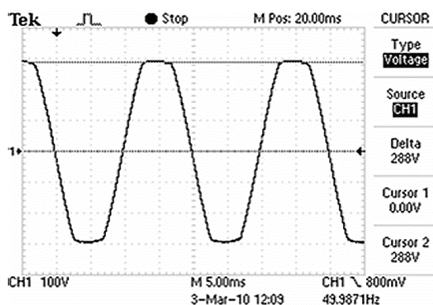


Рисунок 10 – Типовая осциллограмма напряжения в режиме генерирования «Ограниченная синусоида»

В режимах «Перестройка частоты», «Кривая Мейстера» и «Интергармоники» на основную частоту электропитания 50 Гц непрерывно накладываются гармонические составляющие с частотами от 16 Гц до 2 кГц, отличающиеся друг от друга только амплитудами этих составляющих (см. табл. 3, 4 и 6).

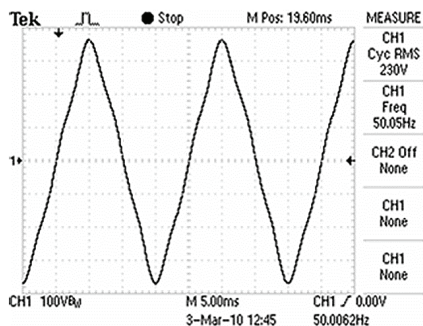


Рисунок 11 – Типовая осциллограмма напряжения в режиме генерирования «Треугольные импульсы»

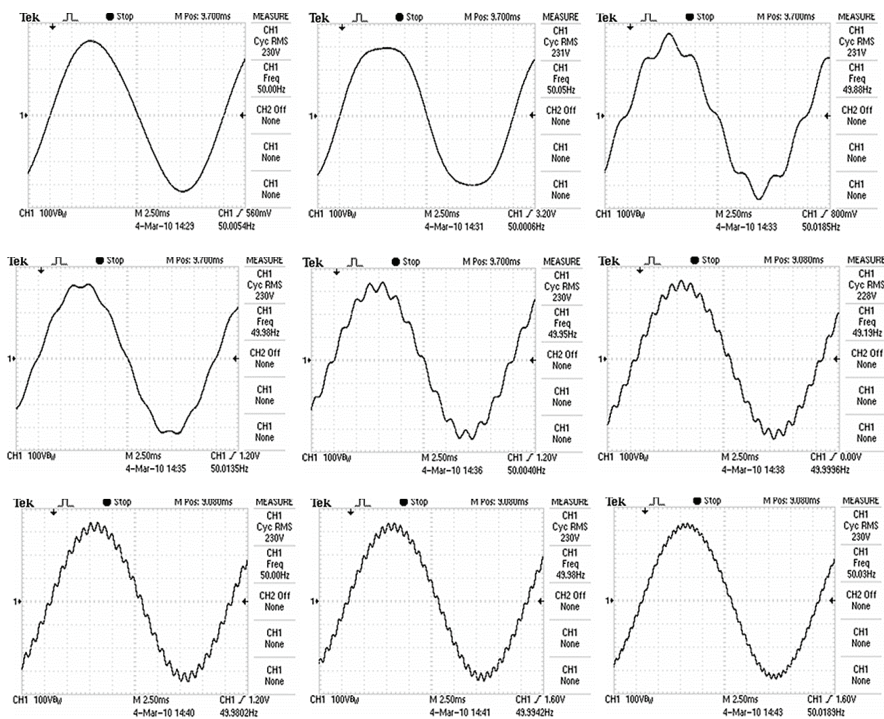


Рисунок 12 – Типовые осциллограммы полного напряжения электропитания в режимах генерирования «Перестройка частоты», «Кривая Мейстера», «Отдельные гармоники», «Интергармоники» «Нечетные гармоники, не кратные 3»

В режимах «Отдельные гармоники» и «Нечетные гармоники, не кратные 3» на основную частоту электропитания 50 Гц дискретно накладываются

гармонические составляющие с параметрами по табл. 5 и 7.

Порядок работы при испытаниях ТС по данному стандарту регламентируется 4 видами алгоритмов испытаний:

- № 1: испытание ТС классов 1 и 2 без систем передачи сигналов по портам электропитания;
- № 2: испытание ТС классов 1 и 2 с системами передачи сигналов по портам электропитания;
- № 3: испытание ТС класса 3 без систем передачи сигналов по портам электропитания;
- № 4: испытание ТС класса 3 с системами передачи сигналов по портам электропитания.

Поэтому испытания ТС начинаются с анализа документации ТС с целью выбора необходимого алгоритма испытаний, после чего и начинаются сами испытания.

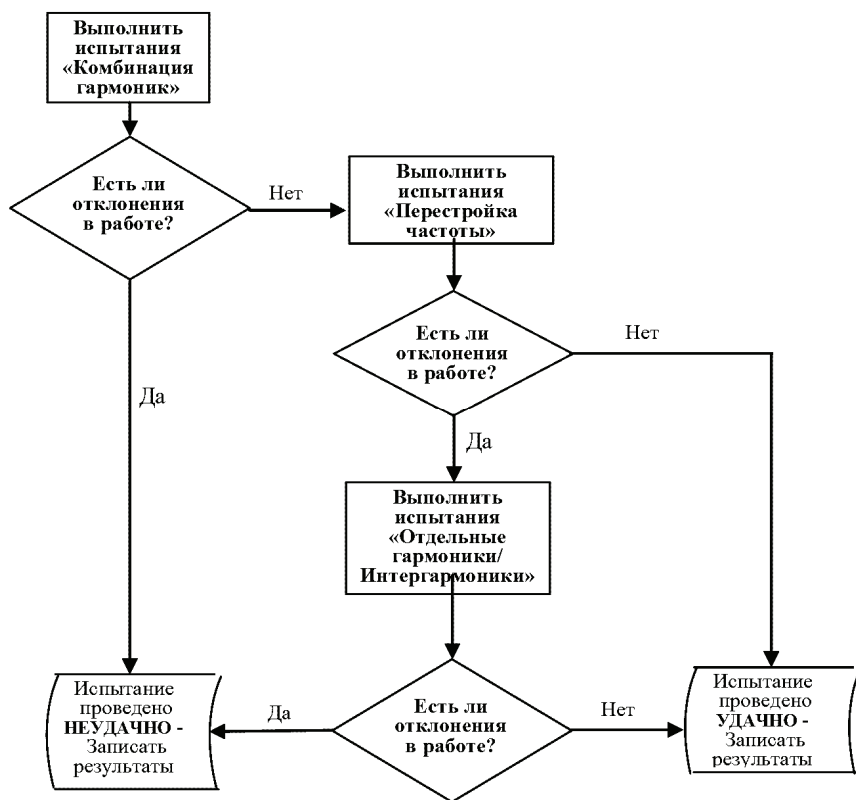


Рисунок 13 – Процедура испытаний по алгоритму № 3

Рассмотрим процедуру испытаний ТС наиболее часто встречающегося в нашей практике алгоритма № 3 (рис. 13).

По этому алгоритму необходимо сначала выполнить два основных для всех видов алгоритмов испытания видов: «Ограниченная синусоида» и «Треугольные импульсы». Если у ТС есть отклонения в работе, то испытания завершаются с результатом «Неудачно». Если у ТС нет отклонений в работе, то необходимо перейти к следующему виду испытаний «Перестройка частоты».

Если у ТС нет отклонений в работе и по этому виду, то испытания завершаются с результатом «Удачно», а если отклонения есть, то необходимо продолжить испытания видами «Отдельные гармоники» и «Интергармоники». Если и в этом случае у ТС есть отклонения в работе, то испытания завершаются с результатом «Неудачно», а если нет – испытания завершаются с результатом «Удачно».

Установка У-ГИГ успешно прошла государственную аттестацию и успешно применяется в испытательной лаборатории НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» для проведения различного рода испытаний ТС, включая сертификационные, к низкочастотным гармоникам и интергармоникам путем создания в цепи электропитания ТС всех видов гармоник и интергармоник (по ДСТУ IEC 61000-4-13:2009).

Список литературы: 1. ДСТУ IEC 61000-4-13:2009 (Електромагнітна сумісність (ЕМС). Частина 4-13: Методики випробування та вимірювання. Випробування на несприйнятливість до низькочастотних гармонік та інтергармонік, зокрема до сигналів систем передавання на портах мережі живлення змінного струму.

Поступила в редколлегию 17.10.2012

УДК 621.317.3

Установка У-ГИГ для испытаний технических средств на невосприимчивость к низкочастотным гармоникам и интергармоникам, включая сигналы систем передачи на портах сети питания переменного тока // В. В. Князев, Ю. С. Немченко, И. П. Лесной, С. Б. Сомхив, А. Ю. Скобликов / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 109-121. – Бібліогр.: 1 назв.

Описано конструкцію і результати атестації установки У-ГИГ, призначеної для випробувань технічних засобів на несприйнятливість до низькочастотних гармонік та інтергармонік, включаючи сигнальні системи передавання на портах електромережі змінного струму, згідно з діючими в Україні стандартами.

Ключові слова: гармоніки, інтергармоніки; крива Мейстера; окремі гармоніки; непарні гармоніки не кратні 3, перестройка частоти.

The design and results of the qualification of the device named «U-GIG», intended for test the technical facilities for immunity to low frequency harmonics and interharmonics including mains signaling at a. c. power port immunity tests, in accordance with acting in Ukraine standard

Keywords: harmonics, interharmonics, Meister curve, individual harmonics, odd harmonics multiple of 3 harmonics, sweep in frequency.

А.И.КОРОБКО, канд.техн.наук, зав.отд., НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»

КРУПНОГАБАРИТНЫЙ ГЕНЕРАТОР МОЩНОГО ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СУБНАНОСЕКУНДНОГО ДИАПАЗОНА ИЭМИ-1,2М

Приводится описание генератора мощного импульсного электромагнитного излучения субнано-секундного диапазона. Генератор предназначен для проведения исследований по определению стойкости различных объектов к поражающему воздействию импульсного электромагнитного излучения естественного и искусственного происхождения.

Ключевые слова: генератор мощного электромагнитного излучения, импульсное электромагнитное поле.

Введение. Современное общество характеризуется массовым применением различных радиоэлектронных систем практически во все области его деятельности. При этом научно-технический прогресс в области разработки и создания, как новых радиоэлектронных систем, так и в области модернизации существующих, позволяет создавать новые радиоэлектронные системы с все более увеличивающейся степенью интеграции (количеством радиоэлектронных компонентов в единице площади или объема).

Из данного факта естественно следует уменьшение геометрических размеров радиоэлектронных компонентов, входящих в состав радиоэлектронных систем, что приводит к тому, что эти радиоэлектронные компоненты становятся все более уязвимы (нестойки) к различным энергетическим перегрузкам: по теплу; по току; по напряжению и т.д.

Одним из поражающих энергетических факторов для радиоэлектронных систем является импульсное электромагнитное излучение естественного и искусственного происхождения [1-3] (непрямой удар молнии, электростатический пробой, излучение ионосферы, факторы электромагнитного терроризма и др.).

Степень влияния всех этих воздействий на радиоэлектронные компоненты возрастает при увеличении скорости ввода электромагнитной энергии импульсного электромагнитного излучения в радиоэлектронные компоненты [4].

Данный момент является определяющим при определении исходных требований к амплитудно-временным параметрам создаваемого генератором излучения [5].

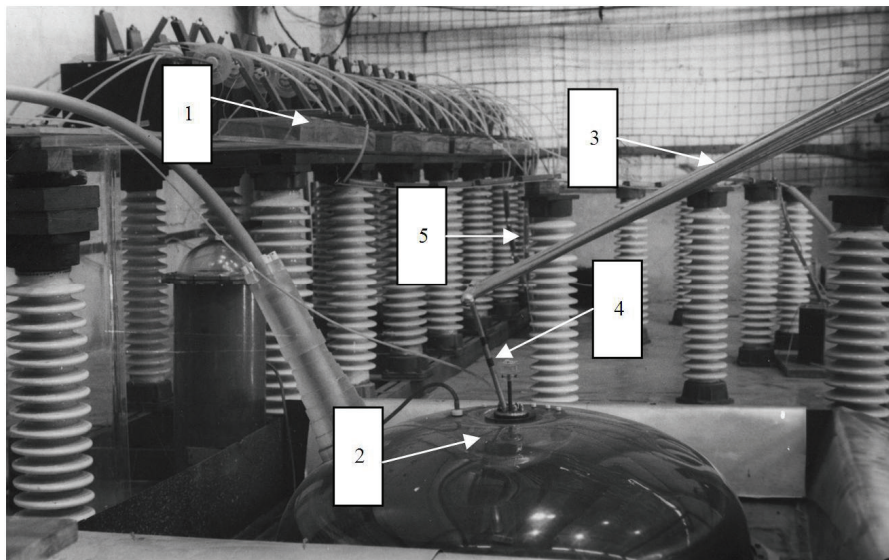
Вторым не менее важным моментом являются габариты рабочего объема генератора, которые должны позволять корректно проводить исследования крупногабаритных объектов [5,6].

© А. И. Коробко, 2012

Анализ основных достижений и литературы. В настоящий момент в известной литературе полностью отсутствуют сведения о крупногабаритных генераторах импульсного электромагнитного излучения субнаносекундного диапазона.

Цель работы. Целью работы является разработка, создание и исследование характеристик крупногабаритного генератора моноимпульсного электромагнитного излучения субнаносекундного диапазона.

Описание экспериментальной установки. Общий вид генератора ИЭМИ-1,2М приведен на рисунке. Генератор состоит из следующих основных частей: импульсного источника питания 1 и 2, системы полеобразования 3 и окончечного устройства (на рисунке не показано).



Общий вид генератора ИЭМИ-1,2М. 1,2 – импульсный источник питания; 3 – система полеобразования; 4 – регулировочный шлейф; 5 – поперечные резистивные цепочки

Импульсный источник питания представляет собой волновой генератор импульсов напряжения, работающий в режиме одновременного срабатывания коммутаторов [7,8]. Волновой генератор импульсов напряжения конструктивно выполнен в виде распределенных индуктивно-емкостных систем 1 и 2 [8], причем первая из них собрана на стандартных бумажно-масляных конденсаторах ИМН 100/0,1, а вторая представляет собой полосково-дисковый цилиндрический резонатор. Данная конструкция волнового генера-

тора позволила получить требуемые амплитудно-временные параметры генерируемого поля без применения каких либо промежуточных элементов (например, обострителей), что обусловило лучшие значения коэффициента полезного действия данного генератора и его массо-габаритные показатели по сравнению с известными системами.

В импульсном источнике питания предусмотрена возможность регулировки длительности фронта и длительности импульса электромагнитного поля.

Регулировка длительности фронта осуществляется путем изменения геометрической длины регулировочного шлейфа 4, включаемого между выходом импульсного источника питания и входом системы полеобразования (см. рис.1). Минимальной величине длительности фронта соответствует длина шлейфа равная нулю (т.е. его полное отсутствие), а максимальной длительности фронта соответствует, естественно, случай максимальной длины шлейфа.

Регулировка длительности импульса осуществляется путем шунтирования части 1 волнового генератора импульсов напряжения поперечными резистивными цепочками 5 (см. рис.1). При этом максимальному количеству шунтирующих цепочек соответствует минимальная величина длительности импульса, а их минимальному количеству (полному отсутствию) – максимальная величина длительности импульса.

Система полеобразования генератора ИЭМИ -1,2М представляет собой комбинацию конической линии на входе (в месте подключения импульсного источника питания) и цилиндрической линии в районе исследуемого объекта.

Технические характеристики установки. Генератор ИЭМИ-1,2М имеет следующие основные технические характеристики [9].

1. Вид системы полеобразования: коническая линия – цилиндрическая линия.
2. Габариты рабочего объема системы полеобразования (длина x ширина x высота) – (20 x 10 x 10)м.
3. Вид электромагнитной волны – сферическая Т волна.
4. Поляризация волны – вертикальная.
5. Максимальная величина напряженности электрической составляющей электромагнитного поля от 10 кВ/м до 120 кВ/м.
6. Максимальная величина напряженности магнитной составляющей электромагнитного поля от 26 А/м до 312 А/м.
7. Величина длительности фронта импульса электромагнитного поля от 0,8 нс до 50 нс.
8. Величина длительности импульса электромагнитного поля от 50 нс до 200 нс.
9. Доля электромагнитных волн высших типов от 10% до 30%.
10. Частота следования импульсов – 15 импульсов в минуту.

Выводы. Анализ полученных технических характеристик генератора ИЭМИ-1,2М позволяет сделать следующие выводы.

1. Разработанный крупногабаритный генератор импульсного электромагнитного излучения позволяет производить исследования и испытания крупногабаритных объектов с габаритными размерами до (20 x 10 x 8) м.

2. Генератор обеспечивает широкий диапазон перестройки по амплитудно-временным параметрам генерируемых импульсных электромагнитных полей, полностью перекрывающий требуемый диапазон как по действующим, так и по перспективным нормативным документам.

Список литературы: 1. Рикетс Л.У., Бриджес Дж.Э., Майлетта Дж. Электромагнитный импульс и методы защиты: Пер. с англ. – М.: Атомиздат, 1979. – 327 с. 2. Коробко А.И. Уровни стойкости типовых элементов радиоэлектронной аппаратуры при воздействии на них мощного импульсного электромагнитного излучения // Інформаційні технології: Наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. – Матеріали XVII міжнародної наукової конференції. – Ч. II (MicroCAD-2009, 20-22 травня 2009 р., м. Харків), НТУ «ХПІ». – С. 365. 3. Коробко А.И. Методика обработки результатов экспериментальных исследований по определению стойкости радиоэлектронных компонентов к поражающему воздействию электромагнитного излучения, свойственного проявлениям электромагнитного терроризма типа / Коробко А.И., Коробко З.И. // Вісник НТУ «ХПІ». Тем. випуск «Техніка і електрофізика високих напруг». – Х.: НТУ «ХПІ», 2009. – № 39. – С. 100-105. 4. Коробко А.И. Выбор амплитудно-временных параметров факторов воздействия на элементы РЭА мощных импульсных электромагнитных полей при разработке моделей их поведения // Інформаційні технології: Наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. – Матеріали XVIII міжнародної науково-практичної конференції. – Ч. IV (MicroCAD-2010, 12-14 травня 2010 р., м. Харків), НТУ «ХПІ». – С. 86. 5. Коробко А.И. Состав и характеристики испытательного оборудования для моделирования электростатических воздействий на объекты ракетно-космической техники (фактор 1) / Коробко А.И., Коробко З.И. // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Тем. випуск «Техніка і електрофізика високих напруг». – Х.: НТУ «ХПІ», 2010. – № 34. – С. 81-85. 6. Коробко А.И. Состав и характеристики испытательного оборудования для моделирования электростатических воздействий на объекты ракетно-космической техники (фактор 2) / Коробко А.И., Коробко З.И. // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Тем. випуск «Техніка і електрофізика високих напруг». – Х.: НТУ «ХПІ», 2010. – № 34. – С. 85-89. 7. Korobko A.I. Final Report under the Agreement between JAYCOR and NIPKI «MOLNIYA» of October 10, 1995 «JAYCOR AUTO ARRESTOR PROGRAM». (Коробко А.И. Итоговый отчет по договору между фирмой «ДЖЕЙКОР» и НИПКИ «МОЛНИЯ»: «ПРОГРАММА АВТОАРЕСТОР фирмы ДЖЕЙКОР» от 10 октября 1995р.) // Х.: НИПКИ «Молния», 1996. – 57 с. 8. Коробко А.И. Методы формирования мощных сверхширокополосных импульсных сигналов наносекундного и субнаносекундного диапазонов / Коробко А.И., Коробко З.И. // Інформаційні технології: Наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Матеріали XIX міжнародної науково-практичної конференції. – Ч. IV (MicroCAD-2011, 01-03 червня 2011 р., м. Харків), НТУ «ХПІ». – С. 114. 9. Коробко А.И. Основные метрологические характеристики системы измерения амплитудно-временных параметров импульсного электромагнитного поля для определения стойкости радиоэлементов излучения // Інформаційні технології: Наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Матеріали XVII міжнародної наукової конференції. – Ч. II (MicroCAD-2009, 20-22 травня 2009р., м. Харків), НТУ «ХПІ». – С. 364.

Поступила в редколлегию 31.10.2012

УДК 621.3

Крупногабаритный генератор мощного импульсного электромагнитного излучения субнаносекундного диапазона ИЭМИ-1,2М / А. И. Коробко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 122-126. – Бібліогр.: 9 назв.

Наводиться опис генератора потужного електромагнітного випромінювання субнаносекундного діапазону. Генератор призначено для проведення досліджень по визначенню стійкості різноманітних об'єктів до вражаючої дії імпульсного електромагнітного випромінювання натурального та штучного походження.

Ключові слова: генератор потужного електромагнітного випромінювання, імпульсне електромагнітне поле.

The description of the generator of a powerful generator subnanosecond range. The generator is designed to conduct research to determine the stability of various objects to the damaging effects of pulsed electromagnetic radiation of natural and artificial origin.

Keywords: generators of powerful electromagnetic radiation pulsed electromagnetic field.

УДК 004.827

В. О. КРАВЕЦЬ, канд. техн. наук, професор, НТУ «ХП»;

В. В. ШЕВЦОВА, ст. викл., НТУ «ХП»;

А. В. САВЧЕНКО, магістрант, НТУ «ХП»

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ ФУНКЦІЙ ПРИНАЛЕЖНОСТІ ПРИ ОБРОБЦІ ЕКСПЕРТНИХ ЗНАНЬ

У статті проаналізовані методи обробки експертних оцінок при побудові функцій приналежності нечітких множин. Розроблено програмний комплекс, в якому реалізовані такі методи обробки експертних знань, як: метод опитування, числовий метод, метод лінгвістичних термів, метод парних порівнянь. Програмний комплекс може бути використаний інженерами зі знань при роботі з експертами, тому що розвантажує їх від рутинних розрахунків.

Ключові слова: обробка експертних даних, функція приналежності нечіткої множини, оцінка узгодженості експертних знань, метод парних порівнянь.

Вступ. Найбільш вражаючим властивістю людського інтелекту є здатність приймати правильні рішення в обстановці неповної і нечіткої інформації. Традиційні комп'ютерні обчислення «дуже точні» для реального світу. Людство зіткнулося з проблемами, для вирішення яких неможливо отримати повну інформацію або визначення яких недостатньо повно. Здавалося б ситуація безвихідна, але завдяки розвитку і вдосконаленню так званих нечітких систем в даний час вже досить буденно сприймаються «сверхінтелектуальні» пральні машини та побутові автомати, гіперзвукові літаки і самонавідні ракети і багато іншого.

Математичну основу нечітких систем складають протилежні традиційним комп'ютерним обчисленням, так звані м'які обчислення, однією зі складових яких є нечітка логіка.

© В. О. Кравець, В. В. Шевцова, А. В. Савченко, 2012

Для теорії нечітких множин основоположним поняттям є поняття нечіткої множини, яке характеризується функцією приналежності. За допомогою нечіткої множини можна строго описувати притаманній мові людини розпливчасті елементи, формалізація яких дозволяє моделювати інтелектуальні процеси. Основною трудностю, що заважає інтенсивному застосуванню теорії нечітких множин при вирішенні практичних завдань, є те, що функція належності має бути задана поза самої теорії і, отже, її адекватність не може бути перевірена засобами теорії. У кожному існуючому в даний час методі побудови функції приналежності формуються свої вимоги й обґрунтування до вибору саме такої побудови.

Мета роботи. Проаналізувати існуючі методи роботи з експертами та методи побудови функцій приналежності. Розробити програмне забезпечення розглянутих методів для обробки експертних оцінок інженерами зі знань.

Основна частина. На рис. 1 представлені методи побудови за експертними оцінками функції приналежності. Вони діляться на дві групи: *прямі* і *непрямі* [1]. Деякі виділяють ще й третю групу методів – *оцінка параметрів типових форм*.

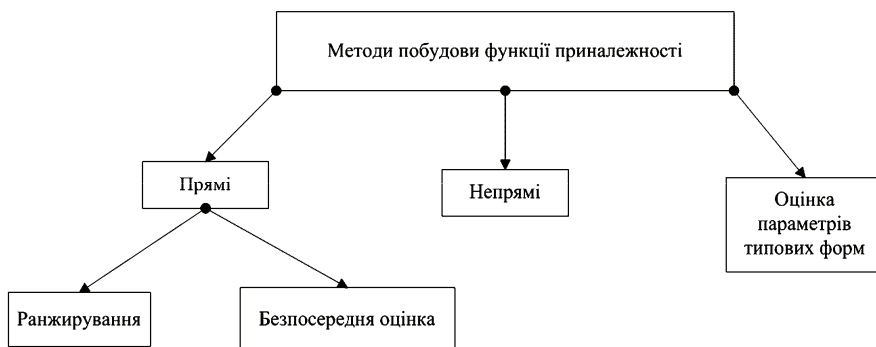


Рисунок 1 – Методи побудови функцій приналежності

Прямі методи визначаються тим, що експерт або група експертів безпосередньо задає правила визначення значень функції приналежності, що характеризує дане поняття. Як правило, прямі методи використовуються для опису понять, які характеризуються вимірними властивостями, такими як висота, зріст, вага, об'єм. У цьому випадку зручно безпосереднє завдання значень ступеня приналежності.

При обробці результатів експертних оцінок, важливо враховувати за якою шкалою вимірюється величина, і використовувати тільки допустимі перетворення шкали. Зокрема для усереднення експертних оцінок важливий вибір виду середніх величин: середнє арифметичне, медіана, мода, середнє

геометричне, середнє гармонійне. У шкалі найменувань у якості середнього годиться тільки мода; із всіх середніх по Коші в порядковій шкалі в якості середніх можна використати тільки члени варіаційного ряду (порядкові статистики), зокрема, медіану (при непарному обсязі вибірки; при парному ж обсязі варто застосовувати один із двох центральних членів варіаційного ряду – ліву медіану або праву медіану), але не середнє арифметичне, середнє геометричне й т.д.; у шкала інтервалів із всіх середніх по Колмогорову можна застосовувати тільки середнє арифметичне; у шкалі відносин із всіх середніх по Колмогорову стійкими щодо порівняння є тільки степеневі середні й середнє геометричне [2].

Прямі методи в свою чергу розділяються на *ранжирування* та *безпосередню оцінку*. При *ранжуванні* експерт розташовує об'єкти в порядку переваги, керуючись одним або декількома показниками порівняння. *Безпосередня оцінка* являє собою процедуру приписування об'єктам числових значень за шкалою інтервалів. Еквівалентним об'єктам приписується одне і те ж число. Цей метод може бути здійснений тільки при повній інформованості експертів про властивості об'єктів. Замість числової осі може використовуватися бальна оцінка [3].

Непрямі методи визначення значень функції приналежності використовуються у випадках, коли немає елементарних вимірних властивостей, через які визначається нечітка множина. Як правило, це методи попарних порівнянь.

Типові форми бувають трикутна; трапецеїдальна; гауссова; подвійна гауссова; узагальнена колоколообразна; сигмоїдальна; подвійна сигмоїдальна; добуток двох сигмоїдальних функцій; Z-функція; S-функція; Pi-функція [3]. Коли експерти вибрали вид функції, треба отримати оцінку параметрів обраної залежності.

При оцінці об'єктів експерти зазвичай розходяться в думках з вирішуваним питанням. У зв'язку з цим виникає необхідність кількісної оцінки ступеня згоди експертів.

Нехай m експертів зробили оцінку n об'єктів. Результати оцінки представлені у вигляді величин x_{ij} , де j – номер експерта, i – номер об'єкта. Ці величини можуть бути задані з використанням балів або чисел, що належать деякому відрізку числової осі. Коефіцієнт компетентності експертів $\bar{k}$ й узагальнені оцінки об'єктів $\bar{x}$ для тих випадків, коли проводиться безпосереднє числове оцінювання альтернатив, можна обчислити за апостеріорним даними, тобто за результатами оцінки об'єктів. При цьому компетентність експертів оцінюється по ступені узгодженості їхніх оцінок із груповою оцінкою об'єктів. Граничні значення векторів $\bar{x}$, $\bar{k}$ можна обчислювати як власні вектора матриць B й C при розв'язанні наступних рівнянь:

$$B \bar{x} = \lambda_B \bar{x}, \quad \sum_{i=1}^n x_i = 1, \quad (1)$$

$$C\vec{k} = \lambda_C\vec{k}, \quad \sum_{j=1}^m k_j = 1, \quad (2)$$

де $B = XX^T$; $C = X^TX$; $X = \|x_{ij}\|$; λ_B, λ_C – максимальні власні числа матриць B, C .

Нехай думки комісії експертів або якоїсь її частини визнані узгодженими, знайти середню думку можна як рішення оптимізаційної задачі. Оцінка кожного експерта представляється як точка в деякому просторі, в якому введено поняття відстані:

$$d(x_A, x_B) = \sum_{i=1}^n |x_{iA} - x_{iB}|, \quad (3)$$

де x_A, x_B – думка двох експертів A і B відповідно.

Для знаходження усередненої думки експертів с треба мінімізувати сумарну відстань від кандидата в середні до думок експертів:

$$\sum_{j=1}^m k_j \cdot d(x_j, c) \rightarrow \min. \quad (4)$$

Оцінка узгодженості думок експертів також може ґрунтуватися на використанні поняття компактності. Якщо оцінки експертів знаходяться на невеликій відстані один від одного, то можна це інтерпретувати як добру узгодженість суджень експертів. Якщо ж точки розкидані в просторі на великій відстані, то узгодженість – невисока [4].

Опитування експертів представляє собою заслуховування та фіксацію у змістовній і кількісній формі суджень експертів з розв'язуваної проблеми. Основними видами опитування експертів є: анкетування і інтерв'ювання, дискусії, метод «мозкового штурму» («мозкової атаки»), метод Дельфі.

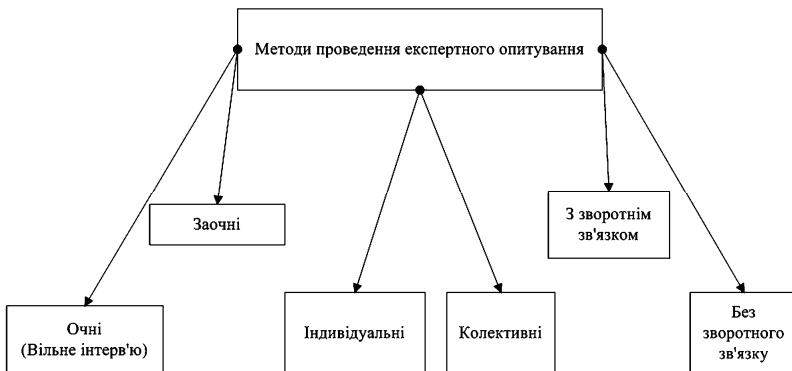


Рисунок 2 – Методи проведення експертного опитування

На рис. 2 представлені методи проведення експертного опитування [4]. Головним в організації опитування експертів є створення таких умов, при

яких експерти були б забезпечені в максимальному ступені всією необхідною інформацією і могли б повною мірою виявити свою творчу активність і самостійність.

Розробка програмного пакету. Розроблено програмний комплекс для інженерів зі знань при роботі з експертами, в якому реалізовані такі методи обробки експертних знань, як: метод опитування, числовий метод, метод парних порівнянь.

Опитування представляє собою спілкування інтерв'юера і респондента, в якому головним інструментом виступає заздалегідь сформульоване питання. За допомогою цього метода можна сформувати функцію приналежності, яка буде визначена як нормальна або субнормальна; опукла або неопукла; уні-модальна, полімодальна або толерантна; дискретна і непараметрична. Такий метод характеризується простотою та зручністю формування функції приналежності і часто застосовується при вирішенні різних практичних задач.

Числовий метод ґрунтується на опитуванні групи експертів, які визначають числове значення кожному з розглянутого класу значень. Далі обчислюється середнє значення за даними всіх експертів.

Серед непрямих методів визначення функції належності був реалізований метод парних порівнянь [5]. Метод базується на ідеї розподілу ступенів належності елементів універсальної множини згідно з їх рангами гі. Ця ідея раніше використовувалася в теорії структурного аналізу систем, де розглянуті різні способи визначення рангів елементів. У нашому випадку під рангом елемента будемо розуміти число, яке характеризує значимість цього елемента в формуванні властивості, описуваного нечітким термом. Припускаємо, що виконується правило: чим більший ранг елемента, тим більше ступінь приналежності.

