

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут"

ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХПІ"

**Серія: Проблеми удосконалення електричних машин
і апаратів. Теорія і практика**

№ 41 (1084) 2014

Збірник наукових праць

Видання засновано у 1961 р.

Харків
НТУ "ХПІ", 2014

Вісник Національного технічного університету "ХПІ".

Збірник наукових праць. Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ". – 2014. – № 41 (1084). – 140 с.

Державне видання

Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України

КВ № 5256 від 2 липня 2001 року

Збірник виходить українською і російською мовами.

Вісник Національного технічного університету "ХПІ" включено 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. стор. 3, № 20).

У квітні 2013 р. Вісник НТУ "ХПІ" Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів включений у довідник періодичних видань бази даних Ulrich's Periodical Directory (New Jersey, USA).

Координаційна рада:

Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф. (**голова**);

К.А. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук, доц. (**секретар**);

А.П. МАРЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.; Є.І. СОКОЛ, чл.-кор. НАНУ, д-р техн. наук,

проф.; Є.Є. АЛЕКСАНДРОВ, д-р техн. наук, проф.; А.В. БОЙКО, д-р техн. наук, проф.;

Ф.Ф. ГЛАДКИЙ, д-р техн. наук, проф.; М.Д. ГОДЛЕВСКИЙ, д-р техн. наук, проф.;

А.І. ГРАБЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.; В.Г. ДАНЬКО, д-р техн. наук, проф.;

В.Д. ДМИТРИЄНКО, д-р техн. наук, проф.; І.Ф. ДОМНІН, д-р техн. наук, проф.;

В.В. СПІФАНОВ, 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.; М.А. ТКАЧУК, д-р техн. наук, проф.

Редакційна колегія серії:

Відповідальний редактор: Б.В. Клименко, д-р техн. наук, проф.

Заступник відповідального редактора: В.Ф. Боллох, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний секретар: І.С. Варшимова, асистент.

Члени редколегії: Є.І. Сокол, чл.-кор. НАНУ, д-р техн. наук, проф.; В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.; В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.; В.І. Кравченко, д-р техн. наук, проф.; В.І. Мілих, д-р техн. наук, проф.; Г.М. Сучков, д.т.н., проф.; В.Ю. Райнін, д-р техн. наук, проф.

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ "ХПІ";

Протокол № 8 від 26.09.2014.

Е.И. БАЙДА, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ"

МУЛЬТИФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ГРАНИЧНОГО ТОКА СВАРИВАНИЯ КОНТАКТОВ ВАКУУМНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

Рассмотрена мультифизическая модель изменения площади контакта нагруженных тел в функции температуры контактной поверхности. Описана математическая постановка задачи и приведен пример расчета граничного тока сваривания. Разработанная модель базируется на комплексных расчетах теории упругости и теплопередачи. Показана зависимость контактных давлений размеров контактной площадки в функции температуры. Установлено, что значение температуры контактной площадки существенно зависит от температуры удаленных точек при протекании аварийных сверхтоков. Разработанная методика может применяться для оценки и расчета термической стойкости электрических аппаратов.

Ключевые слова: вакуумный выключатель, ток сваривания, площадь контакта.

Введение. Одним из требований технического задания на проектирование вакуумных выключателей средних напряжений является условие термической стойкости. Это условие заключается в нормальном функционировании аппарата после прохождения через его контакты априори заданного тока в течение определенного промежутка времени (ток 20 кА (действующее значение), время – 3 секунды). Для оценки этого параметра (термической стойкости) необходимо иметь зависимость радиуса контактной площадки в функции температуры ее нагрева и значение граничного тока сваривания контактов.

Цель статьи. Разработка и исследование математической модели по определению граничных токов сваривания контактов вакуумных выключателей на напряжение (6-10) кВ и номинальный ток 1250 А.

Основная часть.