Складність використання цього методу полягає в необхідності знаходження власного вектора матриці парних порівнянь, яка задається за допомогою спеціально запропонованої шкали. Оскільки матриця може бути інтерпретована як матриця парних порівнянь рангів, то для експертних оцінок елементів цієї матриці можна використовувати 9 бальну шкалу. У нашому випадку шкала формується як представлено у табл. 1.

Таблиця 1 – Шкала оцінок

Числова оцінка	Якісна оцінка (порівняння r_i і r_j)
1	відсутність переваги r_i над r_j
3	слабка перевага r_i над r_j
5	істотна перевага r_i над r_j
7	явна перевага r_i над r_j
9	абсолютна перевага r_i над r_j
2, 4, 6, 8	проміжні порівняльні оцінки

Зазначимо, що здатність людини виробляти якісні розмежування добре представлена п'ятьма визначеннями: рівний, слабкий, сильний, дуже сильний і абсолютний. Можна прийняти компромісні визначення між сусідніми визначеннями, коли потрібна велика точність. В цілому потрібно дев'ять значень, і вони можуть бути добре узгоджені.

Таким чином, отримуємо обернено-симетричну матрицю, на основі якої розраховуємо вектор пріоритетів. Для обчислення узагальнених експертних оцінок та оцінки узгодженості треба знайти власний вектор матриці та головне власне значення $\lambda_{\max}$, яке може бути використовуване для оцінки узгодженості, що відбиває пропорційність уподобань. Чим ближче $\lambda_{\max}$ до n (число об'єктів в матриці), тим більше узгоджений результат. Відхилення від узгодженості може бути виражене через індексом узгодженості:

$$IC = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1). \quad (5)$$

Величина індексу узгодженості залежить від розмірності матриці оцінок. Щоб позбавитись цієї залежності, обчислюється відношення узгодженості:

$$RC = IC / RI, \quad (6)$$

де RI – випадковий індекс.

Для обчислення випадковий індекс згенерованої випадковим чином за шкалою від 1 до 9 обернено-симетричної матриці з відповідними зворотними величинами елементів. Згенерували середні RI для матриць порядку від 1 до 15 на базі 100 випадкових вибірок. Як і очікувалося, RI збільшувалися із збільшенням порядку матриці. У табл. 2 представлені порядок матриці (перший рядок) і середні RI (другий рядок).

Таблиця 2 – Середні RI

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Экспертные оценки
Выбор метода: Ввод

Метод парных сравнений

Введите размер матрицы: 5

Обратно-симметричная матрица оценок

	мясо	яблоки	соя	хлеб	рыба
мясо	1	9	6	4	1
яблоки	1/9	1	1/3	1/3	1/9
соя	1/6	3	1	1/2	1/6
хлеб	1/4	3	2	1	1/3
рыба	1	9	6	3	1

Таблица значений

элен.1	элен.2	элен.3	элен.4	элен.5
0,39789	0,036335	0,071917	0,11821	0,37564

Индекс согласованности (ИС): 0,017041

Отношение согласованности (ОС): 0,015216
(принято, если меньше 0,10)

Рассчитать Очистить

Рисунок 3 – Метод парних порівнянь

Яке значення відношення узгодженості вважати прийнятним, залежить від задачі. У [5] запропоновано значення RC менше або рівне 0,10, вважати достатнім. На рис. 3 представлений скріншот для метода парних порівнянь.

Висновки. Таким чином, розроблений програмний комплекс для інженерів зі знань при роботі з експертами, яка допомагає експертам прийняти рішення такими методами, як: метод опитування, числовий метод, метод попарних порівнянь.

Список літератури: 1. *Моргоев В. К.* Метод структурирования и извлечения экспертных знаний: имитация консультаций. Человеко-машинные процедуры принятия решений / В. К. Моргоев. – М. : ВНИИСИ, 1988. – 44-57 с. 2. *Орлов А. И.* Нечисловая статистика / А. И. Орлов. – М. : МЗ-Пресс, 2004. – 513 с. 3. *Яхьяева Г. Э.* Нечеткие множества и нейронные сети / Г. Э. Яхьяева. – М. : БИНОМ, Лаборатория знаний, 2006. – 316 с. 4. *Павлов А. Н.* Методы обработки экспертной информации / А. Н. Павлов, Б. В. Соколов; СПб. : ГУАП, 2005. – 42 с. 5. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М. : Радио и связь, 1993. – 278 с.

Надійшла до редколегії 26.10.2012

УДК 004.827

Аналіз методів побудови функцій приналежності при обробці експертних знань/ В. О. Кравець, В. В. Шевцова, А. В. Савченко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Техніка та електроніка високих напруг. – Х.: НТУ «ХП», 2012. – № 52 (958). – С. 126-132. – Бібліогр.: 5 назв.

У статті проаналізовані методи обробки експертних оцінок при побудові функцій приналежності нечітких множин. Розроблено програмний комплекс, в якому реалізовані такі методи обробки експертних знань, як: метод опитування, числовий метод, метод лінгвістичних термів, метод парних порівнянь. Програмний комплекс може бути використаний інженерами зі знань при роботі з експертами, тому що розвантажує їх від рутинних розрахунків.

Ключові слова: обробка експертних даних, функція приналежності нечіткої множини, оцінка узгодженості експертних знань, метод парних порівнянь.

We have analysed a number of methods for processing expert appraisals when building fuzzy set membership functions. Developed a software package that implements these methods of processing expertise, as the polling method, numerical method, the method of linguistic terms, the method of paired comparisons. Software package can be used by engineers of knowledge when working with experts because unloads them from routine calculations.

Keywords: expert data, membership function, fuzzy set, consistency of expert knowledge, method of paired comparisons.

І. І. ОБОД, д-р техн. наук, професор, НТУ «ХПИ»;

І. В. СВИД, ст. викл., Харківський національний університет радіоелектроніки;

В. В. ШЕВЦОВА, ст. викл., НТУ «ХПИ»

ОЦІНКА ЯКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ЗАПИТАЛЬНИМИ КАНАЛАМИ ПЕРЕДАЧІ ПРИ ВИКОРИСТАННІ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ МОДУЛЯЦІЇ

У статті досліджується якість передачі інформації запитальними каналами передачі при використанні сигналів з фазовою та квадратурно-амплітудною модуляцією. Показано, що перехід від позиційного кодування передаваної інформації до сучасних методів модуляції сигналів, що передаються, дозволяє суттєво зменшити часову базу сигналів, що призводить до збільшення завадозахисту запитальних каналів передачі інформації.

Ключові слова: запитальні канали передачі, позиційне кодування, завадозахист.

Постановка проблеми й аналіз літератури. Відомо [1], що запитальні канали передачі інформації (КПІ) запитальних систем спостереження (СС) використовується для передачі польотної інформації (ПІ) з борту повітряного об'єкта (ПО) на наземні пункти обробки інформації. При цьому відомо, що в цей час використовуються два стандарти передачі ПІ: режим RBS і режим УПР. Вони відрізняються друг від друга, як принципом кодування, так і часовою базою для передачі повідомлень. Режим УПР, на відміну від режиму RBS, більш інформативний, але й має значну часову базу, що затрудняє отримання ПІ з даного каналу при наявності ПО на однакових азимутах, щодо запитувача. Однак побудова запитальних СС та запитальних КПІ на принципах відкритих систем масового обслуговування з відмовами не дозволяє реалізацію завадостійких каналів передачі [2-4]. Перехід запитальних СС до режиму S не створив умов для переходу до завадостійких КПІ, тому що не змінив принципи побудови останніх. Використання ж позиційного кодування передаваної інформації не дозволяє ні збільшити кількість розрядів передаваної інформації, оскільки зменшиться завадостійкість, ні енергетично приховати ці сигнали, що вказує на низку скритності запитальних КПІ. Таким чином, існуючі запитальні КПІ не є завадозахищеними, і як наслідок, не можуть реалізувати потенційну пропускну спроможність.

Мета роботи. Підвищення якості передачі інформації запитальними каналами передачі.

Основна частина. Для кодування інформації у запитальних КПІ використовується позиційний код, виявлення якого здійснюється по часовому

збігу окремих позицій. Ця обставина призводить до неможливості збільшення кількості передаваних розрядів інформації без зменшення завадостійкості і потребує збільшення енергетичних характеристик цих сигналів, що зменшує їх прихованість.

Розглянемо можливість використання сучасних методів модуляції у запитальних каналах передачі як польотної інформації, так і інформації яку регламентує залежне автоматичне спостереження [1]. Тобто будемо вважати, що об'єм передаваної інформації дорівнює об'єму, що відповідає автоматичному залежному спостереженню, у склад якого входить координатна інформація повітряного об'єкту. Це дозволяє реалізувати завадостійкі запитальні канали передачі інформації, запропоновані у [5,6].

Будемо вважати, що у запитальному КПІ реалізується цифрова передача інформації та сучасні методи модуляції сигналів. Для передачі інформації у цифровому вигляді використовуються системи сигналів $\vec{X} = \|X_{si}(t)\|$, де $i = \overline{1, N}$, N – кількість сигналів.

Найбільш перспективними сигналами для використання у запитальних каналах передачі можуть бути:

- сигнали з фазовою модуляцією (ФМ);
- сигнали з квадратурно-амплітудною модуляцією (КАМ).

Наведемо порівняльну характеристику цих систем сигналів при використанні їх у запитальних каналах передачі інформації. Показником якості запитального каналу передачі оберемо імовірність помилки на біт інформації, яка визначається, наприклад, для гавсівського каналу та двійкової модуляції як

$$P_e = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi \left(\sqrt{\frac{D_{1,2}}{2N_0}} \right) \right],$$

де $N_0 = kT_{ch}\Delta F$ – спектральна щільність білого шуму; k – постійна Больцмана; T_{ch} – шумова температура, ΔF – смуга частот прийому;

$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-t^2/2} dt$ – функція Лапласа, $D_{1,2}$ – енергетична відстань між сигналами.

Відстань між сусідніми сигналами з $M = 2^k$ фазами в загальному випадку визначається наступним чином:

$$D_{i,i+1} = 2\sqrt{E} \sin(\pi/M). \quad (1)$$

Відстань між сусідніми сигналами для СС з КАМ модуляцією визначається як

$$D_{i,i+1} = \sqrt{2E} (\sqrt{M} - 1)^{-1}. \quad (2)$$

Будемо вважати, що відстань між ПО та запитувачем складає r . Тоді

щільність потоку енергії, котра утворюється випроміненим сигналом у місці розміщення приймальної антени, яка знаходиться на відстані r від антени, що випромінює, складе $S_{pr} = PG/4\pi r^2$, де P – потужність передавача, G – коефіцієнт підсилення антени передавача. Потужність сигналу на вході приймача, у цьому разі, можливо записати як

$$P_p = S_p A = \frac{PGA}{4\pi r^2}, \quad (3)$$

де A – ефективна площа антени приймача.

Для виявлення сигналів необхідно, щоб відношення сигнал/шум було більше порогового. Відношення сигнал/шум можна оцінити на основі наступного виразу $q = \sqrt{P_p/N_0}$. Враховуючи (1) та швидкість кодування $V_k = k/n$ отримуємо імовірність P_e при передачі рівномірних сигналів фазової модуляції:

$$P_e = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi \left(\sqrt{\frac{2PGAn}{4\pi r^2 N_0 k}} \sin \frac{\pi}{M} \right) \right]. \quad (4)$$

Використав (2), можливо отримати вираз імовірності помилки на біт інформації при використанні у запитальному каналі КАМ сигналів. Розрахунки імовірності помилки на біт інформації при використанні фазової модуляції сигналів у каналі передачі польотної інформації запитальних систем спостереження наведено на рис. 1-2.

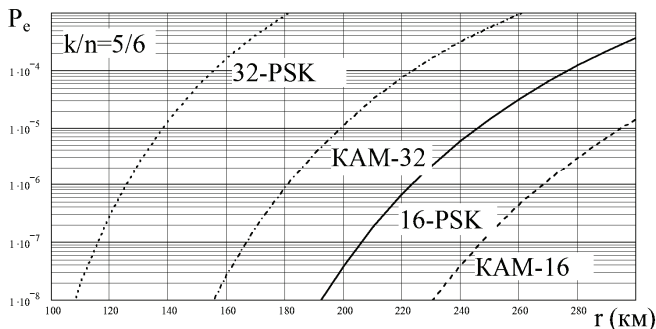


Рисунок 1 – Імовірність помилки від відстані

Наведені розрахунки показують задовільні імовірності помилки на біт інформації при використанні у запитальному каналі передачі інформації сигналів 16- та 32-PSK. При використанні КАМ сигналів ці імовірності ще значно покращуються.

Таким чином можливо стверджувати, що при використанні існуючих відповідачів ПО вдається забезпечити достатньо добрі показники імовірності помилки на біт інформації при передачі польотної інформації у всій зоні об-

слуговування. При цій імовірності помилки на біт інформації можливо забезпечити передачу не тільки ПІ, а й координатної та службової інформації згідно з рекомендаціями ICAO.

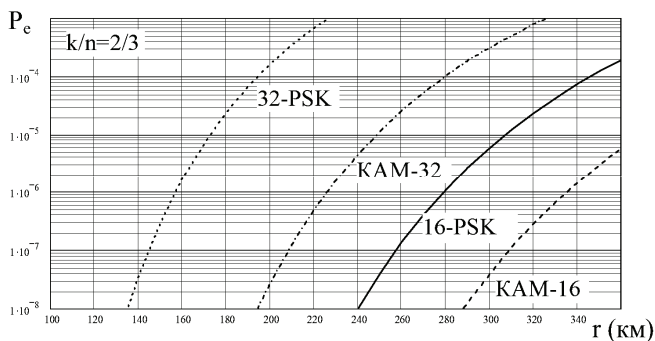


Рисунок 2 – Імовірність помилки від відстані

Проведемо порівняльний аналіз часової бази сигналів відповіді при використанні позиційного коду та сучасних видів модуляції, котрі розглянуті у роботі, при передачі 12-розрядного коду (існуюча ситуація) та при збільшенні числа розрядів до 50 та 100. Відомо, що для передачі 12-розрядного коду відповіді у існуючому стандарті використовується часова база 20,3 мкс, тобто кожний розряд інформації займає 1,45 мкс. Це дозволяє записати вираз для розрахунку часової бази коду відповіді при використанні позиційного коду як

$$T_{pk} = 20,3 + 1,45 \cdot (N - 12).$$

При використанні ФМ та КАМ сигналів їх тривалість дорівнює $\tau_i = 1/P$, де P – ширина смуги пропуску приймача існуючих запитальних каналів передачі інформації (як правило $P = 5\text{МГц}$). З урахуванням швидкості кодування часову базу коду відповіді можливо записати як

$$T_{pk} = \left\lceil \frac{\tau_i \cdot N \cdot k}{K \cdot n} \right\rceil,$$

де K – значність модуляції.

Розрахунки часової бази за наведеними виразами дано в таблиці.

Розрахунки часової бази

Кількість розрядів коду	Часова база для ПК, мкс	Часова база для $K = 16$, мкс		Часова база для $K = 32$, мкс	
		$V_k = 2/3$	$V_k = 5/6$	$V_k = 2/3$	$V_k = 5/6$
12	20,3	0,4	0,4	0,2	0,2
50	75,4	1,0	0,8	0,6	0,4
100	147,9	2,0	1,6	1,0	0,8

Наведені розрахунки показують суттєве зменшення часової бази сигналу відповіді при використанні сучасних методів модуляції у порівнянні з існуючим позиційним кодом.

Висновки. Показано, що перехід від використання позиційного коду до сучасних методів модуляції дозволяє зменшити часову базу сигналів при передачі інформації від ПО до наземних пунктів управління, що забезпечує підвищення завадостійкості і скритності запитальних каналів передачі даних.

Список літератури: 1. Агаджанов П. А. Автоматизация самолетовождения и управления воздушным движением / П. А. Агаджанов, В. Г. Воробьев, А. А. Кузнецов. – М.: Транспорт, 1980. – 342 с. 2. Комплексне інформаційне забезпечення систем управління польотами авіації та протиповітряної оборони / В. В. Ткачев, Ю. Г. Даник, С. А. Жуков та ін. – К.: МОУ, 2004. – 342 с. 3. Теоретичні основи побудови завадозахищених систем інформаційного моніторингу повітряного простору / В. В. Ткачев, Ю. Г. Даник, С. А. Жуков, І. І. Обод, І. О. Романенко. – К.: МОУ, 2004. – 271 с. 4. Обод І. І. Помехоустойчивые системы вторичной радиолокации / И. И. Обод. – М.: ЦИИТ, 1998. – 118 с. 5. Пат. на корисну модель № 58523, Україна. Запитальний спосіб передачі інформації / Обод І. І., Свид І. В.

Надійшла до редколегії 19.10.2012

УДК 621.396.96

Оцінка якості передачі інформації запитальними каналами передачі при використанні сучасних методів модуляції / І. І. Обод, І. В. Свид, В. В. Шевцова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 133-137. – Бібліогр.: 5 назв.

У статті досліджується якість передачі інформації запитальними каналами передачі при використанні сигналів з фазовою та квадратурно-амплітудною модуляцією. Показано, що перехід від позиційного кодування передаваної інформації до сучасних методів модуляції сигналів, що передаються, дозволяє суттєво зменшити часову базу сигналів, що призводить до збільшення завадозахисту запитальних каналів передачі інформації.

Ключові слова: запитальні канали передачі, позиційне кодування, завадозахист.

The article examines the quality of transmission requesting transmission channels using signals with phase and quadrature-amplitude modulation. It is shown, that the transition from positional encoding information transmitted to the modern modulation signals transmitted allows significantly reduce the time base signals, leading to increased noise immunity requesting information channels.

Keywords: requesting transmission channels, position encoding, noise immunity.

П. Е. ПУСТОВОЙТОВ, канд. техн. наук, доцент, НТУ «ХПИ»;
Р. А. КРУГЛОВ, студент, НТУ «ХПИ»;
С. В. СУДАКОВ, студент, НТУ «ХПИ»

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ ПАКЕТОВ

В работе проанализирован состав суперпозиции потоков пакетов данных в компьютерной сети, показано, что управление приоритетами составляющих композиционного потока влияет на стохастические показатели системы обслуживания. В тестовой сети внедрен программный комплекс, который управляет потоками. Построены графики для общих показателей надежности компьютерной сети.

Ключевые слова: компьютерные сети, оптимальное управление потоками, прокси-сервер, снижение нагрузки, отклик, трафик, потери пакетов.

Вступление, анализ литературы

В реальных компьютерных сетях (КС) поток заявок, поступающих на вход узла сети, является суперпозицией нескольких потоков, отличающихся друг от друга численными значениями своих характеристик (интенсивностью, объемом пакета, законом распределения интервала между заявками и т.д.). Так, например, гистограмма, описывающая случайную величину длины пакета, полученная по данным потока заявок на одном из узлов компьютерной сети НТУ «ХПИ» в случайно выбранный рабочий день 12.09.2011 имеет вид, приведенный на рис. 1. Для каждого пакета этого потока известны моменты поступления и окончания обслуживания.

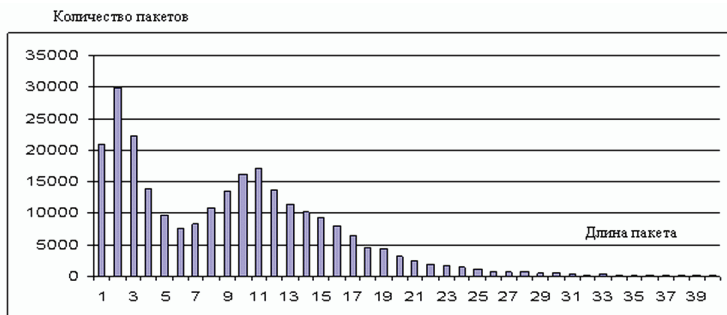


Рисунок 1 – Гистограмма случайной длины пакета

© П. Е. Пустовойтов, Р. А. Круглов, С. В. Судаков, 2012

Из рисунка можно предположить, что поток заявок представляет собой суперпозицию двух потоков с разными плотностями распределения длины пакета [1-2]. Отметим, что в известной литературе, например в [3-5] и других по анализу и оценке эффективности сетей, на вход которых поступает многокомпонентный поток, учитываются только различия в длине интервалов между пакетами.

В следующих статьях [6-9] были разработаны математические модели одно- и многоканальных компьютерных сетей с неоднородным входящим потоком и различными видами приоритетов составляющих компонентов суперпозиции потоков. Были вычислены стохастические параметры системы для каждого случая. Основываясь на результатах, полученных моделей, были решены задачи оптимального управления потоками [10-14] в узлах компьютерных сетей.

В связи с этим, **целью работы** является практическая проверка методов управления потоками в тестовой КС.

Постановка задачи

Для тестирования была выбрана КС, схема которой приведена на рис.2. В тестировании было задействовано 5 компьютеров внутренней сети. В роли прокси-сервера выступал компьютер с операционной системой Linux Fedora Core 6, на котором было установлено программное обеспечение, управляющее потоками пакетов.

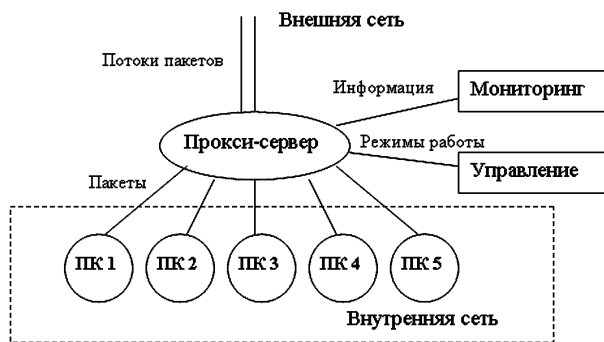


Рисунок 2 – Схема работы системы

Во время тестирования необходимо выполнить мониторинг следующих параметров качества компьютерной сети (рис. 3):

- способность системы справляться с нагрузкой;
- скорость отклика;
- потери пакетов.

Для различных уровней нагрузки необходимо сравнить указанные показатели для следующих режимов функционирования системы:

- потоки без приоритетов;

- относительный приоритет 2-го потока;
- абсолютный приоритет 2-го потока;
- относительный приоритет 1-го потока;
- абсолютный приоритет 1-го потока.

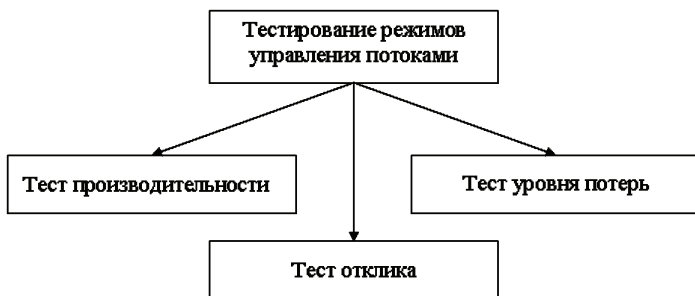


Рисунок 3 – Схема планирования тестирования программы

Основные результаты

Тестирование надежности системы по показателю *производительность* заключалось в оценке параметров системы при оказывании контролируемой дискретно повышающейся нагрузки на прокси-сервер узлами сети. Нагрузка, оказываемая каждым узлом сети, была практически одинаковая, а различия были такие незначительные, что ими можно пренебречь.

Данные о трафике на каждом узле сети для каждого уровня нагрузки снимались программой darkstat (рис. 4).

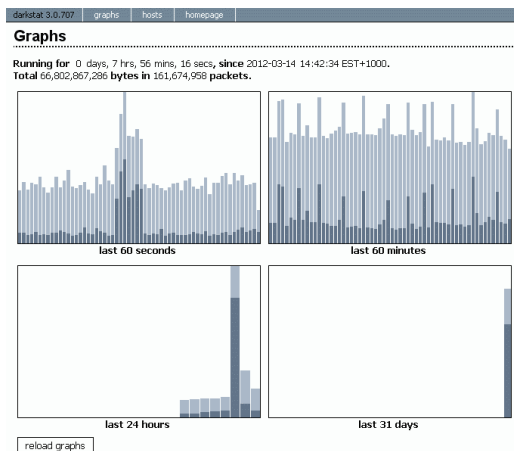


Рисунок 4 – Сбор информации программой darkstat о трафике за 8 часов работы системы

Суть тестирования состояло в том, что все компьютеры внутренней сети загружали с определенной равной установленной скоростью некоторые данные из внешней сети. Фиксированную скорость загрузки данных, выставленную для каждого теста, будем называть затребованной нагрузкой узла сети, а отношение реальной полученной скорости поступления данных к затребованной нагрузке – процентом выполняемой нагрузки. На графике (рис. 5) показана зависимость процента выполняемой нагрузки от затребованной нагрузки узлом сети (в мегабитах).

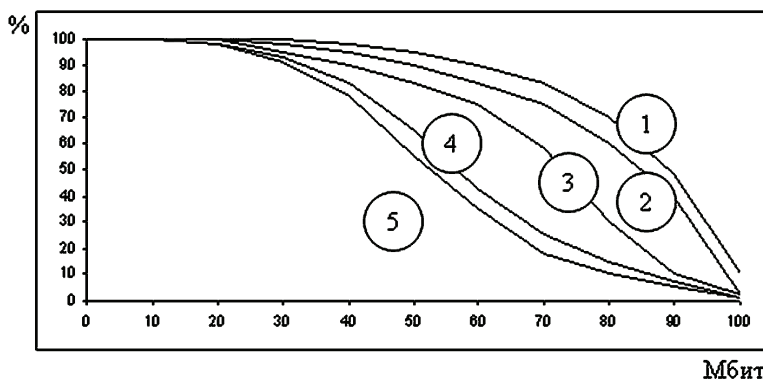


Рисунок 5 – Зависимость процента производительности узла сети от затребованной им нагрузки: 1 – абсолютный приоритет первого потока; 2 – относительный приоритет первого потока; 3 – без приоритета; 4 – относительный приоритет второго потока; 5 – абсолютный приоритет второго потока

Из графика видно, что абсолютный и относительный приоритеты первого потока дают большую выгоду в производительности по сравнению с режимом без приоритета, а также дольше сохраняют максимальную производительность.

Тестирование *скорости отклика* заключалось в снятии показаний отклика при контролируемом дискретном повышении нагрузки на прокси-сервер узлами внутренней сети. Отклик от одного и того же компьютера во внешней сети проверялся путем измерения времени между отсылкой тестового пакета и последующим его приемом. Снятие показаний может быть выполнено командами ping, tracert или утилитой WinMTR.

На графиках на рис. 6 приведены данные по отклику при контролируемом повышении нагрузки на прокси-сервере узлами сети.

Из графика видно, что использование режима относительного приоритета первого потока сокращает отклик.

Анализ *потерь пакетов* заключался в учете количества утерянных пакетов при высоких нагрузках, оказываемых на прокси-сервер. Потери обусловлены отказом в приеме пакетов из-за переполнения буфера очереди системы.

Оценка потерь выполнена программой WinMTR.

Из графика (рис. 7) видно, что относительный приоритет первого потока позволяет снизить количество утраченных пакетов. Полученные данные тестирования сведены в таблицу.

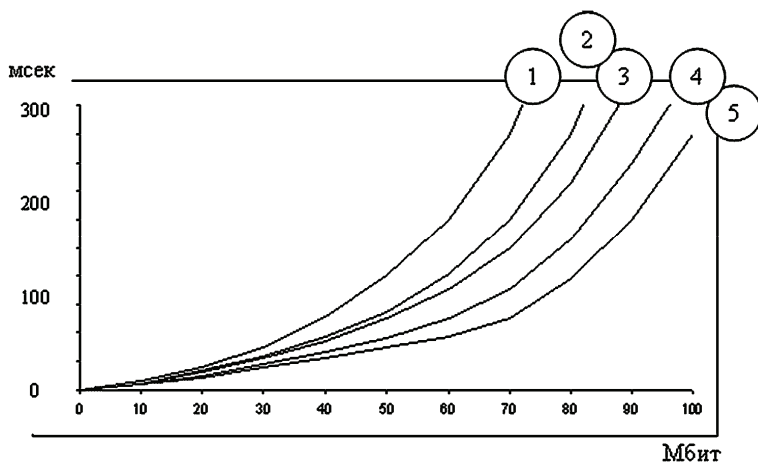


Рисунок 6 – Зависимость величины отклика в узле сети от затребованной им нагрузки: 1 – относительный приоритет первого потока; 2 – без приоритета; 3 – относительный приоритет второго потока; 4 – абсолютный приоритет второго потока; 5 – абсолютный приоритет первого потока

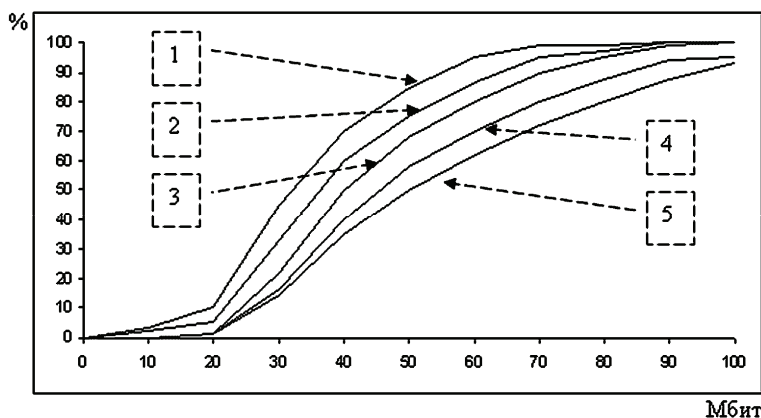


Рисунок 7 – Зависимость процента потерь от величины требуемой нагрузки каждым узлом сети: 1 – абсолютный приоритет первого потока; 2 – абсолютный приоритет второго потока; 3 – относительный приоритет второго потока; 4 – без приоритета; 5 – относительный приоритет первого потока

Изменение дисциплины обслуживания очередей в узлах КС существен-

но влияет на основные статистические характеристики качества работы системы. С учетом полученных данных наиболее рациональной в рассматриваемом временном интервале является дисциплина с использованием относительного приоритета для очереди коротких сообщений.

Статистические характеристики функционирования узла КС
во временном интервале 11.00 – 12.00

Дисциплины обслуживания	Средняя длина очереди		Дисперсия длины очереди		Вероятность превышения критической длины	
	короткие	длинные	короткие	длинные	короткие	длинные
Приоритет отсутствует	183,1	92,4	$9,31 \times 10^3$	$1,58 \times 10^3$	0,36	0,16
Относительный приоритет 2-го потока	248,1	73,4	$4,82 \times 10^3$	$8,36 \times 10^3$	0,47	0,08
Абсолютный приоритет 2-го потока	302,4	42,4	$6,93 \times 10^3$	$2,48 \times 10^3$	0,89	0,02
Относительный приоритет 1-го потока	121,4	132,7	$2,14 \times 10^3$	$3,12 \times 10^3$	0,24	0,32
Абсолютный приоритет 1-го потока	63,2	163,8	$5,82 \times 10^3$	$4,76 \times 10^3$	0,12	0,68

Однако рассмотрим другой случай, подтвержденный реальными данными, полученными на входе прокси-сервера НТУ «ХПИ». Рассмотрим гистограммы распределения трафика сети в будний день по параметрам количество пакетов (рис. 8) и величина трафика (в мегабайтах) (рис. 9) соответственно.

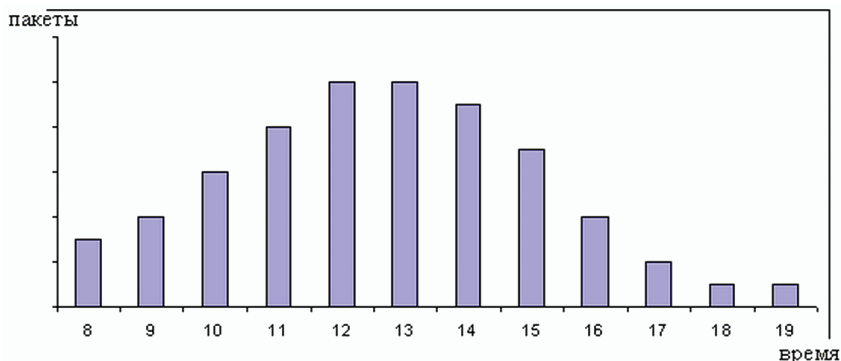


Рисунок 8 – Гистограмма распределения количества пакетов по часам

Из гистограмм видно, что в диапазоне 16.00 – 18.00 количество пакетов снижается, а величина трафика возрастает. Это может быть обусловлено тем, что в этом промежутке времени в трафике преобладают большие пакеты и целесообразно переключить приоритет на второй поток.

Анализ полученных результатов тестирования показал, что использование приоритета первого потока дает существенный выигрыш в надежности в среднем 7 % и в производительности в среднем 5 %.

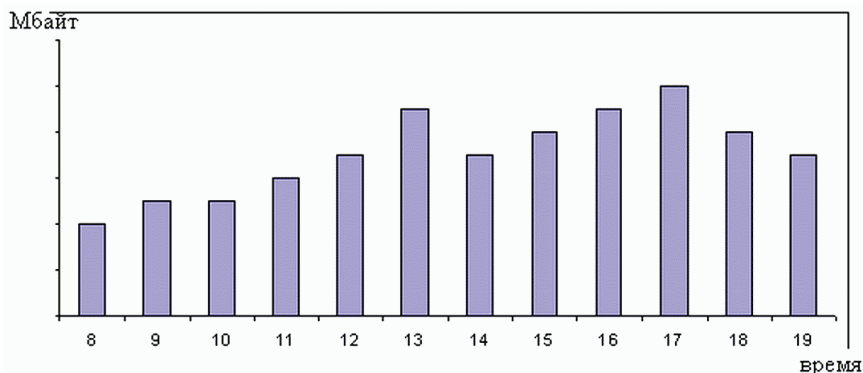


Рисунок 9 – Гистограмма объема трафика по часам

Выводы. Таким образом, разработанное программное обеспечение обладает всеми возможностями маршрутизатора и прокси-сервера по передаче пакетов данных из внешней сети во внутреннюю, осуществляет сбор статистики по входящему трафику и сохраняет ее в базе данных. Внедренные математические разработки позволяют выполнять управление потоками пакетов, которое снижает нагрузку на узел сети. Реализация программного комплекса выполнена кроссплатформенными и свободнораспространяемыми средствами разработки программ.

Список литературы: 1. Пустовойтов П.Е. Исследование информационных потоков данных в телекоммуникационных сетях / П.Е. Пустовойтов // Вестник НТУ «ХПИ». – Х.: НТУ «ХПИ», 2011. – № 49. 2. Пустовойтов П.Е. Методика анализа многокомпонентных входных потоков в компьютерных сетях / П.Е. Пустовойтов, Эль Саед Абделаал Эльсаед Мохамед // Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2006. – № 40. 3. Столлингс В. Современные компьютерные сети : 2-е изд. / В. Столлингс. – СПб: Питер, 2003 – 784 с. 4. Таненбаум Э. Компьютерные сети / Э. Таненбаум. – СПб.: Питер, 2003. – 992 с. 5. Олифер В.Г. Компьютерные сети / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб: Питер, 2006. – 958 с. 6. Пустовойтов П.Е. Одноканальная компьютерная сеть с неоднородным входным потоком заявок без приоритетов / П.Е. Пустовойтов // Системи обробки інформації. – Х.: Хар. ун-т Повітряних Сил, 2011. – Вип 3(93). 7. Пустовойтов П.Е. Одноканальная компьютерная сеть с неоднородным входным потоком заявок с абсолютным приоритетом / П.Е. Пустовойтов // Системи управління навігації та зв'язку. – К.: Центральний науководослідний інститут навігації і управління, 2011. – Вип 2 (18). 8. Пустовойтов П.Е. Компьютерная сеть с неоднородным входным потоком заявок с относительными приоритетами / П.Е. Пустовойтов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Х.: 2011, – Вип. 3/2 (51). 9.

Пустовойтов П.Е. Приближенная технология оценки эффективности многоканальной компьютерной сети с отказами и неоднородным входящим потоком с приоритетами / П.Е. Пустовойтов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Х.: ХарДАЗТ, 2011. – № 3. **10.** Пустовойтов П.Е. Управление обслуживанием потоков с приоритетами в компьютерных сетях. / П.Е. Пустовойтов // Системи управління навігації та зв'язку. – К.: Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, 2010. – Вип. 1(13). **11.** Пустовойтов П.Е. Управление ресурсами узла компьютерной сети по критерию среднее число очередей, длина которых не ниже критической / П.Е. Пустовойтов // Системи обробки інформації. – Х.: Хар. ун-т Повітряних Сил, 2010. – Вип. 5 (86). **12.** Пустовойтов П.Е. Управление передачей пакетов в узле компьютерной сети, минимизирующее максимальную длину очереди / П.Е. Пустовойтов // Системи управління навігації та зв'язку. – К.: Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, 2010. – Вип. 2(14). **13.** Пустовойтов П.Е. Борьба с перегрузкой и рациональная организация очередей в компьютерных сетях / П.Е. Пустовойтов, Н.И. Яцук // Системи управління навігації та зв'язку. – К.: Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, 2007. – Вип. 4. **14.** Пустовойтов П.Е. Минимаксное управление дисциплиной обслуживания в компьютерных сетях / П.Е. Пустовойтов, Эль Саед Абделаал Эльсаед Мохамед // Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2006. – № 23.

Поступила в редколлегию 26.10.2012

УДК 004.7+681.324

Анализ показателей надежности компьютерной сети для различных вариантов управления потоками пакетов / П.Е. Пустовойтов, Р.А. Круглов, С.В. Судаков // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 138-145. – Бібліогр.: 14 назв.

У роботі проаналізовано склад потоку пакетів комп'ютерної мережі, показано, що управління пріоритетами складових потоків впливає на показники системи обслуговування. У тестовій мережі впроваджено програмний комплекс, що управляє потоками. Побудовано графіки для загальних показників надійності комп'ютерної мережі.

Ключові слова: комп'ютерні мережі, оптимальне керування потоками, прокси-сервер, зниження навантаження, відгук, трафік, втрати пакетів.

It was researched the influence of package flow managing on reliability of network. It was built graphs of main indexes of reliabilities, using the developed program, which was tested in test network.

Keywords: reliability of network, ping, traffic, package loss.

А. И. РАЙЧЕНКО, д-р техн. наук, гл. науч. сотр., ИПМ НАН Украины, Киев;

О. Н. СИЗОНЕНКО, д-р техн. наук, вед. науч. сотр., ИИПТ НАН Украины, Николаев;

А. В. ДЕРЕВЯНКО, науч. сотр., ИПМ НАН Украины, Киев;

В. Г. КОЛЕСНИЧЕНКО, науч. сотр., ИПМ НАН Украины, Киев;

Е. Г. ГРИГОРЬЕВ, канд. физ.-мат. наук, доцент, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия;

А. И. ИВЛИЕВ, канд. техн. наук, доцент, Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев

ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА В ПРОЦЕССЕ КОНСОЛИДАЦИИ ПОРОШКОВ

Приведены результаты экспериментальных данных изменения состояния порошковых композиций при электроразрядном воздействии. Предложены механизмы образования в веществе физических дефектов при воздействии электрического разряда с целью консолидации порошковых тел.

Ключевые слова: электрический разряд, порошок, консолидация, керамика.

Введение. В настоящее время в лабораторной и в промышленной практике все шире используются технологические процессы, в которых для достижения требуемых свойств на смесь порошков воздействуют электрическим током большой плотности. Воздействие электрического тока большой плотности на частицы может приводить как к залечиванию микротрещин и пор, измельчению зерна и увеличению прочности материала, так и к накоплению дефектов и к диспергированию материала. Процессы электроконсолидации порошковых сред под давлением по своей природе особенно чувствительны к изменению площади зеренных границ консолидируемых порошков.

Способы спекания порошковых материалов с использованием электрического тока имеют общие черты с обычным и активированным спеканием, горячим прессованием, а на уровне элементарных актов – с микроэлектросваркой [1]. Воздействие импульсов электрического тока на металлические порошки и другие дисперсные материалы порождает в них ряд специфических явлений. На контактных участках между соседними частицами под влиянием тока происходит интенсивный массоперенос в твердой фазе.

Кроме этого, часть материала может расплавляться и испаряться, что сопровождается еще более интенсивным массопереносом. В результате в однокомпонентных порошковых прессовках идет процесс быстрого спекания. Для поликомпонентных порошковых систем характерно интенсивное спла-

вообразование или возникновение новых фаз, не входящих в исходную композицию («реакционное спекание»). В зависимости от параметров процесса (давление на порошковую среду, амплитуда и длительность импульсов электрического тока) процесс спекания может протекать по-разному. В связи с этим в широких пределах изменяются структура и свойства спеченных материалов. С помощью методов электроспекания порошков можно получать материалы, обладающие неоспоримыми преимуществами перед аналогичными порошковыми материалами, изготовленными без пропуска электрического тока. Примерами служат материалы для алмазных инструментов, конструкционного и антифрикционного назначения из сплавов на основе алюминия и алюминиевой бронзы, детали из бериллия, титана и титановых сплавов, композиции типа металл-диэлектрик и ряд других. Методы спекания с использованием электрического тока позволяют во многих случаях совмещать в одной операции формование и спекание порошковых заготовок. Широкий диапазон изменения электрофизических параметров воздействия на порошок обуславливает многочисленность этих методов. К ним относятся: электроразрядное спекание (ЭРС), электроимпульсное спекание под давлением (ЭИСД), электроимпульсное спекание (ЭИ), электроимпульсное прессование, Field assisted sintering technique (FAST), Plasma Assisted Sintering (PAS), Spark Plasma Sintering (SPS), Pulse Plasma Sintering (PPS), Electroconsolidation, High Energy High Rate Processing (HEHR), Electric Discharge Compaction (EDC) [2, 3].

Важную роль в процессе формирования структуры материала, спекаемого в условиях высоких давлений и температур, играют варианты прохождения электрического тока. Информация о состоянии поверхности частиц, о степени их деформации в местах контакта в зависимости от размера частиц и скорости нагружения представляет большой научный и практический интерес для разработки технологий получения материалов с заданными свойствами. Однако процессы уплотнения порошков в условиях высоких давлений еще недостаточно изучены.

Целью данной работы является изучение процесса консолидации порошков при различных вариантах прохождения электрического тока в предположении, что изначальный порошковый материал может содержать неоднородности структуры.

Методика исследований. Анализ работы [4] приводит к заключению о возможном возникновении эффекта, связанного с вторичным порообразованием при реализации процесса электроразрядного спекания металлического порошка (например, Al) [4]. Причиной возникновения такого явления в порошковых телах с имеющимися в структуре дефектами связывают возможное действие электромеханических сил, которые в некоторых местах порошкового образца генерируют механические растягивающие напряжения [5, 6].

Электрический ток, проходя через металлический порошковый провод-

ник, благодаря взаимовлиянию вместе с возникающими механическими воздействиями может оказаться первопричиной возникновения совокупности дефектов в матричной структуре изделия. Так, оказывающиеся в проводнике кластеры дефектов, например, на основе конгломератов, обладают отличительными свойствами материала с иной само- и гетеродиффузией. Для выяснения особенностей влияния совокупностей неоднородностей в структуре оказываются полезными эксперименты с искусственно созданными условиями, которые способствуют возникновению дефектов в виде линии из череды микропор или трещин [7].

В этой связи были предприняты шаги по изучению влияния преград для прохождения электрического тока сквозь прессовку при температурах выше 1200 °С. С этой целью использовали обычный процесс консолидации керамики на основе TiN:

- **в первом случае** спекали при непосредственном прохождении электрического тока через прессовку, что является обычным подходом для использования метода консолидации;

- **во втором случае** использовали способ, предотвращающий непосредственное прохождение электрического тока сквозь прессовку: сверху и снизу проложили прокладки из BN. Это позволяло фактически косвенно нагревать прессовку во время спекания.

В данной ситуации комплексное воздействие, состоящее из электрического тока (инициация Джоулевого нагрева) и магнитного поля, возникающего от прохождения электрического тока, было заменено на косвенный нагрев [5, 8]. Представление прохождения электрического тока во время симулирования процессов относительно условий задачи экспериментов показано на рис. 1.

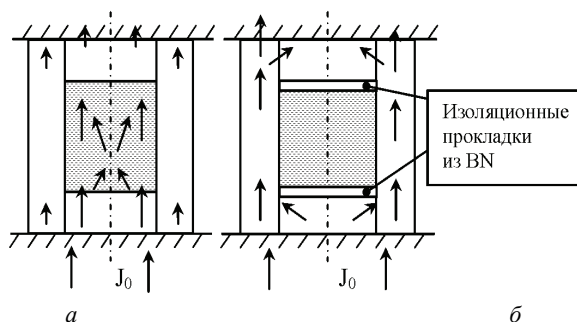


Рисунок 1 – Схема проведения экспериментов: *а* – вариант непосредственного прохождения электрического тока, *б* – без непосредственного прохождения электрического тока

С целью реализации и проведения экспериментов задействовали исследовательское оборудование для изучения электроспекания ЭРАН 2/1 (рис. 2) [7].

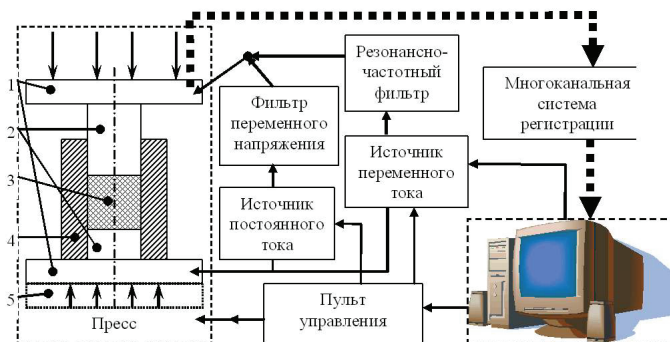


Рисунок 2 – Схематическое представление оборудования ЭРАН 2/1 [7]: 1 – токоподводящие плиты гидравлического пресса; 2 – электрод-пуансоны (графит МПГ-6); 3 – обрабатываемый объект; 4 – матрица (графит МПГ-6); 5 – блок дополнительной подпрессовки

Результаты исследований. В процессе исследований наблюдались различные варианты разогрева пресс-формы. В первом случае разогрев пресс-формы происходил равномерно. Во втором - разогрев начинался при прохождении электрического тока в средней части пресс-формы. В случае непосредственного прохождения электрического тока через прессовку (см. рис. 1, а) в некоторых случаях при выпрессовке готового изделия происходило его расслоение по горизонтальным плоскостям (рис. 3, а, б).

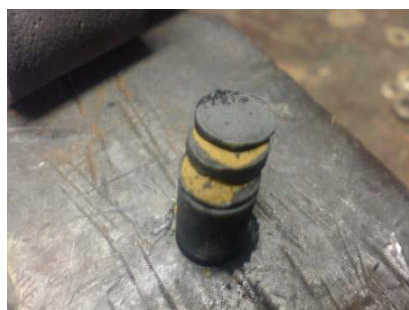
Такое «поведение» образцов говорит о повышенной их хрупкости в определенном направлении, что и приводило к таким последствиям. Идея предотвращения прохождения электрического тока должна была указать на степень воздействия сил электрической природы при формировании структуры керамического материала в условиях комплексного воздействия, такого, как рост температуры и градиент температурного поля. Сама продолжительность воздействия для обоих случаев была около 3 минут. Но характер скорости роста температуры при одинаковом стартовом токе 370 А (переменная составляющая воздействия на частоте 5кГц составляла 250-300 А и была неизменной) сравнительно отличался.

Более крутой рост температуры должен был бы привести к большему сдвигу в сторону формирования череды разрушений в материале, но на практике оказалось немного иначе. Отсутствие непосредственного воздействия проходящего электрического тока на консолидируемый материал при более крутом росте температуры (см. рис. 1, б) не оказалось положительным (рис. 4) [7]. В таблице сведены некоторые свойства полученных материалов.

Независимо от имеющегося количества пор в материале для случая без непосредственного прохождения электрического тока (см. рис. 4, б) не наблюдается расслоение тела материала.

Опираясь на работы [4, 5, 8], в которых говорится о превалирующем

эффекте электрического тока на формирование поля температуры, массоперенос вещества и возникающее под их действием перемещение различного рода включений (твердые частицы или же это могут быть поры) внутри объема материала, можно предположить следующее развитие процесса формирования материала керамики. Сам изначальный порошковый материал может содержать неоднородности структуры в форме слипшихся порошковых частиц (агломераты). Это может быть основной первопричиной формирования областей дефектов и несплошностей структуры изделия (рис. 5).



а



б



в

Рисунок 3 – Образцы после выпрессовки: *а, б* – расслоение образцов в случае непосредственного прохождения электрического тока, *в* – отсутствие расслоения для случая косвенного нагрева.

Свойства керамики на основе TiN

Номер подхода	Описание исходных компонентов	Твердость, ГПа	Трещиностойкость, МПа·м ^{-1/2}
1	BN(прокладка)-TiN-BN(прокладка)	16,5	4,0
2	TiN	15,6	4,0

Рассмотрим вероятную случайную упаковку агломератов из наночастиц как разветвленную электрическую цепь. Тогда следует предположить случай

неоднородного по характеру распределения локальных проходящих токов и возникающих температурных перекосов. Из-за случайной упаковки агломератов и частиц сила тока через некоторые контактирующие зоны будет велика и достаточна для разогрева малой площади зоны контакта до температуры «размягчения» вещества. Такое формирование пути прохождения электрического тока в объеме пористого тела приводит к образованию включений сферической формы (рис. 6).

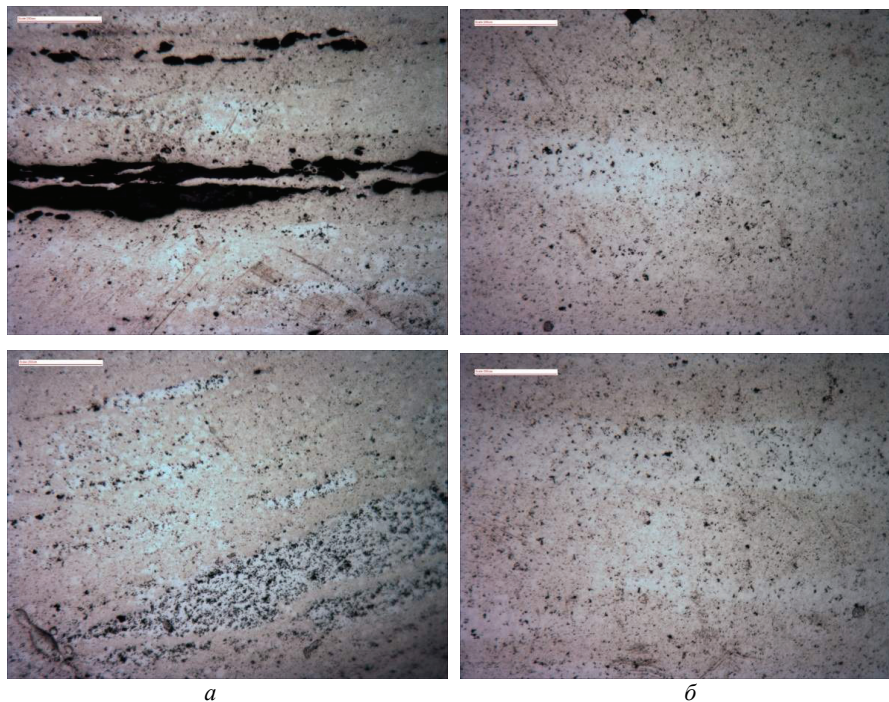


Рисунок 4 – Примеры структур на основе керамики TiN, $\times 100$: *а* – вариант непосредственного прохождения электрического тока, *б* – без непосредственного прохождения электрического тока.

Из распределения удельного объема пор прессовки при 840°C (давление прессования около 80 МПа) видно, что на первом этапе электроспекания происходит формирование пор размером 14-20 нм, которые соизмеримы с размерами отдельных частиц порошка (рис. 6, *а*). При последующем нагревании до 1050°C (рис. 6, *б*) количество приоритетных пор (14-20 нм) уменьшается на фоне общего уменьшения объема пор, и их объем сравнивается с объемом пор 30-40 нм. При достижении 1300°C поры с размерами от 3 до 300 нм практически отсутствуют (рис. 6, *в*), а при достижении температуры 1400°C заканчивается спекание внутри агрегатов (рис. 6, *г*).

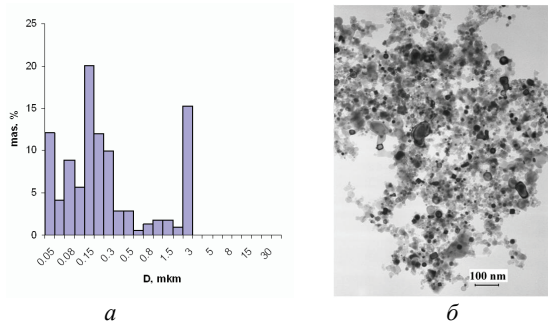


Рисунок 5 – Структурные составляющие нанопорошка: *а* – распределение частиц нанопорошка в засыпке, *б* – агломерат на основе TiN.

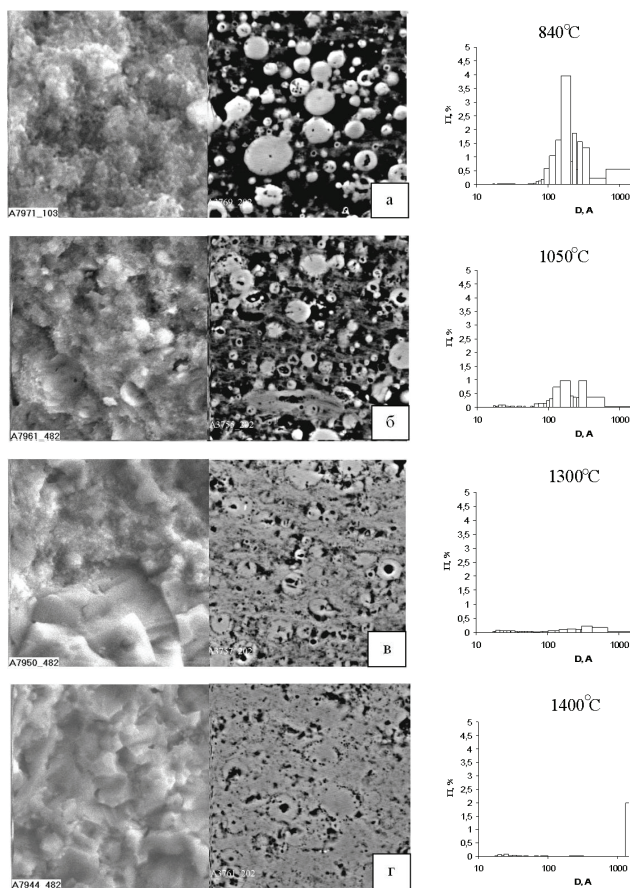


Рисунок 6 – Эволюция образования пор и дальнейшее формирование структуры от 840 °C до 1500 °C

В конце процесса консолидации в керамике остаются области с закрытыми порами, что и есть возможной причиной, приводящей к началу процессов растрескиваний по объему. Такие уровни перекосов температуры при косвенном нагреве (см. рис. 1, б) не достигаются в процессе формирования керамики, так как поле градиента температуры формируется только за счет теплопроводности материала пресс-формы и компонентов керамического материала, в результате чего керамический материал имеет более однородную структуру (см. рис. 4, б).

Выводы. Изучены особенности процесса консолидации керамики TiN при различных вариантах прохождения электрического тока. Показано, что улучшение сплошности структуры керамики связано с согласованием последствия температурных эффектов и минимизирования их в областях с уже сформированным керамическим материалом за счет динамического изменения количества подводимой энергии к системе. Установлена зависимость плотности консолидированных образцов от амплитуды высоковольтного импульса тока.

Работа выполнена при частичной поддержке Гранта № 05-08-12 НАН Украины согласно результатам конкурса НАН Украины – РФФИ 2012 года.

Список литературы. 1. Райченко А.И. Основы процесса спекания порошков пропусканием электрического тока / А.И. Райченко. – М.: Металлургия, 1987. – 128 с. **2.** Григорьев Е.Г. Электроимпульсная технология формирования материалов из порошков: учебное пособие / Е.Г. Григорьев, Б.А. Калинин. – М.: МИФИ, 2008. – 152 с. **3.** Рагуля А.В. Консолидированные наноструктурные материалы / А.В. Рагуля, В.В. Скороход. – К.: Наукова думка, 2007. – 374 с. **4.** Райченко А.И. Возникновение вторичного порообразования и его влияние на усадку при электроразрядном спекании порошков / А.И. Райченко, О.Н. Сизоненко, А.В. Деревянко // Материалы и покрытия в экстремальных условиях: Тез. докл. 6-й Межд. конф., 20-24 сент. 2010 г., Понизовка, Автономная республика Крым, Украина – 2010. – С. 292. **5.** Zamula M.V. Electric-discharge sintering of TiN-AlN nanocomposites / M.V. Zamula, A.V. Derevyanko, V.G. Kolesnichenko; A. V. Samelyuk; O. B. Zgalat-Lozinskii; A. V. Ragulya. // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2007. – Vol. 46, № 7-8. – P. 325-331. **6.** Williams M.L. On the Stress Distribution at the Base of the Stationary Crack / Williams M.L. // J. Appl. Mech. – 1957. – Vol. 24. – P. 109-114. **7.** Колесниченко В.Г. Особенности разогрева прессовки для разных условий прохождения электрического тока по пресс-форме при спекании керамического материала / В.Г. Колесниченко, А.В. Деревянко, О.Б. Згалат-Лозинский, М.В. Замула // Тези докл. 3 Міжнародної конференції HighMatTech. – Київ, Україна, 3-7 жовтня 2011 р. – К.: 2011. – С. 302. **8.** Raichenko A.I. Alloy Formation in a Heterogeneous System under the Action of an Electric Current / Raichenko A.I., Derevyanko A.V., Popov V.P. // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2003. – Vol. 42, № 5-6. – P.230-234.

Поступила в редколлегию 08.10.2012

УДК 621.793.8:621.762.5:537.528

Особенности воздействия электрического разряда в процессе консолидации порошков // А.И.Райченко, О.Н.Сизоненко, А.В.Деревянко, В.Г.Колесниченко, Е.Г.Григорьев, А.И.Ивлиев // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 146-154. – Бібліогр.: 8 назв.

Наведено результати експериментальних даних зміни стану порошкових композицій при
ISSN 2079-0740. Вісник НТУ «ХПІ». 2012. № 52 (958) 153

електророзрядному впливі. Запропоновано механізми утворення у речовині фізичних дефектів при впливі електричного розряду з метою консолідації порошкових тіл.

Ключові слова: електричний розряд, порошок, консолідація, кераміка.

The results of experimental data of powder compositions state changes during electric discharge impact are given. The mechanisms of physical defects formation in matter during electric discharge impact with the purpose of powder bodies' consolidation are proposed

Keywords: electric discharge, powder, consolidation, ceramics.

УДК 621.319.4

В. В. РУДАКОВ, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;

В. П. КРАВЧЕНКО, НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;

О. Ю. ДУБИЙЧУК, канд. техн. наук, НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ КОНДЕНСАТОР С ОГРАНИЧЕННЫМ РЕСУРСОМ

Разработан высоковольтный импульсный конденсатор с небольшим ресурсом напряжением 33кВ с содержанием 85 % полипропиленовой пленки и 15 % конденсаторной бумаги.

Ключевые слова: конденсатор, импульс напряжения, высоковольтная изоляция.

Вступление. Для проведения физических экспериментов исследования накопления электростатической энергии в малых объемах при ограниченном ресурсе менее 100 импульсов в высоковольтной импульсной конденсаторной технике широко применяется комбинированная изоляция с процентным содержанием пленки менее 50 %. Однако, в настоящее время, в связи с прогрессом, достигнутым в создании новых качественных конденсаторных полимерных пленок (в частности, отечественной полипропиленовой) появилась возможность создания чисто пленочных импульсных конденсаторов.

Анализ основных достижений и литературы. Полипропиленовая пленка уже завоевала прочные позиции при создании силовых конденсаторов переменного напряжения [1,2]. В тоже время применение пленки для импульсных конденсаторов практически не исследовано. Имеющиеся экспериментальные данные [3,4] в одном случае [3] свидетельствуют об эффективности применения пленочной изоляции для импульсных конденсаторов, в другом [4] – при пропитке полипропиленовой изоляции касторовым маслом, обладающим большой вязкостью – получены весьма низкие значения ресурса. Поэтому логично применить для пропитки диэлектрическую жидкость с

© В. В. Рудаков, В. П. Кравченко, О. Ю. Дубийчук, 2012

меньшей вязкостью и меньшим углом смачивания. Из широко распространенных и доступных жидких диэлектриков наиболее подходящим является нефтяное масло.

Целью работы является оценка возможности создания высоковольтного импульсного конденсатора с ограниченным ресурсом менее 10^2 импульсов, но с большой удельной энергией даже при работе в режиме колебательного разряда, при номинальном напряжении 33кВ, емкостью 0,8мкФ.

Для обоснования конструкции использованы результаты ресурсных испытаний пленочной изоляции. Были изготовлены секции из односторонне шероховатой полипропиленовой пленки типа TERFILM RER толщиной 12 мкм с различным количеством слоев: 2, 3, 4 и 5 слоев (24, 36, 48 и 60 мкм соответственно). В ходе проведения эксперимента секции испытывались на кратковременную электрическую прочность и на ресурс в стандартном режиме (частота разрядного тока контура 100 кГц и декремент колебаний 1,38). Испытание образцов на кратковременную электрическую прочность производилось путем скачкообразной подачи на испытуемый образец напряжения, соответствующего уровню напряженности для данного количества слоев пленки $E = 250$ кВ/мм. Далее подъем напряжения осуществлялся с шагом по времени $\Delta t = 30$ с и по напряженности с шагом $\Delta E = 25$ кВ/мм.

Ресурсные испытания образцов (длительная электрическая прочность) проводились с использованием генератора поджигающих импульсов, который генерировал импульсы с частотой $f = 2$ Гц. Подаваемое на образец напряжение контролировалось при помощи электростатического киловольтметра С196.

Результаты испытаний. Результаты испытания секций на кратковременную электрическую прочность приведены в табл. 1:

Таблица 1 – Кратковременная электрическая прочность образцов

Толщина изоляции, мкм	Количество испытанных образцов, ед.	Среднее напряжение пробоя, кВ	Средняя напряженность пробоя, кВ/мм
24	15	12,77	531,94
36	16	19,11	530,73
48	19	21,15	440,57
60	19	27,17	452,89

Следует отметить, что из испытанных на кратковременную прочность образцов ни на одном из них напряженность пробоя не составила менее 350 кВ/мм.

Результаты ресурсных испытаний на 6 уровнях напряженности для образцов с различной толщиной пленочного диэлектрика даны в табл. 2. Анализ результатов. Анализ результатов ресурсных испытаний (табл. 2) показывает, что при напряженностях электрического поля более 200 кВ/мм не на-

блюдается закономерности уменьшения ресурса с увеличением толщины диэлектрика. Это свидетельствует об изменении механизма разрушения изоляции и ослаблении «краевого эффекта».

На рис. 1 представлены зависимости удельной энергии активной зоны диэлектрика при вероятности наработки 0,5 по результатам эксперимента, а также приведена известная зависимость для бумажно-касторовой изоляции.

Таблица 2 – Средние значения наработки образцов с различными толщинами пленочного диэлектрика и различных значениях напряженности электрического поля

Толщина изоляции, мкм	Средний ресурс при различных уровнях напряженности, импульсов					
	$E, \text{кВ/мм}$					
	125	150	175	200	225	250
24	252244	11465	2800	938	426	132
36	7543	2212	1459	958	662	400
48	8774	3076	1662	900	406	190
60	4472	1720	884	492	378	227

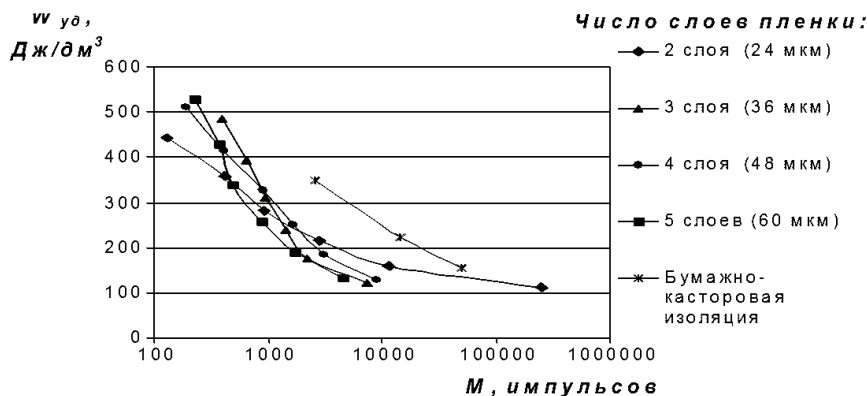


Рисунок 1 – Удельная энергия образцов с пропитанной полипропиленовой изоляцией и с бумажно-касторовой изоляцией

При создании специальных малогабаритных конденсаторов с рабочей напряженностью электрического поля более 150 кВ/мм и небольшим ресурсом применение бумажно-касторовой изоляции практически невозможно из-за большой доли отказов при первом же подъеме напряжения [6]. Поэтому при $E_p > 150 \text{ кВ/мм}$ (и ресурсе менее 10^3 импульсов) применение пленочного диэлектрика является оправданным.