Допущения, принятые в модели:

- вид контакта – линейный;
- постоянная времени нагрева контактной поверхности невелика (0,1 мс) [1];
- температура контактной поверхности "мгновенно" отслеживает изменение температуры любой ее точки (мала постоянная времени);
- модуль упругости материала является линейной функцией температуры [2].

Расчетная модель контактной поверхности показана на рис. 1.

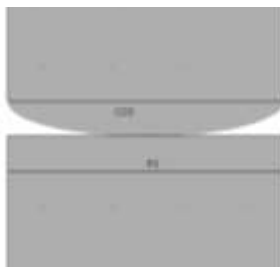


Рис.1 – Расчетная модель контактной поверхности:
CO3, R1 – программные названия расчетных областей

Нижний контакт (верхняя часть которого представляет собой полый цилиндр) показан на рис. 2.



Рис. 2 – Нижний подвижный контакт

Расчет проводился исходя из значения конечного контактного нажатия 2,5 кН (согласно техническим условиям на выключатель); сквозной ток короткого замыкания по ТУ на выключатель – 20 кА (действующее значение); материал контактов – медь; время протекания тока – 3 с.

Методика расчета граничного тока сваривания:

1. На основании решения мультифизической задачи (совместное решение уравнений теории упругости и теплопроводности) определяется зависимость эквивалентной площади контактной площадки в функции температуры (при заданном контактном нажатии). Полученные дискретные данные аппроксимируются сплайном.

2. На основании температуры нагрева контактной площадки и с учетом адиабатического нагрева тела контакта сквозным током короткого замыкания при задаваемой температуре контактной площадки определяется граничный ток сваривания.

3. Проводится сравнительный анализ полученного значения граничного сквозного тока со значением, заданным в технических условиях на выключатель (значение тока по ТУ должно быть меньше расчетного).

Математическая модель.

Уравнения для определения площади контакта [3-5]:

$$\begin{aligned} \nabla \cdot ((\lambda(\vartheta) + G(\vartheta)) \cdot \operatorname{div}(\vec{u})) + \nabla \cdot (G(\vartheta) \cdot \nabla \vec{u}) &= 0; \\ \nabla \cdot (k(\vartheta) \cdot \nabla \vartheta) &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где λ , G – коэффициенты, зависящие от модуля упругости (который линейно изменялся в зависимости от температуры) и коэффициента Пуассона; $\vec{u}$ – вектор перемещений; k – коэффициент теплопроводности; ϑ – температура.

Уравнение (1) должно быть дополнено граничными условиями: фиксация нижней поверхности контакта и задание контактное нажатие на верхней поверхности.

Уравнения адиабатического нагрева [5-6]:

$$\begin{cases} c \cdot \gamma \cdot \frac{d\vartheta_0(t)}{dt} = j^2 \cdot \rho_s \cdot (1 + \alpha \cdot (\vartheta_0(t) - \vartheta_s)); \\ \vartheta_0(0) = \vartheta_u, \end{cases} \quad (2)$$

где c – теплоемкость; γ – плотность материала; j – плотность тока удаленного участка; ϑ_u – установившееся значение температуры в номинальном режиме.

Уравнение нагрева контактной площадки [6]:

$$\arccos\left(\frac{\vartheta_0(t) + 273}{\vartheta_m(t) + 273}\right) = \frac{I \cdot \sqrt{L}}{4 \cdot k(\vartheta_m(t)) \cdot a_e(\vartheta_m(t))}, \quad (3)$$

где $\vartheta_0(t)$ – температура удаленной от контактной поверхности точки; $\vartheta_m(t)$ – температура контактной поверхности; I – действующее значение тока; L – постоянная Лоренца; k – коэффициент теплопроводности; a_e – эквивалентный радиус площади контакта.

В соответствии с предложенным алгоритмом, подстановка аналитического решения (2) в (3), совместно с данными полученными на основании решения (1) – определение эквивалентного радиуса контактной площадки в функции температуры – дает возможность определить значение граничного тока сваривания контактов.