На рис. 2 приведена зависимость относительной удельной энергии $W_{уд}'$ для рассмотренной конструкции с комбинированным диэлектриком в зависимости от процентного содержания бумаги, рассчитанная по теории «напряженного объема» [2]. Учитывая, что процессы на горизонтальной части электрода являются определяющими величину ресурса, то повышение удель-

ной энергии возможно при повышенном процентном содержании пленки по сравнению с бумагой, основной задачей которой является обеспечение качественной пропитки. Для увеличения удельной энергии на 20 % необходимо уменьшить содержание бумаги до 5-20 %.

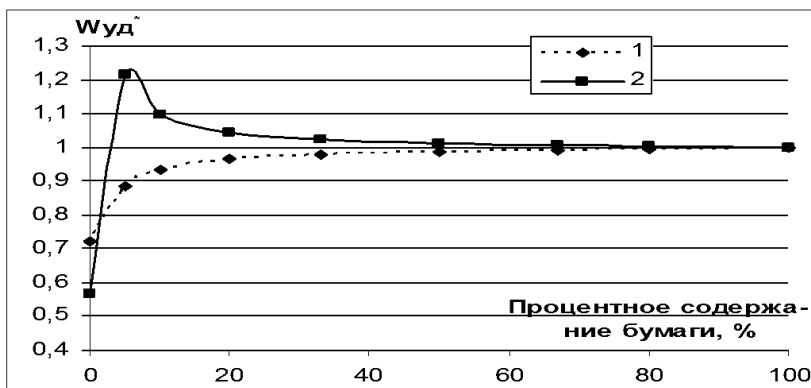


Рисунок 2 – Расчетное значение $W_{уд}'$, рассчитанное по значению напряженности на скошенной грани (1) и на горизонтальной части электрода (2)

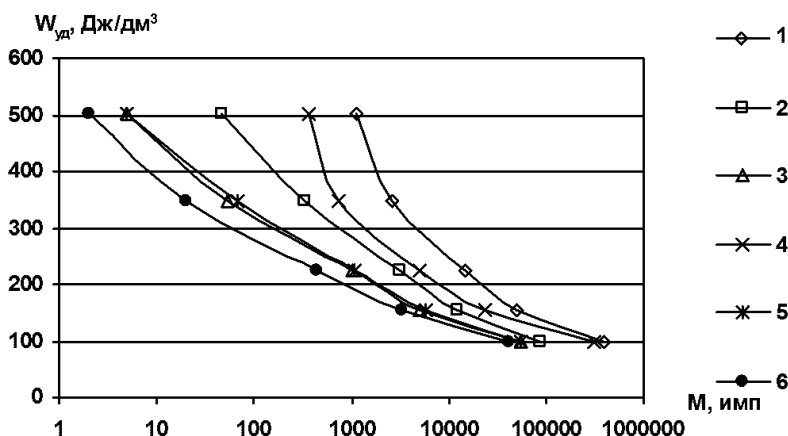


Рисунок 3 – Расчетные зависимости удельной энергии от ресурса:
 1 – $W = 50$ Дж, $P = 0,5$; 2 – $W = 50$ Дж, $P = 0,9$; 3 – $W = 50$ Дж, $P = 0,999$;
 4 – $W = 5000$ Дж, $P = 0,5$; 5 – $W = 5000$ Дж, $P = 0,9$; 6 – $W = 5000$ Дж, $P = 0,999$

Это возможно выполнить применив относительно толстые слои пленки 40мкм и тонкую бумагу 5 мкм.

С увеличением толщины пленки ее электрическая прочность как показывают эксперименты остается на уровне не менее 350кВ/мм.

А на рис. 3 представлены вероятностные оценки удельной энергии ком-

бинированной изоляции с 50 % и менее содержанием пленки в активном диэлектрике в зависимости от полной запасаемой энергии и вероятности безотказной работы по данным [5].

Таким образом при создании конденсатора с ограниченным ресурсом, чтобы получить максимальную удельную энергию необходимо:

- иметь наибольшее значение напряженности электрического поля, что возможно только при применении пленочных диэлектриков;

- прокладывать между слоями пленки пористый диэлектрик (бумагу) для улучшения качества пропитки и ослабления напряженности электрического поля на краях обкладок, причем процентное содержание бумаги не должно превышать 10 %. Для этого толщина слоя пленки должна быть на порядок больше толщины бумажной изоляции при минимально возможной общей толщине изоляции между обкладками;

- понимать, что применение толстых слоев пленки, имеющих практически ту же кратковременную электрическую прочность, что и тонких слоев, существенно не уменьшит ресурс при ограниченном числе импульсов;

- уйти от необходимости последовательного соединения секций внутри пакета для избегания перекоса напряжения на последовательно соединенных секциях внутри пакета вследствие технологического допуска разброса по величине емкости;

- обеспечить длину закраины по изоляции из расчета не более 1 кВ/мм, то есть более 30 мм.

Конструкция конденсатора. Разработан высоковольтный импульсный конденсатор КИМ-157 напряжением 33 кВ емкостью 0,8мкФ с ограниченным сроком службы. Технические характеристики конденсатора: номинальное напряжение 33 кВ, испытательное напряжение 35кВ, номинальная емкость $0,8\text{мкФ} \pm 0,1\text{мкФ}$, тангенс угла диэлектрических потерь, не более 0,002, ресурс, циклы заряд-разряд, не менее 1,0 и не более 10^2 , габариты, диаметр x длина, мм -140x300.

Внешний вид конденсатора в сборе со стороны торца представлен на рис.4.

Активным диэлектриком является изоляция из 3 слоев полипропиленовой пленки общей толщиной 120мкм и 4 слоев пятимикронной бумаги КОН-2-5. Средний рабочий градиент составляет 230 кВ/мм. Удельная энергия в активной части изоляции достигает значений 450 Дж/дм^3 . Пакет намотан на цилиндрический изоляционный стержень. С каждого из торцов пакета выведены по 32 вывода параллельно соединенных секций), при этом длина пути возможного разряда вдоль поверхности изоляции составляет 35 мм. Вывода соединены с помощью прижимных контактов, причем прижим осуществляется за счет стяжки элементов конденсатора вдоль оси с помощью центрального металлического (высоковольтного) стержня, расположенного внутри изоляционной втулки, на которую намотан пакет. Герметизация конденсатора осуществляется с помощью изоляционных фланцев из оргстекла, металли-

ческих колец и 12 стяжных болтов, расположенных по периметру фланцев. Активная часть пакета (рабочая изоляция) составляет 30 % объема конденсатора (если не учитывать объем обкладок, закраин, прижимных устройств, герметизирующих фланцев и наружных выводных шпилек и центрального стержня). Поэтому удельная энергия конденсатора, отнесенная к объему конденсатора составит около 150 Дж/дм^3 .



Рисунок 4 – Макет конденсатора

Результаты испытаний конденсатора. Изготовленные 3 макета образцов конденсаторов (внешний вид представлен на рис. 1) испытаны в однократном импульсном колебательном режиме при номинальном напряжении. Декремент колебаний составил 1,7. Ресурс составил соответственно 3,9 и 15 импульсов. По сравнению с данными табл. 2 уменьшение ресурса на 1,5-2 порядка связано с увеличением толщины диэлектрика до 140мкм, увеличением площади обкладок на 2 порядка по сравнению с образцами для испытаний, эффектом увеличения разброса по ресурсу при рабочих напряженностях электрического поля, близких к пробивным значениям, а также использование упаковочной полипропиленовой пленки.

Выводы

1. Показана возможность создания высоковольтного импульсного конденсатора на основе комбинированного бумажно-полипропиленового диэлектрика с ограниченным ресурсом (около 10 импульсов в режиме колебательного разряда) при рабочей напряженности электрического поля 230 кВ/мм, удельной энергии в активной части 450 Дж/дм^3 и общей запасаемой энергии 400 Дж.

2. Для получения ресурса более десятков импульсов, но менее 1000, для

данного типа изоляции необходимо уменьшить рабочий градиент до 165кВ/мм.

Список литературы: 1. Г.С. Кучинский, Н.И. Назаров, Г.Т. Назарова, И.Ф. Переселенцев Силовые электрические конденсаторы. – М.: Энергия, 1975 – 248 с. 2. Бржезицкий В.О., Исакова А.В., Рудаков В.В. та ін. // Техніка і електрофізика високих напруг: Навч. посібник / За ред. В.О.Бржезицького, В.М.Михайлова. – Х.: НТУ «ХПІ»-Торнадо, 2005. – 930 с. 3. Гребенников И.Ю. Гунько В.И., Дмитришин А.Я. и др. Прогнозирование ожидаемого среднего ресурса высоковольтных импульсных конденсаторов с пленочным диэлектриком в зависимости от режимов эксплуатации // Физика импульсных разрядов в конденсированных средах: Материалы XII Межд. науч. школы. – Николаев: КП «Николаевская областная типография», 2005. – С. 125-126. 4. В.В.Рудаков, Ю.В.Кравченко, Д.А.Доценко Ресурс пленочной полипропиленовой изоляции, пропитанной касторовым маслом, в импульсном режиме // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Тем. випуск: Техніка і електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2006. – № 37. – С. 113-118. 5. В.В.Рудаков, О.Ю.Дубийчук, В.П.Кравченко Предельные удельные характеристики высоковольтных импульсных конденсаторов // Вісник НТУ «ХПІ».Збірник наукових праць. Тем. випуск. Електроенергетика і перетворююча техніка. – Х.: НТУ «ХПІ», 2004. – № 7. – С. 142-147. 6. Дубийчук О.Ю., Рудаков В.В. Экспериментальное определение показателей надежности секций конденсаторов с бумажно-касторовой изоляцией // Електротехніка і електромеханіка. – 2006. – № 1. – С.71-75.

Поступила в редколлегию 22.10.2012

УДК 621.319.4

Высоковольтный импульсный конденсатор с ограниченным ресурсом / В. В. Рудаков, В. П. Кравченко, О. Ю. Дубийчук // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 154-160. – Бібліогр.: 6 назв

Розроблено високовольтний імпульсний конденсатор з невеликим ресурсом напругою 33кВ з вмістом 85% поліпропіленової плівки та 15% конденсаторного паперу.

Ключові слова: конденсатор, імпульс напруги, високовольтна ізоляція.

A high-voltage impulsive capacitor is developed with a small resource by high voltage of 33kv with maintenance 85% polypropylene film and 15% capacitor paper.

Keywords: capacitor, impulse of voltage, high-voltage insulation.

С. Ю. СКОБЛИКОВ, аспирант, НТУ «ХПИ»

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ РАСТРОВОЙ ГРАФИКИ ДЛЯ СОПОСТАВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЧИСЛОВЫХ МНОЖЕСТВ

В работе предложен метод сопоставления элементов множеств с использованием разностной матрицы, показано, что при некоторых условиях вычисления всей разностной матрицы не является необходимым, зато достаточно построить растровую линию, аппроксимирующей минимума разностной матрицы. Предложено вычислительно-эффективный алгоритм сопоставления множеств действительных чисел на базе алгоритма Брезенхема для окружности. Показано работоспособность и адекватность предложенного метода.

Ключевые слова: сравнение множеств, растровая графика, оптимизация вычислений.

Вступление

Задача сравнения числовых множеств возникает при анализе работы компьютерных алгоритмов, в частности, алгоритмов оценки параметров.

Представим, что есть некоторый набор медленно изменяющихся параметров (в моем случае это были направления прихода радиосигналов):

$$\mathbf{P} = [p_1, p_2, \dots, p_N] \in \mathbb{R}^N. \quad (1)$$

Параметры, в свою очередь, влияют на некий физический процесс (соответственно, электромагнитная волна):

$$s = f(\mathbf{P}). \quad (2)$$

Сами значения параметров неизвестны, равно как и их количество N . Можно только зафиксировать суперпозицию процессов (2), зависящих от параметров (1), при помощи измерительного устройства:

$$s_{\text{ИУ}} = \sum_{i=1}^N s(p_i).$$

Далее исследуемый алгоритм должен вычислить значения исходных параметров:

$$s_{\text{ИУ}} \mapsto \hat{\mathbf{P}} \in \mathbb{R}^M.$$

Глобальная задача состоит в определении качества работы программы-оценщика. Для этого необходимо сравнивать между собой результаты работы программы при различных настройках. То есть, сравнивать множества вещественных чисел. Результат такого сравнения позволит находить так называемые «артефакты» – значения параметров, не имеющие физического источника, но добавленные программой для минимизации ошибки вычисления.

При сравнении результатов важно помнить, что оценки $\hat{\mathbf{P}}$ имеют некоторую погрешность, что делает маловероятным точное совпадение элементов

разных множеств. Поэтому элементы могут считаться совпадающими даже если они не строго равны, но находятся на достаточно близком расстоянии (предел которого заранее неизвестен). Простыми словами, требуется умение определять, какие элементы из первого множества наиболее «похожи» на элементы из второго, и наоборот.

К сожалению, поиск по литературным источникам дал лишь алгоритмы сравнения множеств для случая, когда элементы считаются совпадающими лишь при строгом равенстве [1,2]:

$$a_i = b_j \Rightarrow a_i \Leftrightarrow b_j.$$

Постановка проблемы и нотация

Имеются два множества вещественных чисел, представленных в виде векторов:

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= [a_1, a_2, \dots, a_M], \\ \mathbf{b} &= [b_1, b_2, \dots, b_N]. \end{aligned} \quad (3)$$

Необходимо найти как можно больше пар взаимно ближайших элементов:

$$a_i \Leftrightarrow b_j, \quad (4)$$

то есть элементов, для которых выполняются условия:

- a_i – ближайший к b_j элемент вектора $\mathbf{a}$;
- b_j – ближайший к a_i элемент вектора $\mathbf{b}$,

чтобы в конечном итоге построить таблицу соответствия элементов:

$$\begin{aligned} \mathbf{C} &= f(\mathbf{a}, \mathbf{b}) \\ (\mathbb{R}^M, \mathbb{R}^N) &\mapsto \mathbb{R}^{K \times 3} \\ K &< \min(M, N) \end{aligned} \quad (5)$$

где каждая строка матрицы $\mathbf{C}$ описывает соотношение пары элементов (4):

$$c_k = (i \ j \ |a_i - b_j|). \quad (6)$$

Соотношение чисел M, N, K также способно показать соотношение между множествами:

$$\begin{aligned} M = 0 &\Rightarrow \mathbf{a} = \emptyset \\ N = 0 &\Rightarrow \mathbf{b} = \emptyset \\ K = 0 &\Rightarrow (\mathbf{a} \cap \mathbf{b}) = \emptyset \\ M = N = K &\Rightarrow \mathbf{a} = \mathbf{b} \\ M = K < N &\Rightarrow \mathbf{a} \subset \mathbf{b} \\ N = K < M &\Rightarrow \mathbf{a} \supset \mathbf{b} \\ 0 < K < \min(M, N) &\Rightarrow (\mathbf{a} \cap \mathbf{b}) \neq \emptyset \end{aligned}$$

Метод сопоставления числовых множеств

Для начала, построим разностную матрицу:

$$\mathbf{D} \in \mathbb{R}^{M \times N} : d_{ij} = |a_i - b_j|. \quad (7)$$

Далее, для каждой строки $\mathbf{d}_i$ находится индекс минимального элемента:

$$\mathbf{g} = (g_1, g_2, \dots, g_M)^T$$

$$g_i = \text{index}(\min(\mathbf{d}_i)), \quad (8)$$

то есть каждый элемент множества a находит для себя ближайший элемент множества b .

Наконец, нужно убедиться, что на любой элемент множества b ссылаются не более одного раза. Для этого множество a разбивается на подмножества $a(b_j)$ элементов, указывающих на один и тот же элемент множества b . Подмножеству $a(b_j)$ будут принадлежать все элементы $a_i \in a$, для которых $g_i = j$

$$\mathbf{a} = \bigcap_{j=1}^N a(b_j); \quad (9)$$

$$\forall i, g_i = j: a_i \in a(b_j). \quad (10)$$

Затем если в подмножестве содержится больше одного элемента, то необходимо исключить все, кроме ближайшего к b_j :

$$a(b_j) = \begin{cases} a_i |_{d_{ij}=\min} & \text{для } |a(b_j)| > 1 \\ a(b_j) & \text{иначе.} \end{cases} \quad (11)$$

Теперь можно составить таблицу соответствия (5).

Однако предложенный алгоритм имеет высокую вычислительную сложность $O(M*N)$ в том виде, в котором он изложен в данном разделе. Далее будет показано, как можно значительно ее снизить.

Оптимизация алгоритма по скорости выполнения

Ускорение возможно в случае, если множества (3) представлены в виде сортированных векторов:

$$\begin{aligned} a_1 &< a_2 < \dots < a_M \\ b_1 &< b_2 < \dots < b_N \end{aligned} \quad (12)$$

На рис. 1 приведен общий вид разностной матрицы сортированных векторов. Как видно из рисунка, минимальные элементы матрицы D будут выстраиваться вдоль главной диагонали. Другими словами, если в i -й строке минимум находится по индексу j , то в $(i+1)$ -й строке он не может лежать левее этого индекса. Следовательно «ложбина минимумов» на матрице будет пролегать с северо-запада на юго-восток, и нет необходимости рассчитывать все элементы разностной матрицы.

Любую матрицу можно рассматривать как дискретное представление функции от двух аргументов

$$\mathbf{D} = f(\mathbf{a}, \mathbf{b}). \quad (13)$$

Если бы функция была непрерывной, выражение

$$f(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = 0 \quad (14)$$

соответствовало бы линии – функции одной переменной $x = f(y)$. В нашем

случае разностной функции, линия будет непрерывной, причем

$$0 < \frac{dx}{dy} < \infty \quad (15)$$

так что всегда будет существовать и обратная функция $y=f^{-1}(x)$. Тот факт, что двумерная функция является непрерывной, позволил бы однозначно сопоставлять элементы сравниваемых множеств.

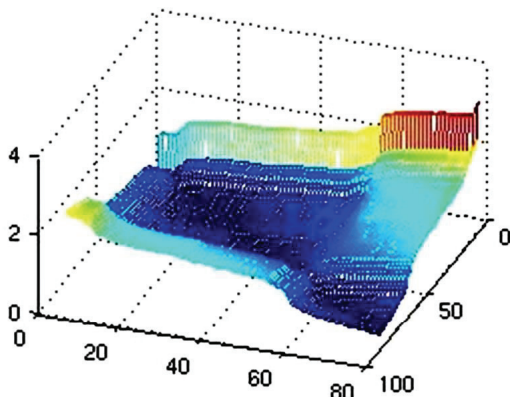


Рисунок 1 – Разностная матрица для упорядоченных векторов

К сожалению, разностная матрица содержит конечное количество элементов. Поэтому задача сопоставления двух множеств раскладывается на два этапа. Первым этапом является отрисовка на растровом поле линии, аппроксимирующей выражение (14). Координаты точек, лежащих на линии будут соответствовать элементам разностной матрицы, описывающим пары близко расположенных элементов. Однако не все точки, лежащие на этой линии будут соответствовать искомым парам элементов. Поэтому после отрисовки линии нужно будет убедиться, что в любом столбце или строке растрового поля присутствует не более, чем одна точка. Если точек было несколько, то остаться должна лишь та, которая аппроксимирует выражение (14) наилучшим образом.

Отрисовка линии методом Брезенхема

Алгоритм Брезенхема [4] для окружностей отрисовывает на растровом поле первый квадрант окружности.

В исходном состоянии курсор находится в левом верхнем углу поля. За исключением адаптации под целочисленные вычисления, идея алгоритма состоит в том, что каждая следующая точка может находиться либо правее, либо правее и ниже, либо ниже текущей. Из трех альтернатив выбирается та, которая имеет минимальную ошибку аппроксимации.

Если рассмотреть данный алгоритм в контексте вышеизложенного, то можно считать, что выражение

$$|x^2 + y^2 - R^2|, \quad x, y < R \in \mathbb{N} \quad (16)$$

соответствует разностной матрице для множеств

$$\begin{aligned} x &= \{0^2, 1^2, \dots, (N-1)^2\} \\ y &= \{R^2 - (N-1)^2, R^2 - (N-2)^2, \dots, R^2 - 0^2\} \end{aligned} \quad (17)$$

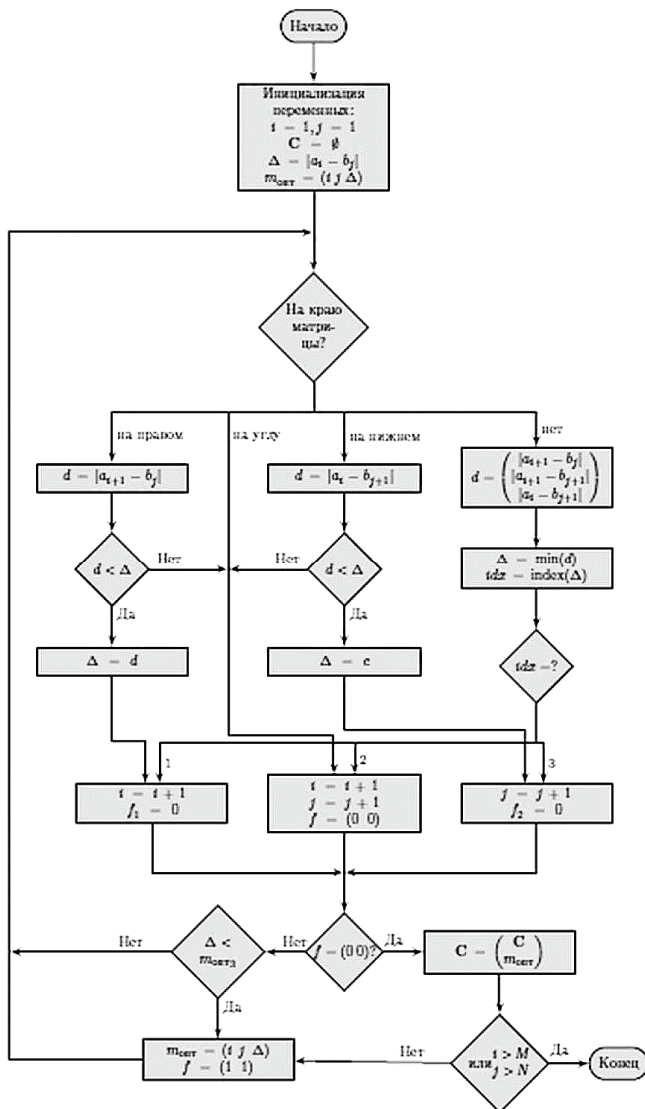


Рисунок 2 – Алгоритм сопоставления элементов множеств

Разностная матрица (7) обладает теми же свойствами, что и выражение (16): как видно из рис. 3, минимум пролегает вдоль главной диагонали. Следовательно, алгоритм Брезенхема пригоден для аппроксимации разностной матрицы для любой пары упорядоченных множеств.

Поиск минимумов в строках и столбцах

Выполнение условия (11) возможно обеспечить непосредственно в процессе отрисовки линии. Для этого необходимо отслеживать наилучшего претендента $m_{\text{опт}}$ на включение в список (5). До тех пор, пока текущая отрисовываемая точка $m_{\text{тек}}$ находится на той же линии, что и $m_{\text{опт}}$, нужно при необходимости обновлять $m_{\text{опт}}$:

$$m_{\text{опт}} = \begin{cases} m_{\text{тек}} & \text{если } D(m_{\text{опт}}) > D(m_{\text{тек}}) \\ m_{\text{опт}} & \text{иначе} \end{cases} \quad (18)$$

Как только $m_{\text{тек}}$ выйдет за пределы линии, содержащей $m_{\text{опт}}$, последнюю можно добавить в матрицу соответствий $\set{eq:C}$, после чего $m_{\text{тек}}$ будет считаться новой $m_{\text{опт}}$.

Полный алгоритм приведен на рис. 2. Обратите внимание, что особой обработки требуют случаи, когда текущая точка находится на нижнем или правом краю матрицы. В таких случаях вместо выбора между тремя альтернативными направлениями стоит лишь вопрос, нужно ли продолжать движение по последнему столбцу/строке дальше, или уже найдена точка с минимальной метрикой и выполнение алгоритма можно завершить. Если принимается решение о завершении работы алгоритма, то смещение по диагонали в каждом из случаев приведет к добавлению последней найденной оптимальной точки в таблицу соответствия и выходу из цикла.

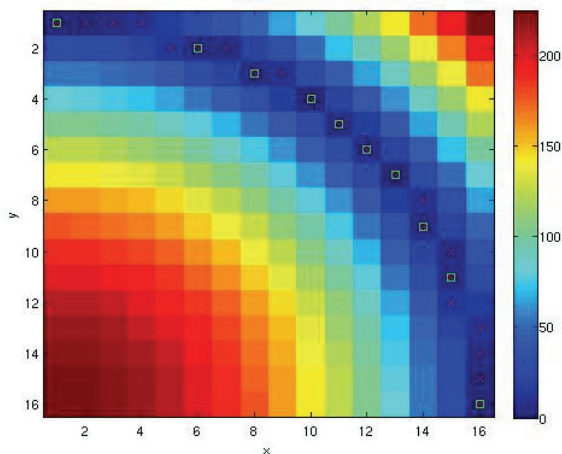


Рисунок 3 – Разностная матрица для множеств (17)

Проверка работоспособности предложенного метода

В качестве первого примера рассмотрим «родной» сценарий работы алгоритма Брезенхема. Сопоставляемые множества заданы выражением (17), при условии, что $R = 15$, $M = N = 16$.

На рис. 3, изображающем разностную матрицу, отмечен путь, проложенный алгоритмом, а также ячейки матрицы, соответствующие взаимно ближайшим парам элементов. Сами множества, а также связи, найденные алгоритмом показаны на рис. 4

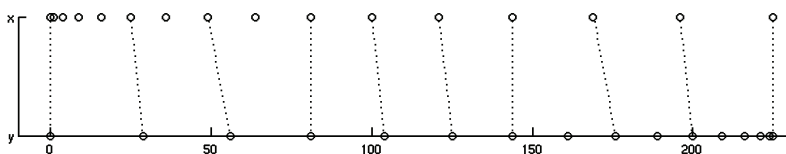


Рисунок 4 – Множества (17) и связи, найденные алгоритмом

На рис. 5 приведен результат работы алгоритма на примере прикладной задачи описанной во введении к данной статье. Обратите внимание, что алгоритм улавливает малые изменения в расстоянии между парами элементов, однако для одиноко стоящих элементов, хоть они находятся достаточно далеко друг от друга, алгоритм понимает, что они связаны, что является желаемым поведением.

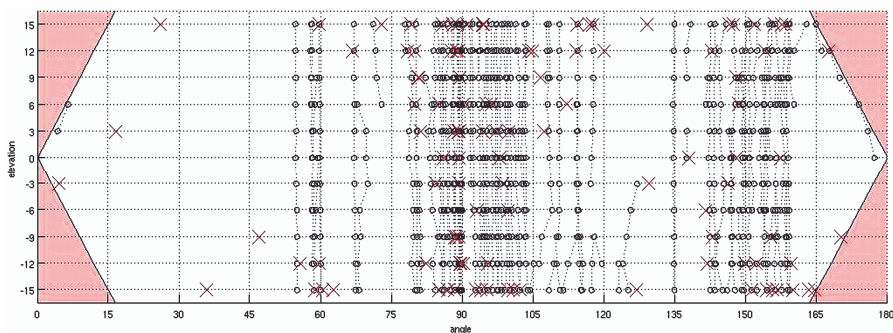


Рисунок 5 – Использование алгоритма в реальной прикладной задаче

Выводы. Разработан метод нахождения пар взаимно ближайших элементов числовых множеств. Произведена оптимизация разработанного метода по вычислительным затратам. Показано, что для случая сортированных векторов нет необходимости расчета всей разностной матрицы, достаточно лишь построить растровую аппроксимацию нуля разностной матрицы. Обоснован выбор алгоритма Брезенхема для построения растровой линии. Показано, что вычислительная сложность задачи уменьшается с $O(M*N)$ до $O(M+N)$. Проверена работоспособность разработанного метода как на ис-

кусственному примере, так и на прикладной задаче. Показана адекватность и устойчивость алгоритма.

Список литературы: 1. *Furtado A. L.. Generalized set comparison / A. L. Furtado // Newsletter ACM SIGPLAN Notices.* – 1984. – Vol. 19, no. 9. 2. Efficient algorithm to compare similarity between sets of numbers? – <http://stackoverflow.com/questions/1053821/efficientalgorithm-to-compare-similarity-between-sets-of-numbers>. 3. *Кормен Т.* Алгоритмы. Построение и анализ / *Т. Кормен.* – М.: МЦНМО, 2001. – 960 с. 4. *Роджерс Д.* Алгоритмические основы компьютерной графики : Пер. с англ. / *Д. Роджерс.* – М.: Мир, 1989. – 512с.

Поступила в редколлегию 19.09.2012

УДК 004.7+681.324

Применение алгоритмов растровой графики для сопоставления элементов числовых множеств / С. Ю. Скобликов // Вісник НТУ «ХП». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХП», 2012. – № 52 (958). – С. 161-168. – Бібліогр.: 4 назв.

У роботі запропоновано метод зіставлення елементів множин з використанням різницевої матриці, показано, що за деяких умов обчислення всієї різницевої матриці не є необхідним, натомість достатньо побудувати растрову лінію, що апроксимує мінімуми різницевої матриці. Запропоновано обчислювально-ефективний алгоритм зіставлення множин дійсних чисел на базі алгоритму Брезенхема для окружності. Показано працездатність та адекватність запропонованого метода. Іл.: 5. Бібліогр.: 4 назви.

Ключові слова: порівняння множин, растрова графіка, оптимізація обчислень.

A method for matching between elements of sets of reals is proposed, which involves the computation of a difference matrix. It has been shown that under certain circumstances the computation of the whole difference matrix is not necessary and the aim can be achieved by plotting on raster a line that approximates the minimum of the matrix. A computationally effective algorithm for inter-sets matching which is based on the Circle Bresenham Algorithm is proposed. The proposed method is shown to be operable and adequate. Figs: 5. Refs: 4 titles.

Key words: inter-set matching, raster graphics, algorithm optimization.

УДК 621.391

Ю. Г. СТЕПАНЕНКО, аспірант, УкрДАЗТ, Харків

АНАЛІЗ АНСАМБЛЕВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЕРЕСТАВНИХ СИГНАЛІВ

У статті проведено аналіз ансамблевих властивостей складних сигналів, отриманих шляхом перестановок часових інтервалів послідовностей коротких відеоімпульсів з низькою взаємною кореляцією.

Ключові слова: об'єм ансамблю сигналів, короткі відеоімпульси, взаємкореляційні властивості, переставні сигнали.

© Ю. Г. Степаненко, 2011

Постановка проблеми. Застосування складних сигналів з покращеними взаємкореляційними властивостями, отриманих на основі перестановок часових інтервалів кодових послідовностей коротких відеоімпульсів з низькою взаємною кореляцією в системах радіозв'язку множинного доступу дає можливість значно збільшити кількість ансамблів таких сигналів при низькому рівні завад множинного доступу за рахунок зменшення значень максимальних викидів бічних пелюстків функцій взаємної кореляції (ФВК) таких сигналів [1-3]. Застосування таких ансамблів дає можливість значно збільшити кількість абонентів подібних систем, що обслуговуються, [6]. Існує необхідність дослідження ансамблевих властивостей таких сигналів. Визначення обсягу ансамблів сигналів на основі перестановок часових інтервалів кодових послідовностей з низьким рівнем взаємної кореляції необхідно для подальшого застосування розроблених сигналів у системах радіозв'язку множинного доступу з кодовим розділенням каналів. Тому проведення аналізу ансамблевих властивостей сигналів на основі перестановок часових інтервалів кодових послідовностей з низьким рівнем максимальних викидів бічних пелюстків ФВК є актуальним.

Аналіз літератури. Ансамблеві властивості відомих сигналів для систем радіозв'язку з кодовим поділом каналів широко розглянуті в літературі [5, 6], однак для сигналів, побудованих на основі перестановок часових інтервалів кодових послідовностей з низьким рівнем максимальних викидів бічних пелюстків ФВК такий аналіз не здійснювався.