Результаты расчетов.

На рис. 3 показано распределение удельных усилий в теле контактов.

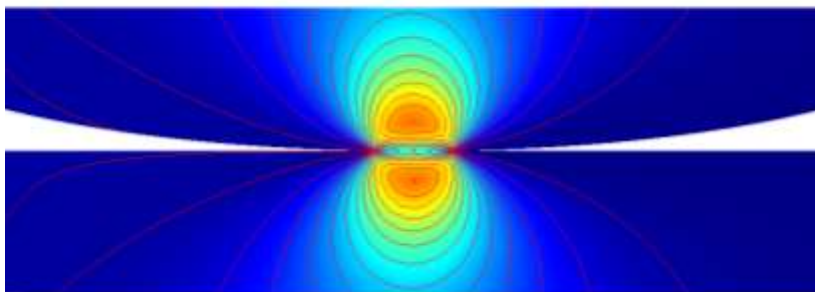


Рис.3 – Распределение напряжений в теле контакта

На рис. 4 показано изменение ширины контактной площадки в долях температуры плавления, где 0 – температура окружающей среды (длина площадки неизменна – длина окружности).

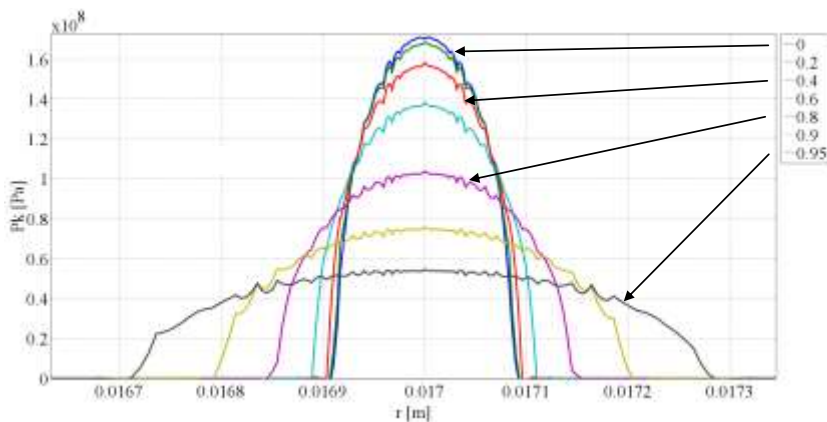


Рис. 4 – Изменение ширины контактной площадки в функции температуры в долях температуры плавления

На рис. 5 показано изменение удельного давления в центре контактной площадки в долях температуры плавления.

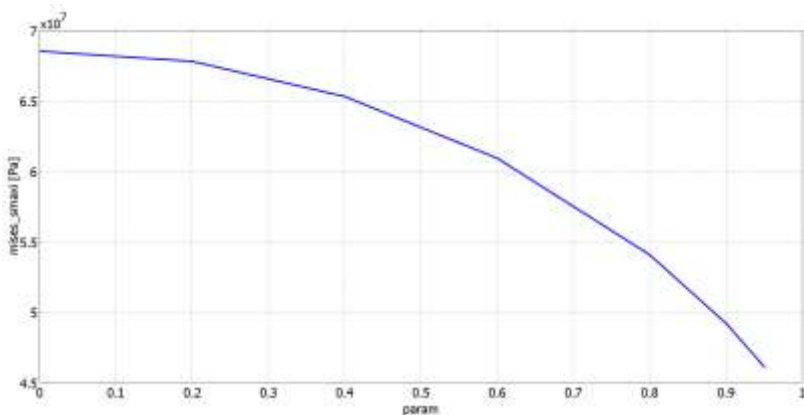


Рис. 5 – Изменение давления в центре контактной площадки в зависимости от температуры

Изменение эквивалентного радиуса контактной площадки показано на рис. 6.