Мета статті. Метою статті є проведення аналізу об'єму ансамблю складних сигналів, отриманих шляхом перестановок часових інтервалів кодових послідовностей з низьким рівнем взаємної кореляції й розробка рекомендацій з їхнього використання в системах радіозв'язку з кодовим поділом каналів.

Основний матеріал. Для виконання умови мінімальної подоби двох сигналів однакової тривалості рівень максимальних викидів бічних пелюстків їх ФВК не повинен перевищувати значення [2, 3, 5, 6]

$$\max R \leq \frac{\alpha}{\sqrt{B}}, \quad (1)$$

де α – коефіцієнт, рівний 1,2...5; B – база, $B = \Delta F \cdot T$, ΔF – ширина спектра сигналу, T – тривалість сигналу.

Для послідовностей коротких імпульсів з фіксованою кількістю елементів мінімальна подоба визначається виразом [й]

$$\max R \leq \frac{1}{\sqrt{n_i n_j}}, \quad (2)$$

де $n_i n_j$ – кількість імпульсів у відповідних послідовностях, що порівнюються.

Цей вираз дійсний також для ансамблів сигналів отриманих за рахунок перестановок часових інтервалів кодових послідовностей з низьким рівнем

максимальних викидів бічних пелюстків функцій взаємної кореляції [2]. При цьому, кількість отриманих послідовностей буде збільшуватись пропорційно кількості переставних інтервалів.

Згідно [5], середнє значення обсягу великої системи сигналів L_{cp} , при якому обсяг значно більше бази сигналу буде визначатися як

$$L_{cp} \geq C(\alpha) \frac{n^{\alpha-1}}{[\ln(an)]^{3/2}}, \quad (3)$$

де $C(\alpha) = 3\pi^{1/2} a^{-\alpha} 2^{-2} \alpha^{3/2}$; n – кількість імпульсів у послідовностях; $a \approx 1,6$ [5].

Визначимо як k , кількість послідовностей у вихідному ансамблі із низьким рівнем взаємної кореляції, на основі якого формуються решта дочірніх ансамблів. p – кількість інтервалів, на які розбиваються послідовності. Тоді, кількість ансамблів, які можна сформувати за рахунок переставлень часових інтервалів, буде визначатися факторіалом кількості інтервалів, а саме $(p!-1)$. Таким чином, у найпростішому випадку кількість інтервалів розбиття буде: на першому кроці алгоритму, описаному в [3] $a = 2$, на другому кроці – $b = 3$, на третьому – $c = 4$, на четвертому – $d = 5$ і так далі.

Тому, можна зробити висновок, що сумарна кількість утворених послідовностей першого етапу із кожного наступного ансамблю буде визначатися виразом:

$$V = k + k(a!-1) + k(a!-1)(b!-1) + k(a!-1)(b!-1)(c!-1) + \\ + k(a!-1)(b!-1)(c!-1)(d!-1) + k \prod_{i=1}^p (p!-1), \quad (4)$$

де a, b, c, d – кількість часових інтервалів розбиття послідовностей; p – максимальна кількість інтервалів розбиття.

Можна зробити припущення, що максимальна кількість часових інтервалів, на які розбивається ансамбль послідовностей із низьким рівнем максимальних викидів бічних пелюстків функцій взаємної кореляції буде визначатися відношенням T/τ , тобто тривалості послідовності до тривалості імпульсу.

Було побудовано математичну модель ансамблів, утворених за рахунок перестановок часових інтервалів кодових послідовностей з низьким рівнем максимальних викидів бічних пелюстків ФВК. Аналіз ансамблевих властивостей отриманих ансамблів в залежності від кількості інтервалів розбиття наведено на рис. 1.

При цьому, кількість інтервалів, на які було розбито послідовності було обмежено десятьма.

З рис. 2, крім того, видно, що об'єм ансамблю перестановочних сигналів на основі послідовностей з малою взаємодією у часовій області задовольняє вимозі до великого ансамблю (2) і значною мірою перевищує значення обсягу ансамблю нелінійних послідовностей при інших рівних умовах. Крім того, з огляду на, що утворюючими послідовностями для одержання таких сигналів є нелінійні послідовності з досить великими об'ємами ансамблів, можна

затверджувати, що об'єм ансамблю сигналів, отриманих на основі перестановок часових інтервалів послідовностей з малою взаємодією у часовій області, буде перевищувати об'єм ансамблю нелінійних послідовностей в p разів. Те ж можна віднести й до синтезу ансамблів сигналів на основі послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією, використовуючи в якості утворюючі кодові послідовності інших типів, наприклад: М-Послідовності, послідовності Голда, Френка й інших.

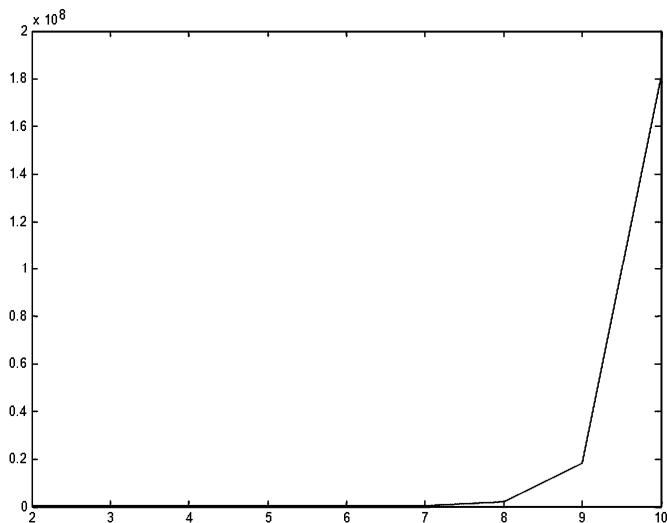


Рисунок 1 – Залежність кількості утворених послідовностей від числа інтервалів розбиття

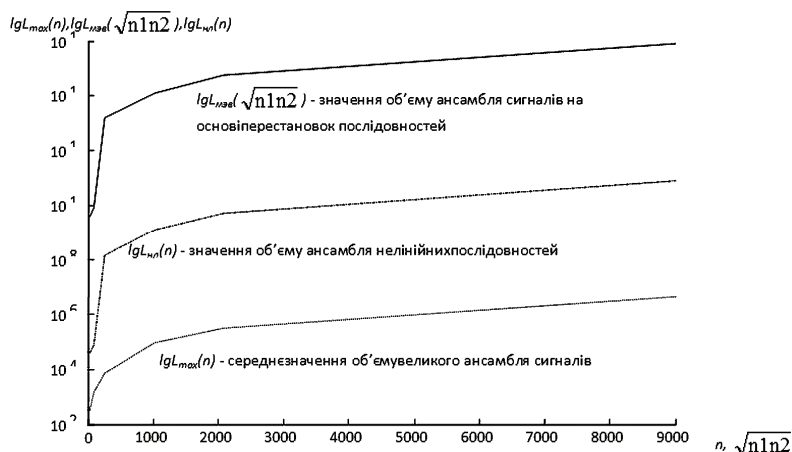


Рисунок 2 – Об'єм ансамблю сигналів при зміні кількості імпульсів у послідовностях

Поведений аналіз показує, що ансамблі сигналів, отриманих шляхом перестановок часових інтервалів послідовностей з низькою взаємодією у часовій області мають об'єм, що при інших рівних умовах відрізняється від вихідних послідовностей, тобто пропорційний кількості інтервалів розбиття послідовностей з низьким рівнем взаємної кореляції.

Це значить, що зменшення інтервалів розбиття послідовностей з низькою взаємодією у часовій області приведе до збільшення об'єму ансамблів сигналів при можливому незначному погіршенні взаємкореляційних характеристик сигналів.

Висновки.

Проведені дослідження ансамблевих властивостей послідовностей, отриманих шляхом перестановок часових інтервалів послідовностей з низьким рівнем взаємної кореляції показали, що вони мають значно більший об'єм ансамблю ніж існуючі складні сигнали, які застосовуються в системах радіозв'язку. Це дозволяє будувати системи радіозв'язку з кодовим розділенням каналів з низьким рівнем завад множинного доступу.

Список літератури: 1. *Степаненко Ю.Г., Лысечко В.П.* Метод визначення періоду проходження коротких відеоімпульсів в кодових послідовностях на основі апроксимації функції Хевісайда // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2009. – Вип. 4 (20). – С. 170-173. 2. *Степаненко Ю.Г.* Метод формування ансамблів складних сигналів шляхом перестановки часових інтервалів // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – К.: Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління. – 2010. – Вип. 4 (16). – С. 183-186. 3. *Степаненко Ю.Г., Лысечко В.П., Качуровський Г.* Метод наращивання об'єму ансамбля послідовностей коротких відеоімпульсов с низким уровнем взаимной корреляции. – Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – Х.: УкрДАЗТ. – 2010. – Вип. 116. – С. 100-106. 4. *Варакін Л.Е.* Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с. 5. *И.М. Пышкин* Теория кодового разделения сигналов. – М.: Связь, 1980. – 208 с. 6. *Петрович Н.Т., Размахнин М.К.* Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Советское радио, 1969. – 232 с.

Надійшла до редакції 18.10.2012

УДК 621.391

Аналіз ансамблевих властивостей переставних сигналів / Ю.Г. Степаненко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 168-172. – Бібліогр.: 6 назв.

У статті проведено аналіз ансамблевих властивостей складних сигналів, отриманих шляхом перестановок часових інтервалів послідовностей коротких відеоімпульсів з низькою взаємною кореляцією.

Ключові слова: об'єм ансамблю сигналів, короткі відеоімпульси, взаємкореляційні властивості, переставні сигнали.

The analysis of ensemble properties of the transposition signals received on the basis of code sequences with the minimal power interaction is executed.

Keywords: volume of ensemble of signals, short videopulses, correlationproperties, permutable signals.

Б. Н. СУДАКОВ, канд. техн. наук, профессор, НТУ «ХПИ»;

Н. А. ПАНТЕЛЕЕВА, магистр, НТУ «ХПИ»

МОДЕЛИ ФОРМАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

В статье рассматривается проблема правильного и наиболее полного представления знаний конкретной предметной области и способы ее решения. Для решения данной проблемы в области систем искусственного интеллекта используются четыре модели представления знаний. Статья предоставляет детальный обзор этих моделей, их достоинств и недостатков. Определена и обоснована необходимость использования нескольких моделей для более точной формализации и более полного представления предметной области.

Ключевые слова: предметная область, модели представления знаний, логическая модель, продукционная модель, семантические сети, фреймы.

Анализ литературы и постановка проблемы. Представление знаний в системах искусственного интеллекта (СИИ) – это не только фундаментальное понятие, но и решающий аспект их разработки. Выбор модели представления знаний (МПЗ) очень сложен ввиду их многообразия и размытости критериев выбора и важен, ибо он оказывает огромное влияние на любую часть СИИ и предопределяет их возможности (свойства и характеристики). Последствия неудачного решения проблемы представления знаний могут быть катастрофическими. Кроме того, используемый в СИИ формализм представления знаний определяет характер их получения и накопления, в результате которого создается база знаний (БЗ), ориентированная на определенную структуру представления, а не на сущность самих знаний. Выбор модели, не адекватной типам знаний, приводит к потере многих существенных деталей прикладной задачи и порождает тривиальный интеллект.

Проблемы представления знаний в компьютерных системах решаются на трех уровнях:

- техническом(физическом) – реализация сложных представлений знаний, требующая электронной вычислительной техники с чрезвычайно сложной функциональной архитектурой, обеспечивающей параллельные вычисления и гарантирующей протекание процесса представления знания в режиме реального времени, а также мощными запоминающими устройствами (представление администратора);

- программном (логическом) – создание программ, которые обеспечивают выполнение всех алгоритмов, необходимых для представления знаний (представление программиста);

- концептуальном – выработка концепций, моделей, образующих мето-

дологию искусственного интеллекта (представление аналитика).

Под представлением знаний подразумевают соглашение о том, как описывать реальную предметную область (ПО) – ее понятия и отношения. Иногда такое соглашение называют нотацией. Каждая модель знаний определяет форму представления знаний и является формализмом, призванным отобразить объекты, связи между ними и отношения, иерархию понятий ПО и изменение отношений между объектами.

Цель статьи. Рассмотреть и проанализировать модели представления знаний и научиться выбирать подходящую модель для представления конкретной предметной области.

Основная часть. Для решения проблемы представления знаний разработаны разнообразные модели представления знаний (МПЗ). В системах искусственного интеллекта используются в основном четыре типа МПЗ: логические, продукционные, семантические сети и фреймы.

Логические модели представляют знания в виде формул, которые состоят из констант, переменных, функций, предикатов, логических связей и кванторов. Каждая логическая формула дает частичное описание состояния предметной области.

Отношения, которые существуют между единицами знаний, можно описывать только с помощью синтаксических правил, допустимых в рамках этой теории.

Формальная система задается всегда четверкой символов

$$S = \langle B, F, A, R \rangle,$$

где B – конечное множество базовых символов, иначе – алфавит системы S ; F – подмножество выражений системы S , называемых формулами системы. Это множество синтаксических правил, позволяющих строить синтаксически правильные выражения из B ; A – выделенное множество правил, называемых аксиомами системы, то есть множество априорно истинных формул; R – конечное множество отношений $\{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ между формулами, называемыми правилами вывода и позволяющие расширять множество аксиом.

Среди реализаций логических моделей представления знаний различают системы дедуктивного типа (имеют фиксированную систему правил вывода) и индуктивного типа (правила вывода порождаются системой на основе конечного числа обучающих примеров).

В логических моделях синтаксис задается набором правил построения правильных синтаксических выражений, а семантика – набором правил преобразования выражений и разрешающей процедурой, позволяющей однозначным образом и за конечное число шагов определить, является ли данное выражение семантически правильным.

Преимуществами логических схем представления знаний являются: высокий уровень модульности знаний, лаконичность представления.

Однако им свойственны и недостатки: чрезмерный уровень формализа-

ции знаний; слабая наглядность, трудность прочтения логических формул и сложность их понимания; низкая производительность СИИ при обработке знаний и большая требуемая память; отсутствие выразительных средств для отражения особенностей ПО и структурирования знаний; громоздкость при описании больших объемов знаний; статичность логических методов.

Логические модели в силу присущих им недостатков самостоятельно применяются в СИИ крайне редко. Обычно они используются в сочетании с другими МПЗ.

К продукционным моделям относятся продукционные правила (продукции), задающиеся в виде выражений:

ЕСЛИ условие ТО действие;

ЕСЛИ причина ТО следствие;

ЕСЛИ ситуации ТО решение.

Суть этих выражений заключается в том, что если выполняется условие, то нужно произвести некоторое действие. Продукционные модели могут быть реализованы как процедурно, так и декларативно. В процедурных системах присутствуют три компонента: база данных, некоторое число продукционных правил, состоящих из условий и действий, а также интерпретатор, который последовательно определяет, какие продукции могут быть активированы в зависимости от содержащихся в них условий. В базе данных хранятся известные факты выбранной ПО.

Продукционные правила (продукции) содержат специфические знания предметной области о том, какие еще дополнительные факты могут быть учтены, есть ли специфические данные в базе данных. В системах искусственного интеллекта, построенных на использовании продукционных МПЗ, база данных представляет собой переменную часть, а правила и интерпретатор не изменяются. Благодаря свойству модульности, присущему продукционным МПЗ, можно добавлять и изменять знания (правила, факты). Поэтому продукционные МПЗ применяются в ПО, где нет четкой логики, и задачи решаются на основе независимых правил (эвристик). Правила продукции несут информацию о последовательности целенаправленных действий. Продукционные модели благодаря причинно-следственному характеру правил (продукций) хорошо отражают прагматическую составляющую знаний.

СИИ продукционного типа проявляют свои сильные стороны, если решается небольшая задача. При увеличении объема знаний эффективность СИИ падает.

Следующим шагом на пути выявления структуры, присущей знаниям, являются модели, в которых в явной форме выделяются все отношения, образующие эту структуру, с описанием их семантики.

Семантические сети основываются на результатах изучения организации долговременной памяти человека. Характерной особенностью для семантических сетей является то, что они для образования своей структуры используют два компонента – понятия и отношения. Вершинам сети соответ-

ствуют понятия (объекты, события, процессы, явления), а дугам, их соединяющим, – отношения между понятиями.

В зависимости от структуры узлов и характера отношений между ними различают следующие сети: простые, иерархические, однородные и неоднородные. Последние делятся на функциональные сети, сценарии и семантические сети.

В семантических сетях знания представлены в терминах естественного языка и отношений между ними (элемент – класс; класс – подкласс; функциональные дуги).

Основные характеристики семантических сетей:

- объекты описываются на естественном языке;
- все знания накапливаются в относительно однородной структуре памяти;
- на сетях определяются унифицированные отношения между объектами, которым соответствуют унифицированные методы вывода;
- методы вывода в соответствии с запросами определяют участки семантического знания, имеющего отношение к поставленной задаче, формулируя акт понимания запроса и некоторую цепь выводов, соответствующих решению задачи.

Семантические сети обладают следующими признаками: повышенной гибкостью за счет наличия свойств ассоциативности и иерархичности; гармоничным и естественным сочетанием декларативного и процедурного, синтаксического и семантического знания; наглядностью отображения объектов, связей, отношений в силу присущей им возможности графической нотации; легкой читаемостью и понимаемостью знаний; высокой степенью структуризации знаний.

Среди недостатков сетевого представления выделяют: сложность и трудность разработки алгоритмов и их анализа ввиду нерегулярности структуры и большого количества дуг, несущих синтаксическую информацию; пассивность структуры сети, для обработки которой необходим сложный аппарат формального вывода и планирования; разнообразие типов вершин и связей, произвольность структуры, требующей большого разнообразия процедур обработки; трудность представления и обработки неточных и противоречивых знаний.

В связи с указанными недостатками предприняты попытки усовершенствования семантических сетей, которые в основном нацелены на организацию процессов обобщения в сети, решение проблемы поиска и повышения их изобразительных возможностей.

Большая часть нашей повседневной деятельности относится к стереотипным ситуациям (путь на работу, еда, покупки и т.д.). Стереотипные ситуации имеют место в процессе функционирования сложных объектов, в том числе и производственных. Для представления и описания стереотипных объектов, событий или ситуаций были введены понятия "фреймы", которые

являются сложными структурами данных.

Структура фрейма имеет вид:

$$\{FN, (SN, SV, CP), \dots, (SN, SV, CP)\},$$

где FN – имя фрейма; SN – имя слота; SV – значение слота; CP – имя присоединенной процедуры (необязательный параметр).

Слоты – это некоторые структурные элементы фрейма, заполнение которых приводит к тому, что фрейм ставится в соответствие некоторой ситуации, явлению, объекту или процессу. В качестве слота может быть указано имя другого фрейма. Значениями слота могут быть конкретные данные, процедуры и даже продукция. Слот может быть пустым (незаполненным).

Из всех ранее рассмотренных МПЗ только фреймам свойственны высокая структурируемость, внутренняя интерпретируемость посредством имен и значений и связность слотов и их значений. Кроме того, фреймы обладают высокой наглядностью и модульностью, объединяют достоинства декларативного и процедурного представления знаний. Однако фреймы наиболее эффективны при обработке семантической составляющей знаний. У фреймов, как и у семантических сетей, отсутствуют универсальные процедуры их обработки, что приводит к неэффективному использованию ресурсов вычислительной техники (памяти и быстродействия).

Выводы. Общими слабыми сторонами моделей представления знаний являются ограниченные выразительные возможности для описания экспертных знаний, невозможность описания знаний сложной структуры, недостаточная эффективность нотации (вычислительная эффективность).

Одной из попыток расширения возможностей СИИ является использование сочетания различных МПЗ: фреймов и продукций (продукционные правила в слотах фрейма являются формой присоединения к фрейму процедурных знаний); семантических сетей и логических моделей; семантических сетей и продукций. Однако простое объединение в одной базе знаний нескольких МПЗ, получивших название комбинированных или смешанных, как правило, малоэффективно. Различные МПЗ не обязательно несовместимы друг с другом, однако они отличаются по степени соответствия конкретным внутренним представлениям эксперта.

Список литературы: 1. Омар А.Х. Авалада, Першин А.В., Судаков Б.Н. О формализованной модели языка для взаимодействия пользователей с экспертной системой // Матеріали Міжнародно-науково-практичної конференції «Динаміка наукових досліджень». – Т. 1. – Дніпропетровськ: Наука і освіта. – 2002. 2. Анно Е.И. О выборе формальной модели для представления синтаксической структуры текстов на естественном языке // НТИ, сер. 2. – М.: Наука, 1980. 3. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2000. 4. Методы алгоритмизации и реализации решения интеллектуальных задач: Сб. науч. тр./ АН СССР, науч. Совет по проблемам «Кибернетика». Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова. – К.: ИК, 1986. 5. Методы и системы принятия решений. Системы, основанные на знаниях: Сб. науч. тр. – Рига: РПИ, 1989.

Поступила в редколлегию 08.10.2012

Модели формального представления предметной области для экспертных систем / Б. Н. Судаков, Н. А. Пантелеева // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 173-178. – Бібліогр.: 5 назв.

У статті розглядається проблема правильного і найбільш повного представлення знань конкретної предметної галузі й способи її вирішення. Для вирішення даної проблеми в галузі систем штучного інтелекту використовуються чотири моделі представлення знань. Стаття надає детальний огляд цих моделей, їх переваг та недоліків. Виявлена і обґрунтована необхідність спільного використання декількох моделей для більш точної формалізації та більш повного уявлення предметної галузі.

Ключові слова: предметна галузь, моделі представлення знань, логічна модель, продукційна модель, семантичні мережі, фрейми.

The paper under discussion covers the problem of correct and full presentation of the knowledge in a particular area. The approach to the problem is based on usage of models of knowledge representation. There are four models of knowledge representation used in artificial intelligence systems. The aim of the article is the introduction of these models and presentation of their drawbacks and benefits. After a closer investigation of the problem the following conclusion was made – in order to fully represent the area of knowledge it is required to use models of knowledge representation in complex.

Key words: particular area, models of knowledge representation, logical model, production model, semantic web, frames.

Б. Н. СУДАКОВ, канд. техн. наук, професор, НТУ «ХПІ»;
А. А. ШМАКОВА, магістр, НТУ «ХПІ»

СИНТЕЗ СВЯЗНОГО ЕСТЕСТВЕННО-ЯЗЫКОВОГО ТЕКСТА В ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМАХ

В статье рассматривается проблема наиболее понятного пользователю синтеза естественно-языкового текста применительно к конкретной предметной области и способы ее решения. Для решения данной проблемы в области систем искусственного интеллекта используется несколько компонент синтеза. Статья описывает все компоненты синтеза и возникающие при этом трудности. Определена необходимость использования тех или иных компонент синтеза при генерации ЕЯ связанных текстов.

Ключевые слова: синтез ЕЯ текста, морфологический синтез, синтаксический синтез, формальные грамматики, семантический синтез.

Введение. Синтез связного естественно-языкового(ЕЯ) текста является общим направлением искусственного интеллекта и математической лингвистики. В части искусственного интеллекта это означает генерацию грамотного понятного пользователю текста. Решение этой проблемы будет означать соз-

дание более удобной формы взаимодействия компьютера и человека.

Анализ последних исследований и литературы. Чтоб полностью взаимодействовать с человеком, экспертная система должна быть полноправным участником диалога. Для этого ей необходимо обладать следующими функциями:

- ведение диалога
- понимание высказывания
- обработка высказываний(анализ)
- генерация текста(синтез)

Компонента синтеза текста на ЕЯ решает в соответствии с результатами, полученными остальными компонентами системы, две основные задачи: генерация смысла, т.е. определение смысла выходного высказывания системы понятном машине, и синтез высказывания, т.е. преобразование смысла в высказывание на естественном языке.

Первая задача является сложной, т.к. тип высказывания зависит от состояния системы и результатов, полученных предыдущими компонентами. Не всегда система может сгенерировать точный ответ. Также при решении задачи формирования смысла выходного высказывания необходимо учитывать прагматический аспект, то есть цели участников общения. Однако в большинстве существующих систем данная задача решается с помощью достаточно простых подходов.

В промышленных системах общения генерация смысла обычно заключается в редактировании значений атрибутов или выборе шаблона ответа. В экспериментальных системах для выражения смысла генерируется полное семантическое представление, включающее одно или несколько связанных событий (понятий) с одним или несколькими исполнителями на каждую роль.

Вторая задача компоненты синтеза текста состоит в синтезе естественно-языкового выражения, на основе внутреннего представления выходного высказывания. Данная задача подразделяется на этапы семантического, синтаксического и морфологического синтеза. Сложность задачи синтеза определяется требованиями к естественности и выразительной мощности выходных высказываний. В данном случае естественность – это степень близости к естественному языку, то есть наличие таких свойств, как синонимия и омонимия слов и словосочетаний, свободный порядок слов и др. Под выразительной мощностью понимается возможность выразить разнообразные понятия, отношения, кванторы, процедуры и т. п. Естественность и выразительность выходных высказываний в существующих системах могут быть различными. Например, высказывания могут фактически не синтезироваться, а выбираться из заранее подготовленного списка, либо имеется шаблон ответа, в который подставляются некоторые слова, представляющие собой значения искомым атрибутов, при этом может использоваться морфологический синтез. Большая естественность достигается, если выходное высказывание формируется из семантического представления события (или понятия) с применением морфологии, синтаксиса(для определения порядка

и формы слов) и семантики(для выбора лексем.

Цель статьи. Рассмотреть и проанализировать компоненты синтеза ЕЯ текста и определить состав системы синтеза для представления конкретной предметной области.

Постановка задачи. Процесс синтеза состоит из определения информации, которая должна быть сообщена пользователю, выделение из общего множества высказываний, интересующих пользователя, разбиение информации на части, соответствующие будущим предложениям, и установление последовательности этих частей, определение лексем и установление последовательности этих частей. За этим решаются задачи связанные с построением синтаксической структуры отдельных предложений и приписыванию вершинам структур морфологической информации.

Основная часть. Для решения проблемы синтеза естественно-языкового текста разработано множество систем. ЕЯ системы базируются на использовании морфологической компоненты, некоторые из них так или иначе используют и синтаксическую компоненту. Наиболее развитые и сложные ЕЯ-системы имеют в своем составе также семантическую и прагматическую компоненты и анализируют не только отдельные предложения, но и входной текст в целом.

Целью семантического синтеза является построение модели сюжета, описанного текстом.

Семантический синтез использует результаты семантического анализа, который выполняет поиск понятий, соответствующих словам, поиск объектов сюжета, построения временной диаграммы.

Для работы семантической компоненты, необходимо создать семантический язык и толково-комбинаторный словарь (ТКС). Под семантическим языком понимается

а) семантический словарь, в который входит словарь элементарных семантических единиц – сем (имен предметов и предикатов), словарь промежуточных семантических единиц и словарь символов, характеризующих коммуникативную организацию смысла: тема – рема, старое – новое, выделено – не выделено и т.п.;

б) правила образования, по которым из семантического словаря могут строиться семантические представления высказываний и которые касаются только формальной правильности семантических представлений;

в) правила преобразования, которые задают синонимичность двух семантических представлений.

Кроме того, для использования семантического языка необходимо иметь набор семантических аксиом и набор правил семантической «комбинаторики» – правил расчленения/сочленения семантических представлений при переходе от смысла к тексту и наоборот.

Также словарь должен иметь набор разных значений для одной словес-

ной единицы.

Целью морфологического синтеза является установление морфемного состава слова, а также морфологических принципов, используемых в задачах синтаксического и семантического синтеза.

На вход программы морфологического синтеза поступают лексема в начальной форме и значения свободных грамматических переменных, соответствующих запрашиваемой словоформе данной лексемы или запрос на синтез всех форм заданной лексемы.

Результатом работы программы морфологического синтеза является либо словоформа с запрашиваемыми грамматическими характеристиками, либо все формы заданной лексемы. Морфологический синтез также может оказаться неоднозначным в случае вариативности флексии в какой-либо форме слова или при морфологической омонимии.

Роль синтаксического синтеза заключается в построении простых предложений в определенных границах, описывающих процесс, участников процесса.

Построить синтаксический синтезатор ЕЯ значительно сложнее, чем морфологический по ряду причин: нет достаточно четкой и формальной лингвистической литературы, описывающий какой-либо ЕЯ, грамматика естественного языка принципиально недетерминирована и неоднозначна, синтаксис ЕЯ весьма разнообразен, сложен и произволен (особенно в разговорной речи и в поэзии). Трудными для автоматической обработки являются такие вполне допустимые в ЕЯ явления, как эллипсис (пропуск обязательных фрагментов предложения в силу возможности их восстановления из предыдущего контекста), парцелляция (разбиение одного грамматического предложения на несколько предложений для усиления акцента на некоторые его фрагменты).

В синтаксическом синтезе используются два вида систем – модульные и интегральные. В системах модульного типа синтаксическая и семантическая компонента разбиты на разные блоки. В системах интегрального типа два этих компонента слиты воедино, поэтому системы интегрального типа работают только в узкой предметной области. Поэтому наиболее эффективными на сегодняшний день являются системы модульного типа, которые направлены на глубокое понимание синтезируемого текста.

Но у модульной системы тоже есть недостатки, например, в вопросе о том, насколько развитым и «семантизированным» должен быть синтаксический этап анализа: это находит отражение в разной степени дифференцированности синтаксических отношений, в разной глубине интерпретации синтаксических отношений, а также в широте привлечения семантической информации при построении синтаксической структуры входного предложения.

Синтаксическая структура предложения может быть представлена в нескольких видах – дерево зависимостей, структуры непосредственных составляющих, ориентированные структуры непосредственно составляющих.

Деревья зависимостей – предложение может быть представлено как ли-

нейно упорядоченное множество элементов (словоформ), на котором можно задать ориентированное дерево (узлы – элементы множества).

Каждая дуга, связывающая пару узлов, интерпретируется как подчинительная связь между двумя элементами, направление которой соответствует направлению данной дуги.

Структуры непосредственно составляющих (НС-структуры) — множество отрезков предложения, называемых *составляющими*, которое удовлетворяют следующим условиям:

- в качестве элементов множества отрезков предложения присутствуют само предложение и все его отдельные словоформы;
- в одну составляющую объединяются отрезки непосредственно синтаксически связанные между собой;
- любые две составляющие либо не пересекаются, либо одна из них содержится в другой.

НС-структуры дают возможность выделить в предложении не только отдельные слова, но и некоторые словокомплексы, функционирующие как единое целое. Такие структуры описывают неподчинительные отношения.

Ориентированные структуры непосредственно составляющих (ОНС-структуры) – это структура составляющих, где для каждой неоднородной составляющей определена одна из ее НС в качестве главной (неглавные зависят от главной).

Всякая ОНС-структура имеет свойство определять соответствующее ей дерево зависимостей или НС-структуру (обратное неверно).

ОНС-структуры имеют недостаток, такой же как и деревья зависимостей – неспособность адекватно описывать неподчинительные связи.

Описание синтаксиса ЕЯ может быть описано следующими формальными грамматиками:

Грамматика зависимостей (G_D) (1)

$$G_D = \langle V_T, V_N, V_S, R_T, R_N \rangle, \quad (1)$$

где V_T – алфавит терминальных символов; V_N – алфавит нетерминальных символов – классов терминалов, V_S – множество корневых классов, $V_S \in V_N$; R_T – множество правил классификации вида $A \rightarrow a$ (терминал a принадлежит классу A); R_N – множество правил кустов вида $A(B_1 \ B_k * B_{k+1} \ B_n)$ или $A(*)$, которые для каждого класса A задают его систему управлений (классами B_j), выраженную в терминах классов, с указанием их линейного порядка относительно корня куста и друг друга.

Язык, порождаемый грамматикой зависимостей, – это множество терминальных цепочек $a_1 \dots a_n$, где каждый символ a_i можно отнести к определенному классу A_i , и для любого A_i в грамматике существует соответствующее правило куста $r \in R_N$.

Контекстно-свободные грамматики (G_{CF})

Вывод каждой цепочки в G_{CF} можно изобразить в виде дерева. Множество поддеревьев дерева соответствует множеству непосредственно состав-

ляющих порождаемой цепочки.

Метка корня дерева – название полной составляющей предложения, а метки узлов-сыновей – имена соответствующих непосредственно составляющих.

Ориентированные контекстно-свободные грамматики ($\langle G_{CF}, \Delta \rangle$).

Δ -ориентировка грамматики G_{CF} , которая вводится следующим образом: из множества правил R выделяется подмножество R^1 , в которое входят все правила вида $A \rightarrow \alpha_1 \dots \alpha_n$ при $n \geq 1$; $\alpha_1, \dots, \alpha_n \in V_G$.