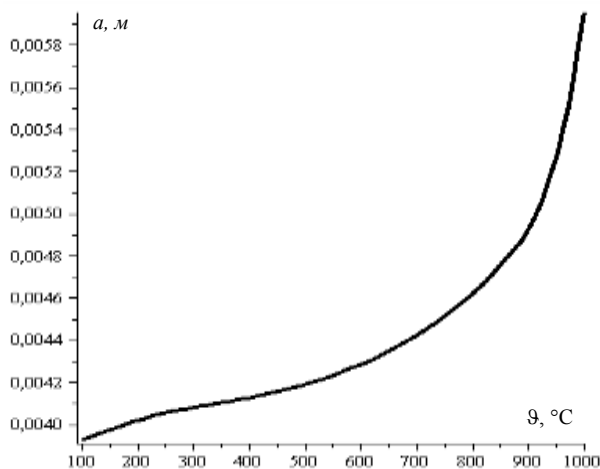


Рис. 6 – Изменение эквивалентного радиуса в функции температуры

Полученных данных вполне достаточно для определения граничного тока сваривания.

Определение граничного тока сваривания.

Из [1, 2, 6] известно, что сваривание электрических контактов может наступить при температуре много ниже, чем температура плавления материала. Это, так называемое, холодное сваривание. Этому процессу способствуют значительные контактные нажатия и температура нагрева контактов. Как правило, за минимальную температуру холодного сваривания принимается температура рекристаллизации материала, за которую в металлургии принимают температуру 0,4 от температуры плавления [7].

В этом случае задавшись временем протекания тока равным 3 с, получим уравнение (3) относительно граничного тока сваривания:

$$\arccos\left(\frac{\vartheta_0(I)+273}{0,4 \cdot \vartheta_{pl}+273}\right) = \frac{I \cdot \sqrt{L}}{4 \cdot k(0,4 \cdot \vartheta_{pl}) \cdot a_e(0,4 \cdot \vartheta_{pl})}, \quad (4)$$

где ϑ_{pl} – температура плавления материала.

В результате получено значение граничного тока сваривания:

$$I_{gs} = 25800 \text{ A}.$$

Так как согласно ТУ, действующее значение тока сквозного тока равно $I_s = 20 \text{ кА}$, то:

$$I_s < I_{gs}.$$

Полученные данные хорошо согласуются с экспериментальными данными, приведенными в [1], из которых следует, что контактное нажатие должно определяться исходя из соотношения:

$$F_k \geq 10 \cdot I, \quad (5)$$

где F_k – контактное нажатие в кг; I – ток, заданный по ТУ в кА.

Выводы. 1. Разработанная математическая модель является достаточно общей и может быть применена для любых силовых аппаратов. 2. Модель позволяет решить обратную задачу – определить температуру контактной поверхности при заданном аварийном сверхтоке и имеющимся контактным нажатии. 3. Данная модель, в отличие от имеющихся моделей, учитывает влияние температуры нагрева удаленной от контактной площадки точки в режиме протекания сверхтока. 4. Задавшись значением номинального тока, можно определить температуру нагрева контактной поверхности в номинальном режиме. 5. Данная модель позволяет проследить изменение значения переходного контактного сопротивления. 6. Модель позволяет оценить вклад температуры удаленной точки в температуру контактной поверхности в аварийных режимах и выбрать сечение токопровода.

Список литературы: 1. Кузнецов Р.С. Аппараты распределения электрической энергии на напряжение до 1000 В / Р.С. Кузнецов. – М.: Энергия, 1970. – 544 с. 2. Адоньев Н.М. Справочник по расчету и конструированию контактных частей силовых электрических аппаратов / Афанасьев В.В., Борисов В.В. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 425 с. 3. Френкель Я.И. Курс теоретической механики / Я.И. Френкель – Ленинград: Типография "Красный печатник", 1939. – 386 с. 4. Тимошенко С.П. Теория упругости: Пер. с англ. / Дж. Гудьер, С.П. Тимошенко [под редакцией Г.С. Шапиро]. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 560 с. 5. Ким Е.И. Математические модели тепловых процессов в электрических контактах / В.Т. Омельченко, С.Н. Харин, Е.И. Ким. – Алма-Ата: Наука Каз.ССР, 1977. – 236 с. 6. Залесский А.М. Тепловые расчеты электрических аппаратов / А.М. Залесский, Г.А. Кукеков. – Л-д., Энергия, 1973. – 379 с. 7. Википедия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: ru.wikipedia.org/wiki/Рекристаллизация.

Bibliography (transliterated): 1. Kuznetsov R.C. *Apparati raspredeleniya elektricheskoy energii do 1000 V*. Moscow: Energiya, 1970. Print. 2. Adoniev N.M. *Spravochnik po raschetu i ronstruirovaniu kontaktnix hastey elektricheskix aparatov*. Moscow: Energoatomizdat, 1988. Print. 3. Frenkel Y.I. *Kurs teoretiheskoy mexaniki*. Leningrad, 1939. Print. 4. Timohenko C.P. *Teoriya uprugosti*. Moscow: Nauka, 1979. Print. 5. Kim E.I. *Matematicheskie modeli teplovix procesov v elektricheskix kontaktax*. Alma-Ata: Nauka Kaz.SSR, 1977. Print. 6. Zaleskiy A.M., Kukekov G.A. *Teplovie rasheti tletrihseskix aparatov*. L-d.: Energiya, 1973. Print. 7. Vikipediya. Web. <ru.wikipedia.org/wiki/Rekristalizaciya>.

Поступила (received) 22.09.14



Байда Евгений Иванович, доцент, кандидат технических наук. Защитил диплом инженера-электромеханика по специальности "Электрические машины и аппараты" в 1977 г., диссертацию кандидата технических наук в Харьковском политехническом институте по специальности "Электрические машины и аппараты" в 1999 г. Доцент кафедры "Электрические аппараты" Национального технического университета "Харьковский политехнический институт". Научные интересы связаны с расчетами электромагнитных и тепловых полей.

Л.Б. ЖОРНЯК, канд. техн. наук, доц., ЗНТУ, Запорожье

В.И. ОСИНСКАЯ, ст. преподаватель, ЗНТУ, Запорожье

А.С. ПАЛЬЦУН, студент, ЗНТУ, Запорожье

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ШУНТИРУЮЩИХ РЕАКТОРОВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Исследованы пути повышения качества напряжения в сетях энергоемких потребителей электроэнергии. Наличие в электросетях реактивной мощности значительно снижает качество потребляемой электроэнергии, что приводит к потерям мощности, просадкам и перепадам напряжения в линиях электропередач, вынужденному завышению мощности силовых трансформаторов и сечения кабелей в этих сетях. Предложено техническое решение для снижения добавочных потерь шунтирующих реакторов большой мощности и проведен анализ влияния различных типов обмоточного провода на эти потери.

Ключевые слова: шунтирующий реактор, активные и добавочные потери, транспонированный и подразделенный обмоточный провод, реактивная мощность, экономичность.

Введение. Задачей любой энергосистемы является выработка, передача и распределение электроэнергии требуемого качества и стоимости с минимальным риском для людей и окружающей среды. Наиболее распространенная причина аварийных ситуаций на подстанциях различной мощности во время эксплуатации – это повреждение силовых трансформаторов, высоковольтных выключателей и реакторов, которые являются одними из главных элементов в системе передачи и распределения электрической энергии. В электроэнергетике Украины, также как и в других странах, в настоящее время в эксплуатации находится большое количество силовых трансформаторов, выключателей и реакторов с длительным сроком службы, который, как правило, составляет 25 лет, и значительная часть этого оборудования уже отработала этот нормативный срок [1]. Однако, показатели качества напряжения у потребителей электроэнергии часто не отвечают установленным нормам. Это свойственно как для производственных, так и для городских сетей. Проблема качества электроэнергии тесно связана с надежностью и ресурсом работы различного рода потребителей.