Для каждого из этих правил в цепочке $\alpha_1 \dots \alpha_n$ маркируется одно из вхождений α_k в качестве главного (например, сверху *). Выделенный элемент может быть как терминальным, так и нетерминальным.

Синтаксическая база данных должна содержать:

- формальное описание грамматики некоторого фиксированного подмножества выбранного ЕЯ;

- описание синтаксических характеристик отдельных лексем или словосочетаний выбранного подмножества ЕЯ (синтаксический класс, синтаксический подкласс, переходность...); все учитываемые синтаксические характеристики могут содержаться в используемой для целей синтаксического анализа морфологической базе данных, в этом случае необходимо иметь программные средства, позволяющие извлекать их оттуда;

- описание моделей управления лексем выбранного подмножества ЕЯ (при соответствующем выборе метода синтаксического анализа).

Прагматическая компонента системы синтеза определяет отношение человека к тексту, цели высказывания. Факт, передаваемый предложением является пресуппозицией в прагматическом смысле, если говорящий считает ее истинность само собой разумеющейся и исходит из того, что другие участники контекста считают также. Набор пресуппозиций человека определяется на основании тех утверждений, которые он делает, вопросов, которые он задает. Пресуппозиции — это пропозиции, неявно подразумеваемые еще до начала передачи речевой информации. Пресуппозиции, естественно, не обязаны быть истинными.

Выводы. Основной проблемой синтеза ЕЯ является то, что в разных предметных областях одно выражение будет иметь разный смысл. А также в ЕЯ часто используются устоявшиеся словоформы и фразеологизмы, которые трудно синтезировать по заданным правилам.

Для разрешения этой трудности используется сочетание нескольких компонент синтеза, которые отвечают за составление предложения, общего текста в целом и определение смысла этого текста. Таким образом выбирают разные компоненты системы и используемые ими методы, которые лучше всего подходят под синтез текста для определенной экспертной системой.

Список литературы: 1. Бондаренко М. Ф., Коноплянко З.Д., Четвериков Г.Г. Основы синтеза над швиколюбных структур мовних систем штучного інтелекту. 2. Виноград Т. Программа, пони-

мающая естественный язык. – М.: Мир, 1976. – 294 с. **3. Гладкий А. В.** Формальные грамматики и языки. – М.: Наука, 1973. – 368 с. **4. Нелюбин Л. Л.** Компьютерная лингвистика и машинный перевод : Метод. пособие. – М.: ВЦП, 1991. – 151 с. **5. Судаков Б.Н., Омар А.Х. Авадала.** Синтез естественно-языковых сообщений при общении пользователя с экспертной системой // Труды II Междунар. науч.-техн. конф. «Электронные информационные ресурсы: проблемы формирования, хранения, обработки, распространения, защиты и использования». – К.: УКРИНТЕИ. – 2001. – С. 14-15.

Поступила в редколлегию 09.10.2012

УДК 004.048

Синтез связного естественно-языкового текста в экспертных системах / Б. Н. Судаков, А. А. Шмакова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 178-184. – Бібліогр.: 5 назв.

У статті розглядається проблема правильного і найбільш зрозумілого користувачеві синтезу природно-мовного тексту стосовно конкретної предметної області й способи її вирішення. Для вирішення даної проблеми в області систем штучного інтелекту використовується декілька компонент синтезу. Стаття описує всі компоненти синтезу і виникаючі при цьому труднощі. Визначено необхідність використання тих чи інших компонент синтезу при генерації ЕЯ зв'язкових текстів.

Ключові слова: синтез ЕЯ тексту, морфологічний синтез, синтаксичний синтез, формальні граматики, семантичний синтез.

The paper under discussion covers the problem of the correct and most user friendly synthesis of natural language text in relation particular domain and how to resolve it. To solve this problem in the field of artificial intelligence used by multiple components of synthesis. The article describes the synthesis of all the components and the concomitant difficulties. The necessity of using some komopnent synthesis for the generation of NL coherent text.

Key words: Synthesis of NL text, morphological synthesis, syntactic synthesis, formal grammar, semantic synthesis.

УДК 004.048

Б. Н. СУДАКОВ, канд. техн. наук, професор, НТУ «ХПІ»;
М. Ю. ЯРМАК, магістр, НТУ «ХПІ»

ФОРМАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СЕМАНТИКИ ЕСТЕСТВЕННО-ЯЗЫКОВЫХ ТЕКСТОВ В ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМАХ

В статье рассматривается проблема семантики в естественно-языковых текстах и проблемы с ее формальным представлением. Статья предоставляет обзор моделей, описывающих семантику естественно-языковых текстов. Определена и обоснована необходимость создания новых моделей внутреннего языка с использованием аппарата формальных грамматик. Предложено расширение моделей формальной грамматики Хомского семантическими продукционными правилами.

© Б. Н. Судаков, М. Ю. Ярмак, 2012

Ключевые слова: семантика, экспертные системы, внутренний язык, формальная грамматика, модель «СМЫСЛ - ТЕКСТ», модель языка.

Анализ последних исследований и литературы. Автоматизация процессов принятия решений (ПР) в различных областях человеческой деятельности на основе развития новых информационных технологий находит в настоящее время широкое применение. Анализ применения интеллектуальных систем (ИС) различного типа показал, что эффективность от их использования в современных условиях зависит от многих системотехнических факторов: возможности описания логико-лингвистических задач и накопления опыта, наличия механизмов логического вывода и естественно-языкового интерфейса (ЕЯИ), удобства пользования, полноты базы знаний и достоверности результатов и др.

Одним из элементов экспертных систем (ЭС) для ПР является подсистема взаимодействия с пользователем. Основу взаимодействия составляют языковые средства, поскольку только с помощью языка (формального или естественного) можно достичь определенных целей в процессе общения коммуникантов.

К настоящему времени вызывают значительные трудности вопросы формализации семантики и прагматики естественного языка (ЕЯ). К тому же возникает вопрос о размытости границ семантики и прагматики, что еще больше усложняет процесс формализации ЕЯ. Выходом из создавшегося положения является как ограничение ЕЯ рамками предметной области, так и наложение ограничений по структуре предложений.

Также, среди всех существующих моделей языков взаимодействия выделяются модели семантической ориентации, которые предлагают осуществлять процесс трансляции под управлением семантики, а синтаксический компонент привлекать лишь в случае появления неоднозначностей.

Цель статьи. Рассмотреть и проанализировать модели семантической ориентации и построить модель внутреннего языка с использованием аппарата формальных грамматик.

Основная часть. Существует 3 модели языков взаимодействия:

1) Элементарные теоретико-множественные модели, в которых текст представляется как неупорядоченное множество лексических единиц

2) Модели синтаксической ориентации. Характеризуются тем, что в них проводится сложный синтаксический анализ, базирующийся на какой-либо формальной модели описания синтаксиса языка.

3) Модели семантической ориентации предлагают осуществлять процесс трансляции под управлением семантики, а синтаксический компонент привлекать лишь в случае появления неоднозначностей.

Подробно проанализируем интересующую нас модель семантической ориентации.

Одной из первых моделей, отражающих состояние лексической семан-

тики, являлась модель компонентного анализа. Данная модель основана на том, что семантика языков адекватно выражена в виде конечного неструктурированного набора семантических множителей (атомов смысла), разбивающих слова на разные семантические группы. Значение каждого слова представляется как множество атомов смысла, которые затем объединяются в смысловые словосочетания. Использование данной модели требует применения чрезвычайно чувствительных дифференцированных признаков. Еще большие трудности возникают при попытке выразить смысл целого предложения. Отмеченные недостатки не означают, что компонентный анализ надо полностью отвергнуть. Возможно, он имеет право на ограниченное использование, например, при выделении атомов смысла. Однако этот подход не решает все проблемы семантики.

Придерживаясь основной идеи компонентного анализа и аргументной структуры предиката, Филмор предлагает указывать не только число аргументов, но и описывать их семантическое содержание. Данная модель получила название модели семантических падежей. Она имеет много общего с используемым в отечественной литературе понятием «модель управления» (МУ). МУ является описанием семантико-синтаксических свойств слова. Имея дополнительные возможности по выявлению атомов смысла, данная модель не является завершенной и не позволяет описывать всю семантическую структуру фразы, но в то же время используется в более сложных моделях, таких как СМЫСЛ-ТЕКСТ.

Типичными представителями моделей СМЫСЛ-ТЕКСТ являются модели концептуальных зависимостей, семантик предпочтения и непосредственно модель «СМЫСЛ-ТЕКСТ» (Жолковского). Модели СМЫСЛ-ТЕКСТ различаются между собой прежде всего тем, как представляется семантика языка. Основой модели концептуальных зависимостей является квазиграф: кроме бинарных отношений в нем есть тернарные (типа X переходит от Y к Z) и кватернарные (типа «состояние X изменилось с Z_1 на Z_2 по параметру Y »), дуги квазиграфа (в отличие от графа) связывают не только вершины, но и другие дуги.

Модель семантик предпочтения для выражения сущностей выделяет: семантические формулы – для выражения смысла слова; «образец» для представления сообщения; правила следования – для выражения правил семантической совместимости. Описанная структура представляет собой заключенные в скобки семантические элементы.

Модель «СМЫСЛ-ТЕКСТ» (Жолковского) для представления смысла использует два компонента: семантический граф и сведения о коммуникативной организации смысла. Семантический граф – это связный ориентированный граф. Вершины графа помечены атомами смысла, дуги изображают связь предиката с его аргументами. Всем моделям СМЫСЛ-ТЕКСТ присущ ряд недостатков.

Ситуации рассматриваются на одном уровне детальности, а это не по-

звolyет описывать сложные события через более простые термины. Для систем реальной степени сложности необходимо варьировать уровень детальности в зависимости от решаемых задач.

Модели СМЫСЛ-ТЕКСТ по своей сущности являются моделью языка, что приводит к нечеткому выделению языковых средств для описания ПО. В таких моделях информация об окружающем мире сводится только к словам языка, а не к событиям и процессам, имеющим место при моделировании предметной области.

Большинство моделей СМЫСЛ-ТЕКСТ ориентированы только на анализ языка, а те модели, которые используют синтез (например, система ПО-ЭТ) очень громоздки, так как процедуры анализа и синтеза независимы друг от друга, что значительно усложняет модели.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сформулировать вывод, что для построения модели внутреннего языка наиболее целесообразно использовать аппарат формальных грамматик, по возможности расширив их правилами, позволяющими учитывать семантику предметной области.

Для представления в ЭВМ формул исчисления необходима формальная модель внутренне-языковой (ВЯ) системы. Под моделью языка (МЯ) понимается следующая система

$$МЯ < C, P, A >, \quad (1)$$

где C – множество базовых элементов языка или словарь; P – множество правил, позволяющих из C строить синтаксически правильные конструкции языка; A – множество априорно- истинных конструкций, называемых аксиомами.

Рассмотрим структуру словаря. Исходя из того, что основными единицами языка, которые необходимы для построения более сложных конструкций, являются словоформы профессионального языка пользователей, каждый элемент C можно охарактеризовать следующей информацией

$$S_i (tS_i, sint_i, sem_i), \quad (2)$$

где S – i -я словоформа словаря C ; $sint$ – синтаксическая информация, характеризующая S_i ; sem – совокупность семантической информации, которая может быть приписана S_i (признак, характеристика, класс и т.д.) в зависимости от классификации объектов; tS_i – тип словоформы, относящий S_i к терминальным T либо нетерминальным N символам словаря.

Таким образом, словарь разбивается на два непересекающихся множества V_N и V_m ($V_N \cap V_m = \emptyset$), а $C = V_N \cup V_m$. В соответствии с теорией формальных грамматик из символов C строятся цепочки типа $S_1 S_2 S_3 \dots S_n$, которые считаются ориентированными слева направо. Если цепочка является пустой (не содержит ни одного символа), то она обозначается через $C^0 = A$.

Нетрудно показать, что множество всех возможных цепочек (его еще называют замыканием C) алфавита определяется как

$$C^* = U_{n=0}^{\infty} C^n. \quad (3)$$

Для удобства определим также множество непустых цепочек над C следующим образом

$$C^+ = C^* \setminus \{\Lambda\} = U_{n=1}^{\infty} C^n. \quad (4)$$

Основная операция, осуществляемая над строками, называется конкатенацией. Формально она может быть определена как бинарная операция $\bullet$ на C^* следующим образом: $\bullet : (\alpha, \beta) \rightarrow \alpha\beta$, где α и β – произвольные цепочки. Необходимо заметить, что по отношению к операции $\bullet$ C^* является моноидом, а C^+ – полугруппа. Любое множество цепочек $L \in C$ называется формальным языком и описывается с помощью ФГ $G(L)$, основы которых были заложены Хомским. В соответствии с изложенным ФГ для описания всех структур объектов может быть задана в следующем виде

$$G(L) = (V_T, V_N, P, A). \quad (5)$$

В исследованиях по методам анализа цепочек языка предполагают две стратегии грамматического разбора: нисходящая и восходящая.

Работа нисходящего распознавателя теоретически основывается на идее использования порождающей грамматики при генерации всех возможных цепочек языка, пока не будет порождена цепочка соответствующая входной. Для этого необходимо предусмотреть проверку альтернатив и способов возврата из тупиков. Такая ситуация возникает, когда имеются продукции с одинаковыми левыми частями вида $A \rightarrow \alpha, A \rightarrow \beta$, где $A \in V_N$.

Стратегия восходящего разбора состоит в том, что во входной цепочке ищутся одинаковые правые части продукции с одинаковыми левыми частями. Процесс повторяется до тех пор, пока не получится начальный символ грамматики. Основной проблемой восходящего разбора является проблема выбора альтернатив, такая ситуация возникает, когда есть продукции с одинаковыми правыми частями вида $A \rightarrow \alpha, B \rightarrow \beta$, где $A, B \in V_N$.

Исходя из этого выходит, что грамматики Хомского не учитывают семантику и поэтому бывает трудно выйти из тупиковых ситуаций при разборе входного сообщения. Поэтому предлагается использовать расширение моделей Хомского, в которых учитывать семантические признаки *sem*, применяя семантические продукционные правила (СПП) вида

$$S_k(sem_k), P_z \rightarrow S_j(sem_j), P_m. \quad (6)$$

Данное СПП означает, что если S_k с соответствующим семантическим признаком присутствует в правиле переписывания с номером z , то в правиле с номером m должна присутствовать словоформа с семантическим признаком sem_j . Это позволяет осуществлять проверку на семантическую корректность цепочек внутреннего языка. Чтобы осуществлять выбор альтернатив продукционное правило (6) интерпретируется следующим образом. Если S_k с соответствующим семантическим признаком присутствует в правиле переписывания с номером z , то при разборе входной цепочки языка выбирается правило с номером m и те S_j , которые имеют семантический признак sem_j .

С учетом изложенного ФГ будет иметь следующий вид:

$$G(L) = (V_T, V_N, P, SP, A), \quad (7)$$

где SP – семантические правила, а V_m, V_N – терминальный и нетерминальный словари соответственно.

Среди единиц терминального словаря можно выделить элементы, которые являются объектами определенных категорий рассматриваемой предметной области. Это согласуется с представлением ПО у человека, когда он во внешнем мире вычленяет конечный набор объектов и отображений. Отображения (отношения) связывают между собой объекты внешнего мира. Таким образом, словоформам терминального словаря может быть приписана семантическая информация в соответствии со структурой предметной области.

Необходимо заметить, что заполнение некоторых элементов формул возлагается полностью на пользователей. Это требует дополнительных знаний о семантике предметной области. Например, если объект выполняет роль «являться признаком времени» или «признаком пространства», то в качестве значения признака должны стоять словоформы, характеризующие время или пространство. Это можно учесть с помощью все тех же семантических правил.

Выводы. Использование модели компонентного анализа требует применения чрезвычайно чувствительных дифференцированных признаков. Еще большие трудности возникают при попытке выразить смысл целого предложения. Таким образом, его использование достаточно ограничено.

Это дало толчок к разработке модели семантических падежей. Имея дополнительные возможности по выявлению атомов смысла, данная модель не является завершенной и не позволяет описывать всю семантическую структуру фразы, но в то же время используется в более сложных моделях, таких как СМЫСЛ-ТЕКСТ.

Однако для построения модели внутреннего языка наиболее целесообразно использовать аппарат формальных грамматик, по возможности расширив их правилами, позволяющими учитывать семантику предметной области.

В результате проведенного анализа можно заключить, что наиболее целесообразным при разработке ЭС является использование ограниченного ЕЯ пользователей и внутреннего языка системы, на котором представляются знания. Кроме того, указанные языки должны быть семантически расширяемы и, по возможности, обеспечивать простоту трансляции с одного на другой. Должно быть обеспечено также требуемое качество лингвистического обеспечения, характеризующее естественность взаимодействия пользователя с системой, необходимую глубину проникновения в смысл, возможность описания предметной области с учетом неоднозначности и неопределенности.

Список литературы: 1. Девятков В. В. Системы искусственного интеллекта / Гл. ред. И. Б. Федоров. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. – 352 с. 2. Люгер Дж. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем = Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving / Под ред. Н. Н. Кузсуль. – М.: Вильямс, 2005. – 864 с. 3. Джозеф Джарратано, Гари Райли Экспертные системы: принципы разработки и программирование : Пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1152 стр. 4. Питер Джексон. Введение в экспертные системы = Introduction to Expert Systems. – М.: Вильямс, 2001. 624 с. 5. Рыбина Г. В. Основы построения интеллектуальных систем. – М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2010. – 432 с.

Поступила в редколлегию 11.10.2012

Формальное представление семантики естественно-языковых текстов в экспертных системах / Б. Н. Судаков, М. Ю. Ярмук // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 184-190. – Бібліогр.: 4 назв.

У статті розглядається проблема семантики в природно-мовних текстах і проблеми з її формальним представленням. Стаття надає огляд моделей, що описують семантику природно-мовних текстів. Визначена й обґрунтована необхідність створення нових моделей внутрішнього мови з використанням апарату формальних граматики. Запропоновано розширення моделей формальної граматики Хомського семантичними продукційними правилами.

Ключові слова: семантика, експертні системи, внутрішня мова, формальна граматика, модель «СЕНС-ТЕКСТ», модель мови.

The article discusses a problem of semantics of natural language texts, and the problems with its formal submission. The article provides an overview of models describing the semantics of natural language text. Define and justify the need for new models of the internal language using the apparatus of formal grammars. It was proposed extension of models of formal grammar Chomsky by semantic production rules.

Keywords: semantics, expert systems, internal language, a formal grammar, the model «SENSE – TEXT», language model.

А. И. ХРИСТО, аспирант, ИИПТ НАН Украины, Николаев

МАГНИТНО-ТРАНЗИСТОРНЫЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ СУБМИКРОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

Описан магнитно - транзисторный генератор высоковольтных импульсов, разработанный для формирования газового разряда субмикросекундной длительности. Генератор преобразует постоянное напряжение 500 В в последовательность импульсов напряжения с амплитудой 10 кВ и частотой следования 2 кГц. Представлены результаты экспериментального исследования процесса формирования рабочего и перемагничивающего импульсов в высоковольтных каскадах магнитного сжатия. Реализован импульсный тлеющий разряд в атмосфере разреженного воздуха, получены электрические характеристики разряда, по результатам исследования сделаны выводы.

Ключевые слова: генератор высоковольтных импульсов, импульсный трансформатор, звено магнитного сжатия, искусственная формирующая линия, переключающий дроссель, газовый разряд, вакуумная камера.

Введение. В технике физического эксперимента и электрофизических установках нужны высоковольтные импульсы субмикросекундной длительности, амплитудой десятки и сотни киловольт. С развитием эксперименталь-

© А. И. Христо, 2012

ной физики потребителями мощных кратковременных импульсов напряжения стали генераторы сверхвысоких колебаний, электронно-лучевые пушки, газовые лазеры, газоразрядные промежутки [1] и т.д.

Для получения таких импульсов широко используются генераторы с разрядом формирующей линии напрямую на нагрузку либо через импульсный трансформатор, коммутируемой газоразрядным управляемым прибором. К наиболее часто используемым газоразрядным приборам можно отнести управляемый трехэлектродный разрядник в атмосфере сжатого газа и импульсный водородный тиратрон.

Основным преимуществом управляемого разрядника по сравнению с тиратроном является возможность получения крутых перепадов напряжения за время порядка 1 нс и менее. Однако схемы с накопителями и искровыми разрядниками используются, в основном, для получения одиночных импульсов, так как в случае формирования периодически повторяющихся импульсов сказывается значительная нестабильность времени срабатывания искрового разрядника.

К достоинствам тиратронов как коммутаторов можно отнести: возможность управления моментом и частотой коммутации; возможность работы в довольно широком диапазоне анодных напряжений. Основными недостатками тиратрона являются: ограничения по коммутируемому току и напряжению, частоте (из-за процесса деионизации газа) и потребление мощности для накала.

В последние годы совместно с газоразрядными коммутаторами применяются магнитные ключи, принцип действия которых основан на использовании нелинейности петли гистерезиса [2]. На их основе строятся тиратронно-магнитные и магнитно-полупроводниковые генераторы высоковольтных импульсов. Одна из основных областей применения генераторов на магнитных ключах возникла в связи с совершенствованием линейных ускорителей электронов волноводного типа, в которых магнитный генератор используется для питания катода электронной пушки. Магнитные генераторы применяют в качестве импульсных источников питания мощных модуляторных ламп, установок волнового разряда в плазме, а также лазеров на парах металлов [3].

К достоинствам магнитных ключей следует отнести высокую стабильность срабатывания, долговечность и малое время восстановления.

Таким образом, если необходимо повысить надежность работы генератора, стабильность следования импульсов, увеличить частоту срабатывания, то для коммутации высоких напряжений и больших токов лучше использовать магнитные ключи, к которым предъявляются требования только по допустимым тепловым потерям. Недостатком является невозможность получения идеально прямоугольного импульса.

Целью работы является разработка схемы, создание и испытание магнитно-транзисторного генератора для формирования газового разряда пониженного давления субмикросекундной длительности.

В качестве исходных данных для разработки генератора взяты следующие

щие параметры: амплитуда импульса – 10 кВ, длительность – 0,3 мкс, частота следования до – 2 кГц. Генератор предполагается использовать для синтеза углеродных наноматериалов в результате газофазного разложения углеводорода в плазме импульсного тлеющего разряда субмикросекундной длительности.

Описание схемы магнитно-транзисторного генератора

Для выполнения поставленной цели разработан и сконструирован магнитно – транзисторный генератор высоковольтных наносекундных импульсов, принципиальная схема которого представлена на рис. 1.

В данной схеме генератора происходит поэтапное увеличение напряжения, а звенья магнитного сжатия расположены между двумя импульсными высоковольтными трансформаторами Тр1 и Тр2 с разными коэффициентами усиления.

Питание схемы осуществляется от автотрансформатора, с которого синусоидальное напряжение подается на диодный мост U1, выпрямляется и заряжает батарею электролитических конденсаторов C1. С этих конденсаторов достаточно большой емкости (1000 мкФ) и производится импульсный отбор энергии для формирования рабочего импульса.

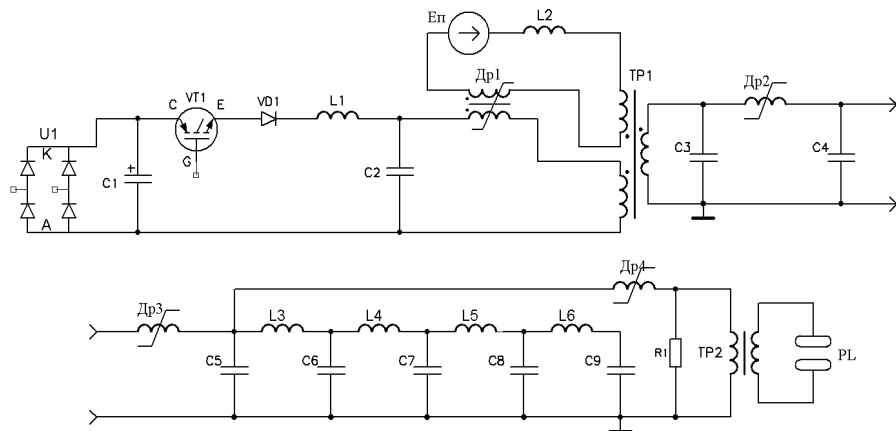


Рисунок 1 – Принципиальная схема магнитно-транзисторного генератора высоковольтных наносекундных импульсов для питания газоразрядной нагрузки

Импульс напряжения, приходящий на затвор транзистора VT1 от схемы управления, заставляет транзистор практически мгновенно открыться и коммутировать заряженную батарею электролитических конденсаторов через дроссель L1 на импульсный конденсатор C2 намного меньшей емкости (1 мкФ). В создавшемся колебательном контуре C1-L1-C2 возбуждается импульс синусоидального тока и часть энергии отбирается в конденсатор C2, который заряжается до большего напряжения, чем напряжение на C1. После

заряда конденсатора $C2$ транзистор закрывается и отсоединяет цепь источника питания от разрядной цепи. Далее с небольшой временной задержкой насыщается дроссель $Dr1$ и разряжает конденсатор $C2$ на высоковольтный $C3$. Энергия из низковольтного конденсатора передается в высоковольтный через импульсный трансформатор $Tr1$, коэффициент усиления которого $k = 20$. Полная передача энергии возможна только при равенстве запасаемых энергий, поэтому $C3 = C2/k^2 = 2,5$ нФ.

Допустимое прикладываемое обратное напряжение между эмиттером-коллектором у IGBT транзистора составляет всего лишь $U_{ЭК} = 17$ В, поэтому для защиты транзистора последовательно с ним стоит быстродействующий диод (время обратного восстановления – 40 нс). Применение диода увеличивает обратное прикладываемое напряжение на 600 В. При предельном напряжении 500 В на конденсаторе $C2$ и его емкости 1 мкФ максимальная запасаемая энергия составит 0,12 Дж. Так как емкости конденсаторов $C1$ и $C2$ существенно различаются, то на последнем конденсаторе напряжение будет выше примерно в 1,4 раза.

Особенность работы генератора состоит в том, что основная компрессия импульса происходит в высоковольтной части схемы после повышающего трансформатора $Tr1$. Сжимать импульс в низковольтной части схемы нецелесообразно, так как с увеличением коэффициента сжатия количество витков первичной обмотки трансформатора может быть очень малым, но вместе с тем конструктивные особенности трансформатора должны обеспечивать минимальные индуктивности рассеивания его обмоток.

В высоковольтной части генератора импульсов располагаются три звена сжатия. Компрессия импульса в каждом звене обеспечивается за счет того, что каждая последующая индуктивность L_i насыщенного дросселя Dr_i меньше предыдущей $L_2 > L_3 > L_4$, в результате становится возможным формирование импульсов наносекундной длительности. В последнем звене сжатия вместо конденсатора располагается искусственная формирующая линия (ИФЛ). Коэффициент усиления оконечного трансформатора $Tr2$ равен единице. Если пересчитанное к первичной обмотке импульсного трансформатора $Tr2$ сопротивление нагрузки равно волновому сопротивлению искусственной формирующей линии (лестничный тип), то разряд линии происходит в виде одиночного импульса, форма которого близка к прямоугольной. В качестве нагрузки рассматривается газоразрядный промежуток PL , который имеет нелинейную зависимость тока от напряжения и не может быть идеально согласован. Процесс формирования основного импульса сопровождается намагничиванием сердечников звеньев генератора в положительном направлении. В интервале между основными импульсами сердечники магнитных элементов должны перемагнититься в обратном направлении.

Первый насыщающийся дроссель имеет дополнительную обмотку подмагничивания, через которую от источника питания E с последовательно включенным развязывающим дросселем $L2$ пропускается постоянный ток.

Этот ток обеспечивает перезарядку конденсатора $C1$ напряжением отрицательной полярности, которое вызывает насыщение дросселя $Dp1$ и передачу импульса перемagnичивания по остальным звеньям сжатия, точно так же, как и основного в сторону нагрузки.

Перемagnичивание сердечников магнитных ключей является обязательным процессом, который происходит сразу же после формирования рабочего импульса на нагрузке. Восстановление исходного состояния сердечников насыщающихся дросселей ДР1-ДР4 и импульсных трансформаторов Тр1-Тр2 необходимо для того, чтобы увеличить рабочий перепад индукции каждого сердечника и подготовить схему к формированию очередного импульса. Так как нагрузка имеет нелинейный характер, то импульс обратного перемagnичивания не будет рассеиваться на ней. Для поглощения энергии этих импульсов в схеме на рис.1 используется шунтирующее сопротивление $R1$, включенное параллельно первичной обмотке трансформатора Тр2.

Экспериментальное исследование электрических процессов

На первом этапе исследования производился эксперимент, в котором магнитно-транзисторный генератор нагружался на согласованное активное сопротивление. При рассмотрении такого идеального случая можно выполнить следующие действия: протестировать надежность работы генератора, исследовать электрические процессы в высоковольтных каскадах сжатия, а также зафиксировать форму высоковольтного импульса на идеальной нагрузке. В качестве накопителя энергии в последнем звене сжатия генератора (см. рис. 1) использовалась ИФЛ, которая разряжалась напрямую на согласованное сопротивление через насыщающийся дроссель. В качестве активного сопротивления использовались резисторы марки ТВО. Резисторы соединялись последовательно, а общее суммарное сопротивление составило 48 Ом.

Для постановки эксперимента была сконструирована однородная ИФЛ, состоящая из пяти звеньев, конденсаторы которой крепятся на широкую медную шину. Для ИФЛ выбраны следующие параметры ячейки: индуктивность – $L_{я} = 1$ мкГн, емкость – $C_{я} = 470$ пФ. По техническим причинам конденсатор ячейки ИФЛ выбран номиналом 500 пФ, поэтому суммарная емкость линии равна – 2,5 нФ, что на 0,15 нФ больше емкости конденсатора соседнего звена. Емкость одной ячейки ИФЛ представляет собой два последовательно соединенных конденсатора КВИ-3 номиналом 1000 пФ/10 кВ. При максимальном зарядном напряжении ИФЛ 10 кВ в нагрузке формируется половина этого напряжения.

Дроссель ячейки ИФЛ изготовлен на кольце из магнитодиэлектрического материала, на котором располагаются 2 витка из провода с пленочной фторопластовой изоляции. Материал имеет небольшую остаточную индукцию, растянутую петлю гистерезиса и достаточно стабильную магнитную проницаемость в широком диапазоне изменения напряженности поля. Изложенные характеристики материала должны обеспечить неизменную индуктивность элементов ИФЛ в процессе ее разряда. Количество витков дросселя опреде-

лялось по формуле для расчета индуктивностей тороидальных катушек на основании заданной индуктивности ячейки ИФЛ. Но для уточнения результатов расчета индуктивность сконструированного дросселя измерялась косвенно, на основании периода свободных колебаний в последовательном RLC контуре.

Расчет параметров формирующей линии выполнен на основании формул, представленных в работе [5]. Волновое сопротивление искусственной линии – $R = \sqrt{L/C} = 46$ Ом, длительность импульса – $t_u = 2,2\sqrt{LC} = 240$ нс, длительность фронта импульса – $t_\phi = 0,61\sqrt{LC} = 13,2$ нс.

Переключающиеся дроссели генератора сконструированы на сердечниках из высокопроницаемого магнитомягкого материала. В первых трех звеньях магнитного сжатия использован нанокристаллический материал с округлой петлей гистерезиса с коэффициентом прямоугольности 0,5. В окончательном звене сжатия использован аморфный кобальтовый сплав, который имеет петлю гистерезиса, близкую к прямоугольной (коэффициент прямоугольности 0,84).

На рис. 2, а-г представлены осциллограммы импульсов напряжения в узлах сжатия магнитно-транзисторного генератора, измеренные емкостным делителем.

Передний фронт импульса напряжения длительностью до 5 мкс, изображенного на рис. 2, а, соответствует процессу зарядки высоковольтного конденсатора С3, задний, более резкий, фронт соответствует его разряду на следующий конденсатор С4. Аналогичную картину можно изложить и для импульса напряжения, изображенного на рис. 2, б, в котором передний фронт соответствует процессу заряда конденсатора С4 длительностью до 1 мкс, а задний фронт соответствует разряду этого конденсатора на ИФЛ. На рис. 2, в, передний фронт импульса напряжения длительностью 0,4 мкс соответствует процессу заряда первого конденсатора ИФЛ, задний фронт 0,3 мкс – процессу его разряда.

Таким образом, на основании полученных осциллограмм процесс формирования рабочего импульса можно охарактеризовать следующим образом: в первом каскаде сжатия (С2-Др1-Тр1-С3) импульс тока сжимается до 5 мкс; во втором каскаде (С3-Др2-С4) – до 1,4 мкс; в третьем каскаде (С4-Др3-ИФЛ) – до 0,4 мкс; в четвертом каскаде (ИФЛ-Др4-Тр2-Р) формирующая линия разряжается на согласованную активную нагрузку за 0,3 мкс.

Время заряда низковольтного конденсатора С2 зависит от величины индуктивности дросселя L1 и при значении индуктивности, равной – 32 мкГн, длительность зарядного тока составляет – 18 мкс. Индуктивность переключающего дросселя Др4 в насыщении рассчитана равной индуктивности ячейки формирующей линии. Если формирующую линию заменить конденсатором емкостью номиналом 2,35 нФ, то длительность разрядного тока последнего звена сжатия составит 0,11 мкс. Отношение длительностей заряда пер-

вого конденсатора к длительности разряда последнего определяет суммарный коэффициент сжатия. Таким образом, общий коэффициент сжатия составил 165, а средний коэффициент сжатия, приходящийся на один переключающийся дроссель, – 3,6.

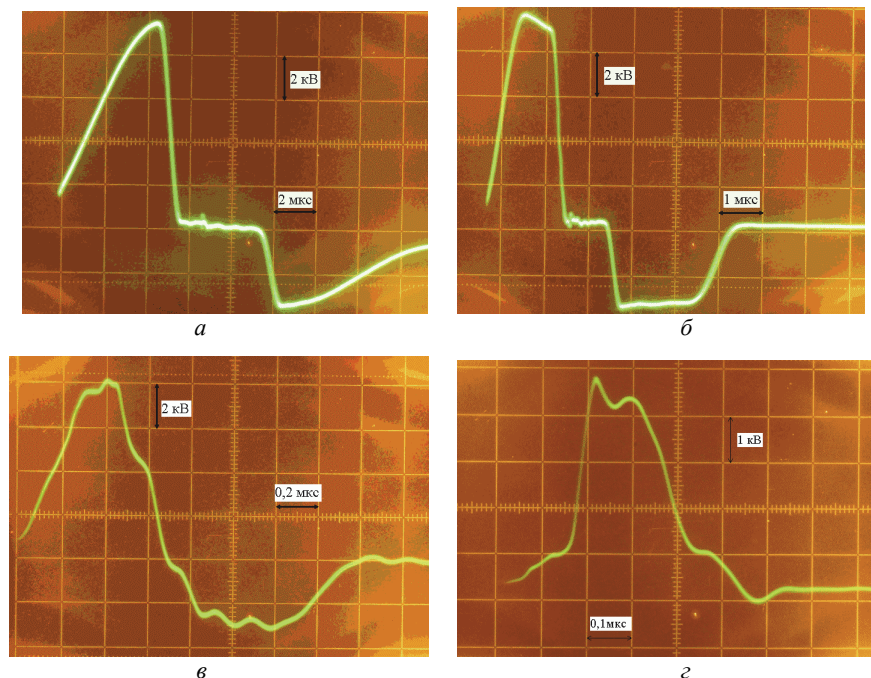


Рисунок 2 – Осциллограммы импульсов напряжения в высоковольтных каскадах сжатия: а – на конденсаторе С3; б – на конденсаторе С4; в – на первом конденсаторе ИФЛ; г – импульс напряжения наносекундной длительности на активной нагрузке

Оконечный сердечник дросселя Др4 имеет форму петли гистерезиса, близкую к прямоугольной, и в отличие от округлой петли относительная магнитная проницаемость в начале гистерезисного цикла имеет значения порядка 10^3 , а в конце основной кривой намагничивания с приближением к излому может достигать порядка 10^6 . Поэтому, когда магнитная проницаемость достаточно мала, ток через обмотку дросселя заметно нарастает, и перед основным импульсом появляется продолжительная подставка (см. рис. 2, г). По мере увеличения магнитной индукции ток через дроссель становится очень малым, однако дроссель насыщается полностью не сразу. Напряжение на нагрузке продолжает плавно нарастать и на уровне приблизительно в 1 кВ дроссель Др4 полностью насыщается, формируется резкий фронт длительностью около 40 нс. Полка напряжения не имеет особо выраженных пульсаций. Задний фронт импульса оказывается сильно затянутым по сравнению с иде-

альными характеристиками. Это не удивительно, так как фронт затягивает индуктивность дросселя Др4, которая несколько увеличивается в конце разрядного процесса. В сердечнике с округлой петлей гистерезиса излом кривой наступает при больших напряженностях поля и не является четко выраженным. Экспериментально установлено, что сердечник с округлой петлей гистерезиса не пригоден к применению в конечном звене сжатия, так как коммутирующий дроссель не формирует резких перепадов напряжения и на нем рассеивается значительное количество тепла.

Процесс восстановления исходного состояния магнитных элементов генератора осуществляется за счет неизрасходованной энергии рабочего импульса. Использование импульсного трансформатора Тр2 в конечном звене сжатия для разряда ИФЛ на согласованную нагрузку способствует перезаряду конденсаторов ИФЛ отрицательной полярности. Результаты математического моделирования и эксперимента показывают, что при разряде ИФЛ через импульсный трансформатор на согласованной нагрузке появляется отрицательный импульс. В результате численного моделирования [6] получены временные зависимости импульсов напряжения, изображенные на рис. 3.

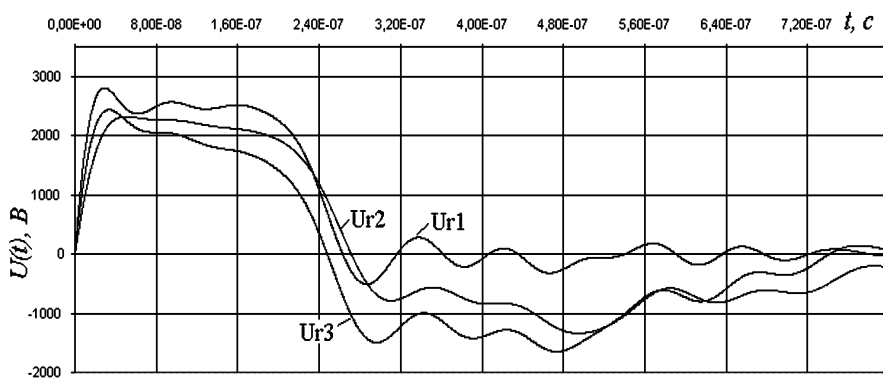


Рисунок 3 – Совмещенные характеристики высоковольтных импульсов напряжения наносекундной длительности, получаемые при разряде однородной формирующей линии на согласованную нагрузку посредством импульсного трансформатора с разными индуктивными параметрами ($Ur2$, $Ur3$) и без трансформатора ($Ur1$)

В математической модели рассматривались переходные электрические процессы, возбуждаемые после коммутации идеального ключа. По результатам математического моделирования сделан вывод, что амплитуда отрицательного импульса увеличивается при использовании трансформатора с меньшими индуктивными коэффициентами. Именно колебательный процесс разряда ИФЛ заставляет сердечник переключающего дросселя ДР4 насытиться в обратном направлении и зарядить конденсаторы ИФЛ отрицательной полярностью (см. рис. 2, в). Остаток энергии рабочего импульса устремляется в сторону первого звена сжатия, переключая в последовательном порядке

дрессели Др3 – Др1. Процесс распространения импульса отрицательной полярности иллюстрируется на осциллограммах напряжений, снятых в высоковольтных узлах магнитного сжатия (рис. 2, *а-в*).

Напряжение отрицательной полярности на высоковольтном конденсаторе С3 создает ток в обмотках трансформатора, который замыкается через дроссель Др1 и конденсатор С1, заряжает последний отрицательным напряжением, и размагничивает сердечник трансформатора. Под действием линейно нарастающего напряжения на конденсаторе С1 индукция в сердечнике дросселя Др1 изменяется в противоположном направлении. Так как дроссель имеет дополнительную обмотку подмагничивания, то к моменту возврата остатка энергии конденсатор С2 будет немного заряженным линейно нарастающим напряжением, вызванным протеканием тока подмагничивания. Дополнительно поступивший заряд только увеличит скорость перемагничивания дросселя Др1, что способствует переключению его сердечника в обратном направлении и появлению импульса перемагничивания. Импульс отрицательной полярности окончательно перемагнитит сердечник трансформатора Тр1 к исходному состоянию и далее распространится по остальным звеньям сжатия в сторону нагрузки подобно рабочему импульсу. На рис. 4, *а, б* изображены осциллограммы импульса отрицательной полярности, образующегося на конденсаторе С1.

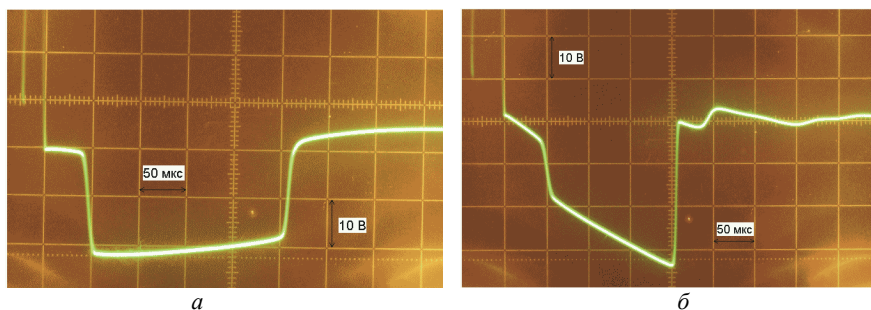


Рисунок 4 – Осциллограмма импульса перемагничивания на низковольтном конденсаторе: *а* – без подмагничивания дросселя; *б* – с подмагничиванием дросселя Др1 постоянным током

Из полученных осциллограмм напряжения следует, что использование дополнительного подмагничивания постоянным током переключающегося дросселя Др1 уменьшает время перемагничивания дросселя и устраняет положительную пульсацию. Таким образом, подмагничивание дросселя Др1 постоянным током выполняет важную функцию. Во-первых, сердечник удерживается в состоянии отрицательного насыщения, а во-вторых, устраняется перезаряд накопительного конденсатора С2 положительной полярностью во время образования импульса перемагничивания, и соответственно исключается повторное появление положительного тока, способного намаг-

нитить сердечники трансформатора Тр1 и дросселя Др1.

Во второй части экспериментального исследования производился разряд ИФЛ через импульсный трансформатор с единичным коэффициентом усиления на газоразрядный промежуток. Схема генератора в поставленном эксперименте изображена на рис. 1. Разряд зажигался в вакуумной камере в атмосфере разреженного воздуха [7].

Вакуумная камера имеет цилиндрический обечаек, изготовленный из толстой нержавеющей стали. В конструкцию электроразрядной камеры входят: два профилированных электрода, расположенных вертикально; смотровое окно из кварцевого стекла для фиксирования газового разряда; два штуцера для подключения вакуумных устройств. К штуцерам электроразрядной камеры дополнительные устройства подсоединяются через вакуумные резиновые шланги. Для измерения разреженного давления в камере использовался стрелочный вакуумметр с грубой ценой деления, равной 38 мм. рт. ст. Для понижения давления в камере использовался пластинчато-роторный насос, который при хорошей герметизации камеры может создавать вакуум до 10^{-2} мм. рт. ст. Последовательно с вакуумным насосом ставился запорный газовый кран. После создания в камере нужного понижения давления клапан закрывался, чтобы образовавшийся вакуум не всасывал в камеру масло из цилиндра вакуумного насоса. В поставленном эксперименте давление в камере опускалось ниже 40 мм. рт. ст.

Нижний электрод диаметром 5 см имеет плоскую поверхность с закругленным ободком, верхний электрод диаметром 4 см имеет полусферическую форму. Расстояние между электродами в камере составляло равным 1,5 см.

Регулировка амплитуды высоковольтных импульсов напряжения на выходе генератора осуществлялась с помощью лабораторного автотрансформатора. Если напряжения на разрядном промежутке не будет достаточно для его пробоя, то энергия, запасенная в конденсаторах ИФЛ, будет рассеиваться на демпфирующем сопротивлении R1 (см. рис. 1). Номинал демпфирующего сопротивления выбран в 10 раз больше волнового сопротивления ИФЛ, тогда и после формирования газового разряда на сопротивлении R1 будет рассеиваться незначительная доля энергии от рабочего импульса.

При 120 В действующего значения на автотрансформаторе или при амплитуде высоковольтного импульса 2,4 кВ наступает пробой газоразрядного промежутка и зажигается импульсный тлеющий разряд. Разряд имеет объемную форму с несветящейся зоной, расположенной вблизи поверхности катода, в излучении преобладает фиолетовый цвет.

Для осциллографирования характеристик тока и напряжения импульсного разряда использован бифилярный шунт сопротивлением 0,16 Ом и емкостный делитель напряжения, высоковольтный конец которого заводился в металлическую оплетку для уменьшения электрических наводок. На рис. 5 представлены совмещенные осциллограммы тока и напряжения на газораз-

рядном промежутке и фотография тлеющего разряда, зафиксированные при напряжении на автотрансформаторе 180 В действующего значения.

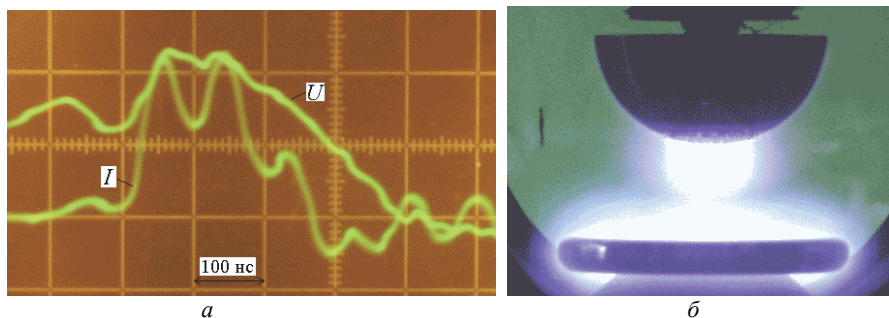


Рисунок 5 – Характеристики разряда: *а* – совмещенные осциллограммы импульсов тока I и напряжения U на газоразрядном промежутке (I – 62 А/дел, U – 1 кВ/дел); *б* – фотография субмикросекундного газового разряда в воздухе

На основании осциллограммы, представленной на рис. 5, *а*, можно сделать вывод, что сопротивление разрядного промежутка согласовано с волновым сопротивлением формирующей линии, так как форма разрядного тока близка к прямоугольной, а амплитуда отрицательной пульсации незначительна. Насыщение переключающегося дросселя Др4 затрудняется из-за низкой начальной проводимости газового промежутка и перед разрядным импульсом формируется продолжительная подставка (см. рис. 5, *а*). Медленное нарастание напряжения в промежутке вызывает его статический пробой, за которым следует незначительная пульсация тока длительностью около 50 нс и соответствующий спад напряжения. Однако заметное увеличение проводимости газа, вызывает насыщение дросселя Др4. В результате чего происходит одновременное нарастание тока и напряжения в промежутке, и формирование разрядного импульса ИФЛ. Нарастающий характер тока и напряжения в разрядном промежутке, явно указывает на то, что полученный вид газового разряда занимает промежуточную форму между тлеющим и дуговым разрядами. Для улучшений условий коммутации переключающегося дросселя, газовый промежуток необходимо предварительно ионизировать, что бы увеличить начальную проводимость газа.

Вплоть до максимально возможного напряжения 240 В на автотрансформаторе форма газового разряда не изменялась. Эксперимент производился на предельной частоте следования импульсов – 2 кГц. Устойчивость работы генератора оценивалась по характеристике тока, проходящего через транзисторный ключ. Во всем диапазоне питающего напряжения генератора импульсный ток имел стабильный характер и такую же форму, как и при работе генератора на активную согласованную нагрузку. Даже при атмосферном давлении воздуха и формировании дугового разряда между электродами с зазором 2 мм генератор вполне устойчиво работает на частоте 2 кГц вплоть

до 240 В входного напряжения. Повысить частоту мешают предельные тепловые потери, возникающие в сердечниках переключающих дросселей с округлой петлей гистерезиса.

Таким образом, по итогам произведенного эксперимента можно утверждать, что разработанный генератор может успешно использоваться для формирования импульсного тлеющего разряда субмикросекундной длительности.

Выводы

Разработана и исследована схема магнитно-транзисторного генератора высоковольтных импульсов, предназначенная для формирования газового разряда субмикросекундной длительности.

Разработана математическая модель разряда ИФЛ через импульсный трансформатор на согласованную нагрузку и представлены временные зависимости импульсов напряжения. Показано, что амплитуда отрицательного импульса увеличивается при использовании трансформатора с меньшими индуктивными коэффициентами.

На основании результатов, полученных путем экспериментального исследования и математического моделирования, дается объяснение процесса формирования и распространения импульса перемагничивания в каскадах магнитного сжатия. Показано, что восстановление исходного состояния магнитных элементов осуществляется за счет части энергии рабочего импульса, неизрасходованной в нагрузке.

Установлено, что использование дополнительного подмагничивания постоянным током переключающегося дросселя первого звена сжатия, устраняет перезаряд накопительного конденсатора положительной полярностью во время образования импульса перемагничивания.

Реализован импульсный тлеющий разряд в атмосфере разреженного воздуха и получены его электрические характеристики. Доказано, что сопротивление разрядного промежутка согласовано с волновым сопротивлением ИФЛ.

Список литературы: 1. *Месяц Г.А.* Генерирование мощных наносекундных импульсов. – М.: Сов. радио, 1974. – 256 с. 2. *Розенблат М.А.* Магнитные усилители и модуляторы. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 123 с. 3. *Дацук С.П., Потапов С.Е.* Магнитотристорный генератор импульсов возбуждения лазеров на парах металлов // Приборы и техника эксперимента. – 1983. – № 1. – С. 155-156. 4. *Шваб А.* Измерения на высоком напряжении: Измерительные приборы и способы измерения : 2-е изд. : пер. с нем. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 328 с. 5. *Ицхоки Я.С.* Импульсные и цифровые устройства. – М.: Сов. радио, 1972. – 592 с. 6. *Демидович Б.П. и др.* Численные методы анализа. – М.: Наука, 1967. – 368 с. 7. *Мик Дж., Крэес Дж.* Электрический пробой в газах : пер. с англ. – М.: ИЛ, 1960. – 601 с.

Поступила в редколлегию 05.06.2012

УДК 621.373

Магнитно-транзисторный генератор для формирования высоковольтных импульсов субмикросекундной длительности / А.И. Христо // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 190-202. – Бібліогр.: 7 назв.

Описано магнітно-транзисторний генератор високовольтних імпульсів, розроблений для формування газового розряду субмікросекундної тривалості. Генератор перетворює постійну напругу 500 В у послідовність імпульсів напруги з амплітудою 10 кВ і частотою слідування 2 кГц. Представлено результати експериментального дослідження процесу формування робочого і перемагнічуючого імпульсів у високовольтних каскадах магнітного стиску. Реалізовано імпульсний тліючий розряд в атмосфері розрідженого повітря, отримані електричні характеристики розряду, за результатами дослідження зроблено висновки.

Ключові слова: генератор високовольтних імпульсів, імпульсний трансформатор, ланка магнітного стиснення, штучна формуюча лінія, перемикаючий дросель, газовий розряд, вакуум-на камера.

Describes magnetic-transistor generator of high-voltage pulses, designed for the formation of a gas discharge sub-microsecond duration. The generator converts DC voltage 500 V in the sequence of voltage pulses with an amplitude of 10 kV and frequency of the 2 kHz. The results of experimental studies process of formation the working and remagnetizing pulses in high magnetic compression stages. Implemented pulse glow discharge in an atmosphere of thin air, received the electric characteristics of the gas discharge, the results of research drawn conclusions.

Keywords: high-voltage pulse generator, pulse transformer, link of magnetic compression, artificial forming line, switching throttle, gas discharge, vacuum chamber.

УДК 621. 746.044.4.001.57

В. Б. ЮФЕРОВ, д-р. техн. наук, нач. отд., ННЦ ХФТИ, Харьков;

А. Н. ОЗЕРОВ, мл. науч. сотр., ННЦ «ХФТИ», Харьков;

Д. В. ВИННИКОВ, мл. науч. сотр., ННЦ «ХФТИ», Харьков;

И. В. БУРАВИЛОВ, мл. науч. сотр., ННЦ «ХФТИ», Харьков;

А. Н. ПОНОМАРЕВ, мл. науч. сотр., ННЦ «ХФТИ», Харьков;

ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ЭЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СРЕДЕ ЖИДКОГО АЗОТА

Исследована возможность измельчения эластичных материалов импульсными высоковольтными электрическими разрядами в среде жидкого азота. В качестве материала для измельчения использовалась резина изношенных автомобильных покрышек. Определено влияние некоторых параметров электрогидроимпульсной системы на получение порошка резины размером менее 2 мкм. Оценены основные энергетические затраты на измельчение эластичных материалов данным способом.

Ключевые слова: Электрический разряд, высоковольтный разряд, эластичный материал, резина, жидкий азот, измельчение.

Введение. Проблема утилизации и переработки изношенных шин имеет существенное экономическое значение, поскольку потребности в природных ресурсах непрерывно растут, а их стоимость постоянно повышается. В связи с тем, что на 80 % составляющей шин является нефть, их промышленная ути-

© В. Б. Юферов, А. Н. Озеров, Д. В. Винников, И. В. Буравилов, А. Н. Пономарев, 2012

лизация даст возможность сохранить нефтяные невозполнимые природные ресурсы, стимулировать развитие ресурсосберегающих технологий.

Кроме того, вышедшие из эксплуатации изношенные шины не подвергаются биологическому разложению, поэтому они являются источником длительного загрязнения окружающей среды. В результате химического, термического и радиационного разрушения резины в атмосферу и грунтовые воды могут попадать различные токсичные и канцерогенные продукты, которые оказывают крайне негативное воздействие на организм человека. Происходит загрязнение не только атмосферы, но и водных бассейнов, почв. Вместе с тем, изношенные автомобильные шины содержат в себе ценное сырье: каучук, металл, текстильный корд.

Полученная в ходе переработки резиновая крошка — незаменимый материал при производстве дорожных отбойников, напольных покрытий для промышленных зданий, сельскохозяйственных построек, спортивных и игровых комплексов. Добавленная в асфальт крошка повышает его износостойкость в несколько раз.

Поэтому необходимы энергосберегающие и экологически безопасные технологии [1, 2] по переработки резинотехнических изделий в крошку. В настоящее время находит применение электрогидроимпульсная технология измельчения материалов. При пробое жидкости, по схеме, показанной на рис. 1, вокруг канала разряда возникает зона высокого давления, диаметр которой пропорционален мощности импульса. Жидкость, получив ускорение от расширяющегося с большой скоростью канала разряда, перемещается от него во все стороны, образуя на том месте, где был разряд, значительную по объему полость, названную кавитационной, и вызывая первый гидравлический удар. Затем полость также с большой скоростью смыкается, создавая второй кавитационный гидравлический удар [3].

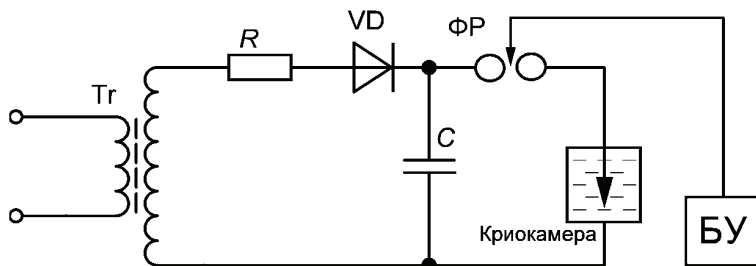


Рисунок 1 – Электрическая схема для реализации электрогидроимпульсного удара:
ФП – формирующий искровой промежуток, РП – рабочий искровой промежуток в жидкости

Дробление резины электрогидроимпульсным способом в обычной воде не происходит [1] в виду ее пластичности. Поэтому для придания хрупкости резине, в качестве жидкости в данной технологии использовался жидкий азот.

Результаты исследований. Дробление эластичных материалов при низкой температуре происходило в разрядной теплоизолированной камере объемом 2,1 литра, изображенной на рис. 2. На оси камеры расположен электрод 1, вторым электродом является дно камеры. В случае понижения давления над поверхностью жидкости к патрубку 5 присоединялся водокольцевой вакуумный насос. В камеру помещалась резина размером 10-25 мм. Свободное пространство камеры заполнялось на 2/3 жидким азотом. После чего производился разряд конденсатора на рабочий промежуток в жидкости.

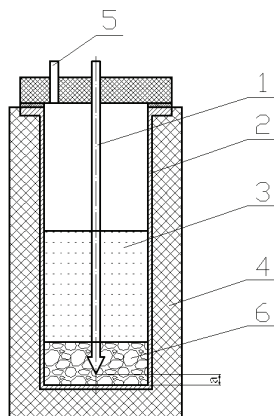


Рисунок 2 – Конструкция разрядной камеры для электрогидроимпульсного измельчения в жидком азоте: 1 – электрод, 2 – камера, 3 – жидкий азот, 4 – теплоизоляция, 5 – выходной патрубок, 6 – резина

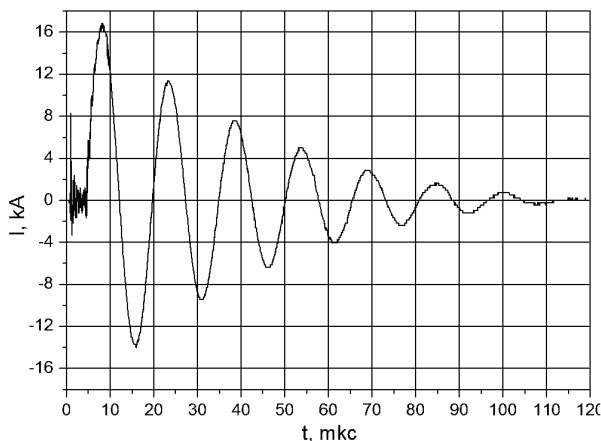


Рисунок 3 – Осциллограмма импульса тока через разрядный промежуток в жидком азоте

Осциллограмма тока проходящего через рабочий зазор представлена на рис. 3. Ток имеет затухающий колебательный характер с амплитудой 16 кА, периодом 15 мкс. Параметры электрической цепи следующие: пробивное напряжение 24 кВ, запасаемая энергия конденсаторной батареи 576 Дж, индуктивность разрядной цепи 2,9 мГн, сопротивление разрядной цепи 0,1-0,2 Ом.

На рис. 4 представлено фото резиновой крошки после электрогидроимпульсного дробления в жидком азоте. Размеры резиновой крошки находились в пределах от единиц микрон, до 2 мм.

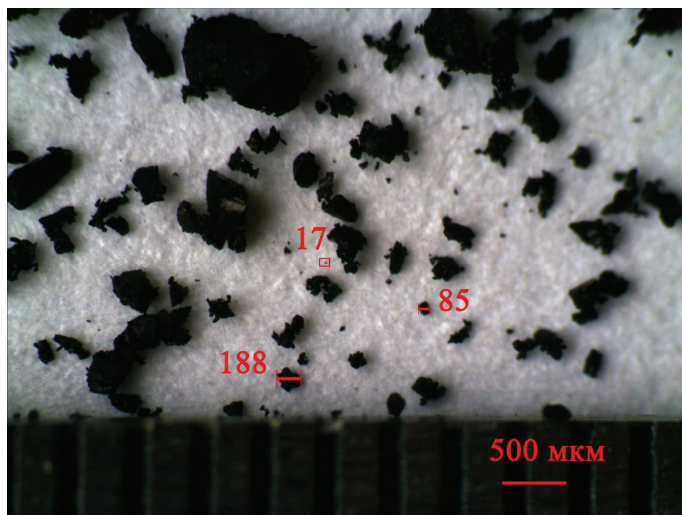


Рисунок 4 – Фотография с USB микроскопа резиновой крошки после обработки

На рис. 5 представлена зависимость выхода продукта от количества импульсов при различном межэлектродном расстоянии от 5 до 23 мм. Количество обрабатываемой резины 100 гр. Из результатов видно, что увеличение межэлектродного расстояния с 5 до 23 мм, приводит к росту выхода измельченной до 2 мм резиновой крошки в 3,5 раза. Максимальный выход измельченного материала наблюдался при межэлектродном расстоянии 23 мм и составил 51,2 г, после 25 импульсов.

На рис. 6 представлена зависимость производительности резиновой крошки от межэлектродного расстояния. На межэлектродном расстоянии от 5 до 23 мм наблюдается положительная производная роста производительности. Максимальная производительность получена на межэлектродном расстоянии 23 мм, и составила 2,05 г/имп.

На рис. 7 показан график зависимости содержания частиц с размером меньшим 2 мм в процентах от количества импульсов. Межэлектродное расстояние в данном случае составило 6 и 16,5 мм, при загрузке резины 250 и

500 г соответственно. В обоих случаях наблюдался линейный характер роста содержания частиц с размером меньшим 2 мм. При обработке 210 импульсами измельчается порядка 70% крошки до необходимого размера.

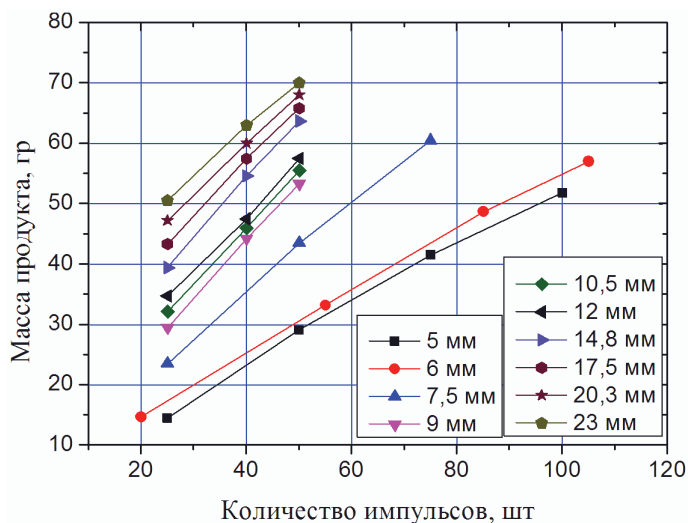


Рисунок 5 – Зависимость выхода продукта от количества импульсов, при различном межэлектродном расстоянии

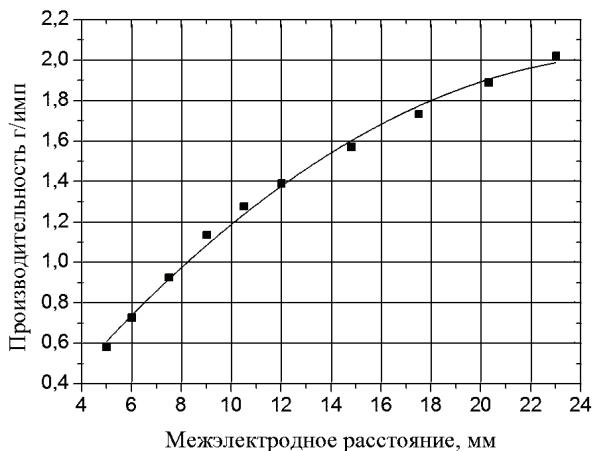


Рисунок 6 – Зависимость производительности резиновой крошки от межэлектродного расстояния

На рис. 8 представлена диаграмма распределения резиновой крошки по фракциям после 25, 50, 75 и 100 импульсов. Обработывалось 500 гр резины,

при межэлектродном расстоянии 16,5 мм. Из диаграммы видно, что после каждой серии импульсов наблюдается постепенное увеличение количества материала более мелких фракций. После 100 импульсов количество резиновой крошки с размером менее 2 мм составляет 35 %.

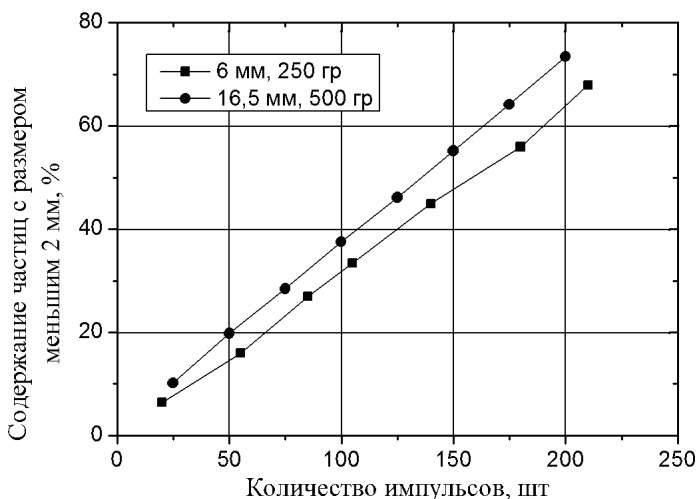


Рисунок 7 – Зависимость содержания частиц с размером меньше 2 мм в процентах от количества импульсов

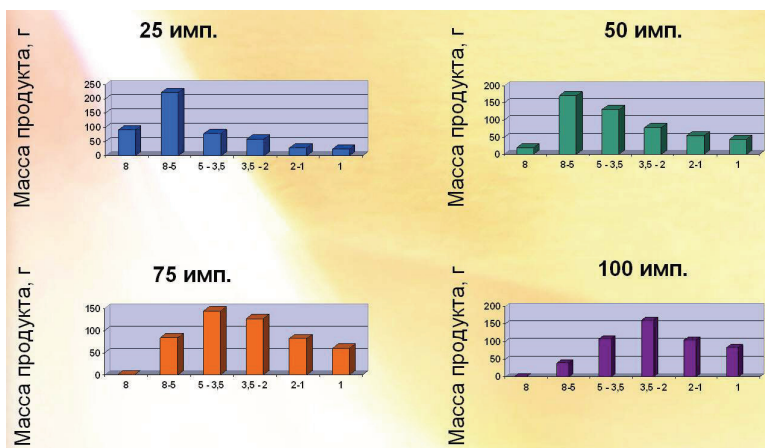


Рисунок 8 – Диаграмма распределения резиновой крошки по фракциям после 25, 50, 75 и 100 импульсов

В результате проведенных исследований электрогидроимпульсного измельчения эластичных материалов в среде жидкого азота спроектирована

технологическая линия и определены ее основные технико-экономические показатели, которые представлены в таблице.

Производительность, кг/час	50
Удельная производительность, г/имп	2,1
Размер резиновой крошки, мм	0,2-2
Расход жидкого азота, л/кг	2,8
Энергозатраты электрогидроимпульс, кВт·час	6
Частота следования электрических разрядов, Гц	7

Технология переработки условно делится на три этапа: предварительная резка шин на куски; электроимпульсное измельчение в среде жидкого азота; отделение резиновой крошки от металлокорда и текстиля при помощи магнитного и текстильного сепаратора.

Из литературных данных известно, что на производство 1 кг жидкого азота требуется затратить 0,44 кВт·час [4].

Выводы. Разработана технологическая схема измельчения эластичных материалов электрогидроимпульсным воздействием в среде жидкого азота.

Определено влияние некоторых параметров электрогидроимпульсной системы на получение порошка резины размером менее 2 мм. Максимальная производительность получена на межэлектродном промежутке 23 мм и составила 2,1 г/имп.

Оценены основные энергетические затраты на измельчение эластичных материалов данным способом.

Список литературы: 1. В.И. Курец, Г.В. Несын, Г.П. Филатов, А.Ю. Юшков, К.Б. Коновалов Электроимпульсное разрушение охлажденных полимеров (высших α -олефинов) // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314, № 4. – С. 103-106. 2. Б.В. Виноградов, Д.А. Федин, В.И. Емельяненко, И.А. Осташко Об измельчении твердых остатков пиролиза изношенных автомобильных шин электрогидроимпульсным способом // Вопросы химии и химической технологии. – 2008. – № 6. – С. 163-166. 3. Л.А. Юткин Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. – Л.: Машиностроение, 1986. – 252 с. 4. И.Н. Кудрявцев, А.И. Пятак, С.И. Бондаренко, А.Я. Левин, Б.Н. Муринев-Маркевич, М.Ч. Пламмер Эффективность использования пневмодвигателя в автомобиле // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2005. – № 2 (22). – С. 82-88.

Поступила в редакцию 12.10.2012

УДК 621. 746.044.4.001.57

Электроимпульсное измельчение эластичных материалов в среде жидкого азота / В. Б. Юферов, А. Н. Озеров, Д. В. Винников, И. В. Буравиллов, А. Н. Пономарев // Вісник НТУ «ХП». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХП», 2012. – № 52 (958). – С. 202-209. – Бібліогр.: 4 назв.

Досліджена можливість подрібнення еластичних матеріалів імпульсними високовольтними електричними розрядами в середовищі рідкого азоту. Як матеріал для подрібнення використовувалася гума зношених автомобільних покришок. Визначений вплив деяких параметрів електрогидроімпульсної системи на здобуття порошку гуми розміром менше 2 мм. Оцінені основні енергетичні витрати на подрібнення еластичних матеріалів даним способом.

Ключові слова: електричний розряд, високовольтний розряд, еластичний матеріал, гума, рідкий азот, подрібнення.

Elastic materials crushing possibility by pulsed high- voltage electrical discharges in the liquid nitrogen medium has been investigated. Life-expired automobile tires rubber have been used as a material for crushing. Electrohydropulsed system parameters that are affected on rubber powder of less than 2 mm size obtainment have been determined. The basic energy expenses for crushing of elastic materials by proposed method have been estimated.

Keywords: electrical discharge, high-voltage discharge, elastic material, rubber, liquid nitrogen, attrition.

UDC 681. 3.07

I. V. YAKOVENKO, PhD, S. R., NTU «KhPI»;

V. M. POSHTARENKO, PhD, S. R., NTU «KhPI»;

R. V. KOSTENKO, S. R., NTU «KhPI»

METHOD OF MODELING THE COGNITIVE RADIO USING OPNET MODELER

This article is a review of the first wireless standard based on cognitive radio networks. The necessity of wireless networks based on the technology of cognitive radio. An example of the use of standard IEEE 802.22 in Wimax network through which was implemented in the simulation software environment Opnet Modeler. Schedules to check the performance of HTTP and FTP protocols CR network. Simulation results justify the use of standard IEEE 802.22 in wireless networks.

Keywords: Wimax, CR, IEEE 802.22, OpnetModeler, SNR, HTTP, FTP, WRAN, TV broadcast bands, PHY and MAC layer design, spectrum utilization, spectrum sensing, topology, coexistence.

Problem statement. The wireless regional area network (WRAN) technology is initially targeted at wireless broadband access for geographically dispersed, hard-to-reach, low population density areas, or other unserved/underserved areas where wired infrastructure cannot be economically deployed, typical of rural environments. The transmission range can be up to 100 km, non line of sight due to use of TV broadcast bands as license-exempt spectrum [6].

The WRAN system will provide packet-based transport capabilities that can support a wide range of services (e.g. internet access, data transport, voice and streaming video) to residential, Small and Medium Enterprises (SME) and Small Office/Home Office (SOHO) locations [4].

The WRAN system must be capable of supporting a mix of data, voice and audio/video applications. The critical parameters for serving these markets using wireless access technology is the combination of coverage/capacity factors that affects access cost per user, the deploy ability, maintainability and product costs

© I. V. Yakovenko, V. M. Poshtarenko, R. V. Kostenko

associated with the customer premise installation, and spectrum efficiency/reuse for economically serving the required number of customer locations with a minimum number of base station locations and backhaul routes [2].

Not all the TV channels are used as it is necessary to allow guard bands between active high power transmitters to prevent mutual interference. Also not all stations are active all of the time. Therefore by organizing other services around these constraints it is possible to gain greater spectrum utilization without causing interference to other users. One particular technology that is key to the deployment of new services that may bring better spectrum utilization is that of cognitive radios (CR) technology. By using this the radios can sense their environment and adapt accordingly [7].

The cognitive radio enables the usage of temporarily unused spectrum, which is referred to as spectrum hole or white space. If this band is further utilized by a licensed user (primary system), the cognitive radio (secondary system) moves to another spectrum hole or stays in the same band, altering its transmission power level or modulation scheme to avoid interference. It is the key technology that will enable flexible, efficient and reliable spectrum use by adapting the radio's operating characteristics to the real-time conditions of the environment. CRs have the potential to utilize the large amount of unused spectrum in an intelligent way while not interfering with other incumbent devices in frequency bands already licensed for specific uses. CRs challenge the current notion of spectrum scarcity, and frame the problem as that of spectrum access and sharing [6].

The use of cognitive radio technology is therefore key to the new IEEE 802.22 WRAN standard (Figure 1). In October of 2004, the IEEE802 Committee had set up the IEEE802.22 Working Group. It's developing functional requirements for a Point-to-multipoint (P-MP) interoperable air interface of PHY and MAC. The standard applies to the current spectrum of TV broadcast services to implement CR-based Wireless Regional Area Network (WRAN) [8].

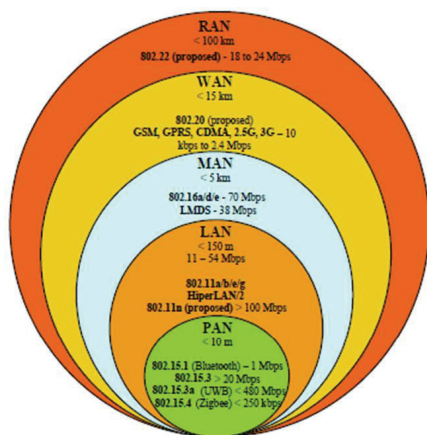


Figure 1 – Positioning of WRAN amongst IEEE 802 wireless networks

Analysis of the literature. Since 1999 when J. Mitola III specified the main concepts of cognitive radio technology[12], various researches to realize it are made [10]. A new IEEE 802 Working Group formed in 2004 has success in development and standardization of cognitive radio especially [2]. Working Group 802.22 solved a problem of spectrum sharing with licensed TV broadcast bands required for wireless regional area networks using cognitive radio. Nowadays many publications demonstrated necessity and currency of further researches for realization and optimization of this standard [1, 5, 9, 11].

The purpose of the article is to make complete in-depth overview of promising standard IEEE 802.22.

The IEEE 802.22 System. The current 802.22 project identifies the North American frequency range of operation from 54-862 MHz, while there is an ongoing debate to extend the operational range to 41-910 MHz as to meet additional international regulatory requirements. Also, since there is no worldwide uniformity in channelization for TV services, the standard shall accommodate the various international TV channel bandwidths of 6, 7, and 8 MHz [6].

The *topology* of 802.22 system specifies point-to-multipoint (P-MP) wireless air interface whereby a fixed base station (BS) manages its own cell and all associated fixed and portable Consumer Premise Equipments (CPEs), as depicted in Figure 2.

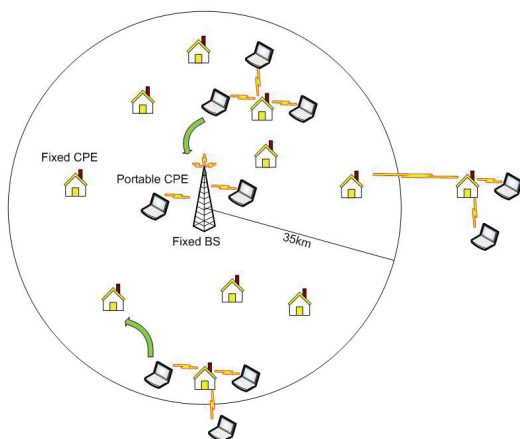


Figure 2 – Exemplary 802.22 deployment configuration

The specified *range* for a CPE is 33 km and in some instances BS coverage may extend to 100 km. To achieve the 33 km range, the power level of the CPE is 4 Watts EIRP. The system has been defined to enable users to achieve a level of performance similar to that of DSL services available. This equates to a downlink or download speed of around 1.5 Mbps at the cell periphery and an uplink or up-

stream speed of 384 kbps. These figures assume 12 simultaneous users. So the overall *system capacity* must be 18 Mbps in the downlink direction [8].

The *PHY layer* maintains a high degree of flexibility and adaptability. An OFDM scheme has been adopted. To provide access for multiple users, OFDMA is used for both upstream and downstream data links. Recent studies reveal that in order to obtain a flat fading channel the number of sub carriers per TV channel would have to exceed two thousand, which may increase cost and complexity for a standard. On the other hand, performance can be considerably enhanced. IEEE 802.22 allows a variety of modulation schemes to be used within the OFDMA signal: QPSK, 16-QAM and 64-QAM can all be selected with convolutional coding rates of 1/2, 3/4, and 2/3 [3].

Further, since 802.22 operation is unlicensed and a BS serves a large area, co-existence amongst collocated 802.22 cells (henceforth referred to as self-coexistence) is of paramount importance. In order to minimize interference not only to incumbent services but also self interference, effective power control is important. To meet this requirement, 802.22 specifies the Transmission Power Control (TPC) dynamic range to be at least 30 dB with 1 dB steps. Frequency agility is the other ingredient to the coexistence mechanisms of the 802.22 PHY that shall be able to adjust its frequency of operation not only within a short period of time, but also as often as necessary while conserving energy [9].

In order to be able to obtain the required level of performance, it has been necessary to the IEEE 802.22 to adopt a system of what is termed "Channel Bonding". This is a scheme where the IEEE 802.22 system is able to utilize more than one channel at a time to provide the required throughput. In practice the maximum number of channels that are bonded is likely to be limited to three as a result of the front-end bandwidth limitations [7].

The *MAC layer* design. As there is no fixed channel for the system, and no pilot channel can be broadcast, any CPE when turning on and initializing needs to be able to find the signals. Accordingly, when initializing, any CPE first scans the available spectrum to look at channel occupancy. It will detect those channels free of television transmissions. In the remaining empty channels it will then scan for base station pilot signals and acquire any network information. Once it has acquired the correct network it can then proceed to connect to the network.

It is also necessary to have a defined format for the data. To enable the data to be suitably structured, the transmission is formatted into frames and super frames. The super frame is built up from the smaller frames. The super frame is used to provide overall synchronization for the system, and in particular provides the initial network access/entry initialization. Frames are split into two elements: the upstream sub frame and the downstream sub frame. The boundary between these two sub frames is variable and can be adapted to accommodate changes on the levels of upstream and downstream capacity required [1].

An 802.22 cell can operate without causing harmful interference to incumbents, the BS shall instruct its associated CPEs to perform periodic measurement

activities, which may be either in-band or out-of-band. In-band measurement relates to the channel used by the BS to communicate with the CPEs (and also those affected by this communication such as adjacent channels), while out-of-band correspond to all other not affected channels [2].

The 802.22 MAC also incorporates a vast set of functions that allow it to efficiently manage the spectrum. Operations such as switch channels, suspend/resume channel operation, and add/remove channels are among the many actions the MAC may have to take in order to guarantee incumbent protection and effective coexistence.

Coexistence is critical to the 802.22 air interface. To this end, CR techniques are incorporated into 802.22 by means of distributed spectrum sensing, measurements, detection algorithms, and spectrum management.

The 802.22 doesn't only provide its intended service, but also guarantees that existing incumbent services can continue to be provided. With these two goals, it is believed in 802.22 the need for each CPE radio to possess two separate antennas (under the control of a single MAC and PHY): one directional and one omnidirectional (with gain of 0 dBi or higher). The directional antenna would be the operational antenna generally used by a CPE to communicate with the BS. The omnidirectional antenna, on the other hand, would be used primarily for sensing and performing measurements.

The BS vacates a channel if licensed signals are detected above the following thresholds (referenced to the receiver input):

- Digital TV (DTV): -116 dBm over a 6 MHz channel;
- Analog TV: -94 dBm measured at peak of sync of the NTSC picture carrier;
- Wireless microphones: -107 dBm measured in a 200 KHz bandwidth [11].

The response time is the time during which TV broadcast and wireless microphone operation can withstand interference before the 802.22 system vacates the channel. The minimum rate of sensing for TV broadcast could be 1 hour and the vacate time could be no more than 30 minutes, allowing for the distributed sensing mechanism to confirm presence of DTV operation. However, in the case where TV stations are not operating in a continuous mode (e.g., turned off during the night), much faster sensing is needed to vacate the channel when the TV station comes on. Here, the minimum rate of sensing could be 5 minutes and the vacate time no more than 1 minute.

Another functionality required by 802.22 is the maintenance of a table that classifies channels as per availability, such as occupied (e.g., by an incumbent), available (for use by 802.22), and prohibited (cannot be used at all by 802.22). This table is to be updated either by the system operator (e.g., setting certain channels as prohibited) or by the 802.22 sensing mechanism itself.

To avoid the interference that an 802.22 BS/CPE may create to a TV receiver, some of the assumptions made are:

- CPE antenna mounted outdoors at 10 m above ground;

- A minimum separation distance of 10 m between the BS/CPE and DTV receiving antennas;
- The antenna polarization discrimination is assumed to be equal to the DTV antenna back lobe rejection;
- No signal depolarization is assumed between the two antennas.

As depicted in Figure 2, multiple 802.22 BSs and CPEs may operate in the same vicinity and provided appropriate measures are taken at the air interface level, self-interference may render the system useless. This is further aggravated by the fact that 802.22 coverage range can go up to 100 Km, and hence its interference range is larger than in any existing unlicensed technology. Please note that contrary to other bands such as cellular where operators have a dedicated portion of the spectrum licensed for their specific use, 802.22 BSs and CPEs operate in an opportunistic way in an unlicensed spectrum and hence coordination amongst networks of different service providers cannot be assumed and will most likely not exist [6].

Conclusion. As the time of ON and OFF iterations is highly frequent in the CR, the choice between transmission protocols is essential to NOT increase the traffic over the network. The goal is to guarantee that data is transmitted smoothly between the data providers and the end-users. The Wimax 802.16 is used to simulate the high load FTP and high browsing HTTP applications using the Opnet simulator. The Wimax 802.16 node was run over different channels individually to create the environment of CR. This assumption is based on perfect sensing and cancellation of any possibility of interference created by the primary user. The simulated scenario was arranged to test a network of CR's as shown in fig. 3.

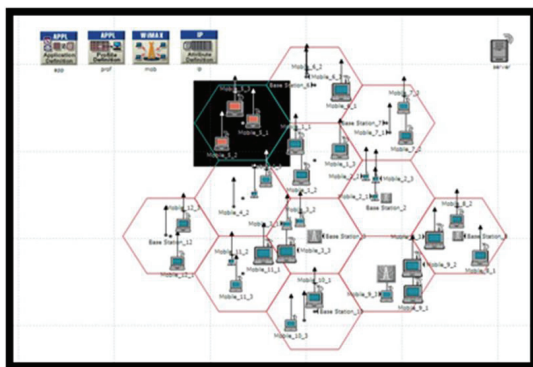


Figure 3 – Creation of cognitive radio network using Wimax

The wireless server acts as the main data provider for different base stations. Routes and transmission trajectories are formed all over the network as each base station should consider neighbouring cells in transmission requests. The Routing Information Protocol next generation (RIPng) was set as the routing protocol for

the network. This protocol is used in the IPv6 for the next generation networks. The operation mode is set to Serial (Ordered) where applications are started after each other in a sequential form. The cyclic order for transmissions was chosen to be uniformly arranged. The simulation was run for 90 minutes and results were taken for cell 5 as labelled on fig. 3. The reason for this is to redirect most of the packets to pass through cell 5. Analysis of performance for the base station shows that Signal-to-Noise Ratio (SNR) in dB is considerably higher for the HTTP than FTP in Uplink average as shown in fig. 6. Whereas, the SNR associated with FTP is slightly higher, on average, than that of HTTP as shown in fig. 5. FTP is also dominant in average uplink/downlink packet dropping over HTTP as shown in figs. 6-7.

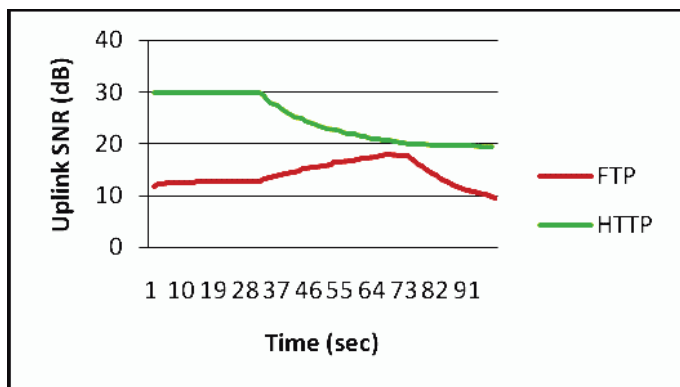


Figure 4 – Average Wimax uplink SNR

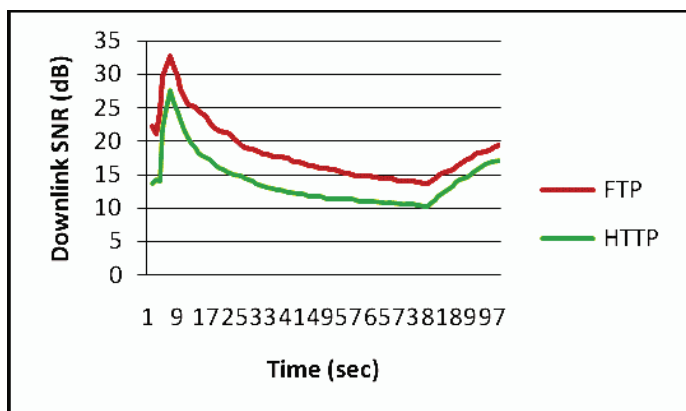


Figure 5 – Average Wimax downlink SNR

Summary. The CRN simulation scenario was designed using the Opnet Wi-max nodes. Simulations were conducted to test the performance of HTTP and FTP

protocols over CRN's. Results show that FTP transmission outperforms the HTTP transmission in terms of SNR. Files transfer may show better performance when dealing with reconfigurable systems. The doubt about the m-learning success using the CRN needs to be further analysed especially in image transfer environment.

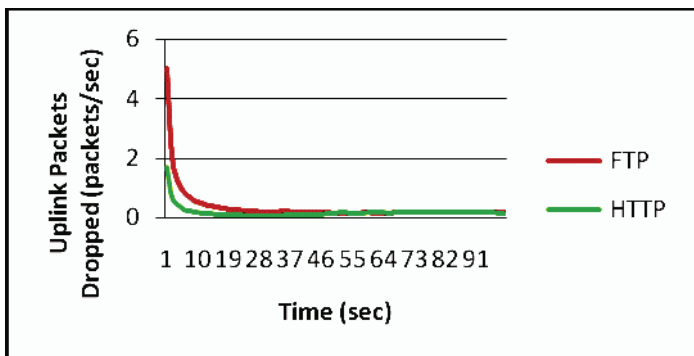


Figure 6 – Average Wimax uplink packets dropped

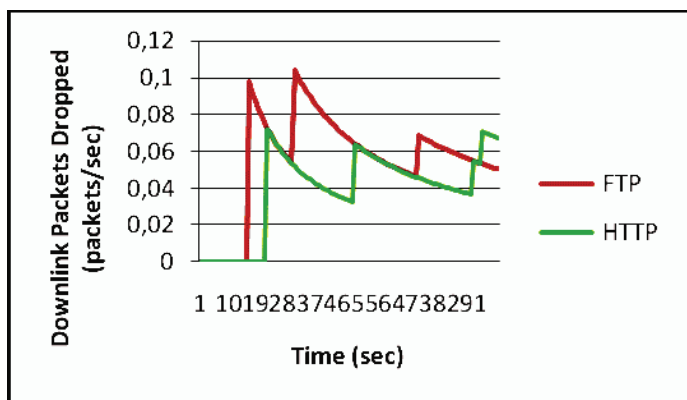


Figure 7 – Average Wimax downlink packets dropped

References: 1. *Soo-Young Chang, Wendong Hu* IEEE 802.22 WRAN Standard PHY/MAC Proposal. – Huawei, NextWave, Runcom, STMicroelectronics, 2006. 2. *Apurva N. Mody Gerald Chouinard* IEEE 802.22 Wireless Regional Area Networks. – Resource [www.ieee802.org/22/technology/22-10-0073-03-0000-802-22-overview-and-core-technologies.pdf], 2010. 3. *Zander (Zhongding) Lei, Sung Hyun Hwang* IEEE 802.22 PHY Overview. – Resource [www.ieee802.org/22/technology/22-10-0106-00-0000-ieee-802-22-phy-overview.pdf], 2010. 4. *Alan J Weissberger* IEEE 802.22 Wireless Regional Area Network (WRAN). – Resource [http://www.viodi.com/newsletter/050302/article1.htm], 2005. 5. *Wendong Hu, Daniel Willkomm* Dynamic Frequency Hopping Communities for Efficient IEEE 802.22 Operation. – STMicroelectronics Inc., Technical University Berlin, University of California, Los Angeles. 6. *Carlos Cordeiro, Kiran Challapali* IEEE 802.22: The First Worldwide Wireless Standard based on Cognitive Radios. – Philips Research USA. 7. *Carlos Cordeiro, Sai Shankar N.* IEEE 802.22: An Introduction to the First Wireless Standard based on Cognitive Radios. – Philips Research North America. 8. *IEEE 802.22 Spectrum Sensing and Cognitive Network.* – Resource [http://radio-

electronics.com/info/wireless/cognitive-network-spectrum-sensing.php.html]. **9.** *Carlos Cordeiro, Kiran Challapali, Monisha Ghosh* Cognitive PHY and MAC Layers for Dynamic Spectrum Access and Sharing of TV Bands. – Philips Research North America. **10.** *Zhuo Yang* Investigations of multiple access protocols in cognitive radio Networks. – A Dissertation for the degree of Doctor of philosophy. Stevens Institute Of Technology, 2010. **11.** *Raed Al-Zubi, Mohammad Z.* Siam Coexistence Problem in IEEE 802.22 Wireless Regional Area Networks. – Department of Electrical and Computer Engineering University of Arizona. **12.** *J. Mitola III* Cognitive radio for flexible mobile multimedia communication // *Proc. IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications (MoMuC)*, November 1999.

Has gone to editorial board 15.10.2012

УДК 681.3.07

Method of modeling the cognitive radio using Opnet Modeler / I. V. Yakovenko, V. M. Poshtarenko, R. V. Kostenko // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 99 (999). – С. 209-217. – Бібліогр.: 12 назв.

Ця стаття являє собою огляд першого бездротового стандарту, заснованого на мережах когнітивного радіо. У роботі були розглянуті основні елементи стандарту IEEE 802.22, такі як структура фізичного і каналного рівнів, топологія системи, смістість системи і задане покриття системи. Також були визначені головні переваги та проблеми стандарту 802.22. Використовуючи пакет OpnetModeler, було промодульовано сегмент CR мережі через Wimax, використовуючи RIPng протокол.

Ключові слова: Wimax, CR, IEEE 802.22, OpnetModeler, SNR, HTTP, FTP, WRAN, полоси телевізійного мовлення, структура фізичного та каналного рівнів, використання спектру, виявлення спектру, топологія, співіснування,

This article is a review of the first wireless standard based on cognitive radio networks. The necessity of wireless networks based on the technology of cognitive radio. An example of the use of standard IEEE 802.22 in Wimax network through which was implemented in the simulation software environment Opnet Modeler. Schedules to check the performance of HTTP and FTP protocols CR network. Simulation results justify the use of standard IEEE 802.22 in wireless networks.

Keywords: Wimax, CR, IEEE 802.22, OpnetModeler, SNR, HTTP, FTP, WRAN, TV broadcast bands, PHY and MAC layer design, spectrum utilization, spectrum sensing, topology, coexistence.

Альошин Г. В. Межі застосування функціоналу правдоподібності при оцінці параметрів сигналу	3
Баранов М. И., Зиньковский В. М., Зябко Ю. П., Игнатенко Н. Н., Круглик Н. И., Цехмистро В.Л. Влияние зарядных резисторов генератора импульсных напряжений на длительность формируемых на нагрузке апериодических импульсов сверхвысокого напряжения	15
Богуславский Л.З., Винниченко Д.В., Назарова Н.С., Овчинникова Л. Е. Физические процессы синтеза аморфного наноуглерода высокочастотным электроразрядным методом из газообразных углеводородов	25
Богуславский Л. З., Мирошниченко Л. Н., Диордийчук В. В., Винниченко Д. В., Ярошинский Н .С. Создание макетных образцов высоковольтного оборудования комплексных систем электрофилтрации экологически опасных промышленных выбросов	31
Бойко Н. И., Коняга С. Ф. Обработка газов импульсным коронным разрядом	39
Винников Д. В., Сакун А. В., Месенко А. П., Корытченко К.В. Экспериментальное исследование кумуляции ударных волн, создаваемых электрическим взрывом проволочек	42
Воронина З. А., Глебов О. Ю., Доценко В. И., Жинжиков В. М., Колиушко Г. М. Методика и результаты проведения диагностики заземляющих устройств	49
Горбенко В. Н. Проект отраслевого стандарта ГП НАЭК «Энергоатом» по электромагнитной совместимости технических средств	59
Гулько В. И., Дмитришин А. Я., Онищенко Л. И., Топоров С. О., Перекупка И. А. Разработка высоковольтных импульсных конденсаторов с пленочным диэлектриком	65
Дмитришин А. Я., Гулько В. И., Топоров С. О., Слепец Е. Н. Исследование тепловых режимов работы высоковольтных импульсных конденсаторов для погружных электроразрядных комплексов	71
Жаркин А. Ф., Новский В. А., Палачев С. А. Нормативные и технические аспекты обеспечения стандартных характеристик напряжения в системах электроснабжения Украины	76
Князев В. В., Мельников П. Н., Чернухин А. Ю. Сравнение характеристик эталонных образцов стержневых молниеприемников	84
Князев В. В., Немченко Ю. С., Лесной И. П., Сомхивев С. Б., Скобликов А. Ю. Реализация испытаний устойчивости бортового авиационного оборудования к переходным процессам, которые вызваны молнией	90
Князев В. В., Немченко Ю. С., Лесной И. П., Сомхивев С. Б., Скобликов А. Ю. Установка У-ГИГ для испытаний технических средств на невосприимчивость к низкочастотным гармоникам и интергармоникам, включая сигналы систем передачи на портах сети питания переменного тока	109

Коробко А. И. Крупногабаритный генератор мощного импульсного электромагнитного излучения субнаносекундного диапазона ИЭМИ-1,2М	122
Кравець В. О., Шевцова В. В., Савченко А. В. Аналіз методів побудови функцій приналежності при обробці експертних знань	126
Обод І. І., Свид І. В., Шевцова В. В. Оцінка якості передачі інформації запитальними каналами передачі при використанні сучасних методів модуляції	133
Пустовойтов П. Е., Круглов Р. А., Судаков С. В. Анализ показателей надежности компьютерной сети для различных вариантов управления потоками пакетов	138
Райченко А. И., Сизоненко О. Н., Деревянко А. В., Колесниченко В. Г., Григорьев Е. Г., Ивлиев А. И. Особенности воздействия электрического разряда в процессе консолидации порошков	146
Рудаков В. В., Кравченко В. П., Дубийчук О. Ю. Высоковольтный импульсный конденсатор с ограниченным ресурсом	154
Скобликов С. Ю. Применение алгоритмов растровой графики для сопоставления элементов числовых множеств	161
Степаненко Ю. Г. Аналіз ансамблевих властивостей переставних сигналів	168
Судаков Б. Н., Пантелеева Н. А. Модели формального представления предметной области для экспертных систем	173
Судаков Б. Н., Шмакова А. А. Синтез связного естественно-языкового текста в экспертных системах	178
Судаков Б. Н., Ярмак М. Ю. Формальное представление семантики естественно-языковых текстов в экспертных системах	184
Христо А. И. Магнитно-транзисторный генератор для формирования высоковольтных импульсов субмикросекундной длительности	190
Юферов В. Б., Озеров А. Н., Винников Д. В., Буравилов И. В., Пономарев А. Н. Электроимпульсное измельчение эластичных материалов в среде жидкого азота	202
Yakovenko I. V., Poshtarenko V. M., Kostenko R. V. Method of modeling the cognitive radio using Opnet Modeler	209

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ХПІ»**

Збірник наукових праць

Серія:

Техніка та електрофізика високих напруг

№ 52 (958)

Науковий редактор: д-р техн. наук, проф. В. І. Кравченко

Технічний редактор: канд. фіз.-мат наук, ст. наук. співр. Л. В. Ваврів

Відповідальний за випуск: канд. техн. наук Г. Б. Обухова

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЙ: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

НТУ «ХПІ». НДПКІ «Молнія».

Тел. (057) 707-63-09. E-mail: vavriv@rambler.ru

Обл.-вид № 156-12.

Підп. до друку 07.11.2012 р. Формат 60×84 1/16. Папір офсетний.

Друк офсетний. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 9,75. Облік.-вид. арк. 10.

Тираж 100 пр. Зам. № 23. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво про державну реєстрацію
суб'єкта видавничої справи ДК № 3657 від 24.12.2009 р.

61002, Харків, вл Фрунзе, 21

Друкарня ВАТ «Цифра Прінт».

Свідоцтво про Державну реєстрацію А01 № 432705 від 03.08.2009 р.

Адреса: 61166, м. Харків, вул. Культури, 22-Б.