Такие потребители электроэнергии, как трансформаторы, асинхронные двигатели, оборудование для дуговой сварки и другие, имеют переменный магнитный поток, связанный с обмотками, вследствие чего в них индуцируются реактивные э.д.с., обуславливающие сдвиг по фазе (φ) между напряжением и током. Они потребляют как активную, так и реак-

© Л.Б. Жорняк, В.И. Осинская, А.С. Пальцун, 2014

тивную мощности, что приводит к увеличению полной мощности по отношению к активной составляющей мощности в среднем на 20-25 % [2].

Наличие в электросетях реактивной мощности значительно снижает качество потребляемой электроэнергии, что приводит к потерям мощности, просадкам и перепадам напряжения в линиях электропередач, вынужденному завышению мощности силовых трансформаторов и сечения кабелей в этих сетях. В конечном счете, все эти причины приводят к увеличению себестоимости электроэнергии, что отражается на ее потребителе.

Из трех основных направлений повышения качества электроэнергии (рационализация средств электроснабжения, усовершенствование самих потребителей, использование устройств коррекции качества – регуляторов одного или нескольких параметров электроэнергии [2, 3]) наиболее экономически предпочтительным представляется второе направление, которое позволяет обеспечить номинальную загрузку электродвигателей, использование многофазных схем выпрямления, включение в состав потребителя корректирующих устройств и т.д. поскольку изменение структуры сети или обновление всех потребителей требует значительных затрат. В частности, одним из основных методов решения данной проблемы является применение шунтирующих реакторов, которые позволяют снизить емкостные токи, избыточную реактивную мощность сети, а также ограничить токи короткого замыкания в линиях электропередач. Кроме того, шунтирующий реактор нормализует в них уровень колебаний напряжения, которые не должны превышать 2 %. Наличие таких реакторов значительно снижает активные потери электроэнергии на 15-20 %, и уменьшает износ коммутационного оборудования высокой стоимости при эксплуатации в 10 и более раз [3]. Опыт эксплуатации шунтирующих реакторов энергоснабжающими организациями показывает, что реакторы с номинальным напряжением 550-800 кВ обладают высокими потерями, измеряемыми сотнями кВт, основу которых составляют потери в обмотке шунтирующего реактора [3, 4].

Постановка задачи. Целью данной работы является анализ влияния различных типов обмоточного провода, которые применяются в шунтирующих реакторах большой мощности в современном производстве, на добавочные потери. Кроме того, проверка возможности их снижения за счет предложенного технического решения.

Материал и результаты исследования. Как известно, активные потери (пропорциональные квадрату тока и сопротивлению обмотки), а также добавочные потери в обмотке (сумма потерь от вихревых

и циркулирующих токов), составляют полные потери в обмотке. Снижение активных потерь возможно за счет конструктивного увеличения площади сечения обмоточного провода, а соответственно массы, габаритных размеров и, в конечном счете, стоимости реактора. С экономической точки зрения это нецелесообразно. Альтернативным вариантом снижения потерь в обмотке является минимизация добавочных потерь. Такой результат возможно реализовать за счет технического решения, заключающегося в изменении технологии наложения обмоточного провода. Исследования проводились на примере однофазного шунтирующего реактора мощностью 110000 кВАр и напряжением 750 кВ производства ПАТ "Запорожтрансформатор" (рис. 1) для двух вариантов обмоточного провода.



Рис. 1 – Однофазный шунтирующий реактор РОМ – 110000/750

Рассматриваемый шунтирующий реактор изготавливается с обмоткой из подразделенного провода типа ПБП-У с двумя жилами (рис. 2). Для обеспечения необходимой плотности тока, а также из-за недостаточной площади сечения такого провода обмотка наматывается в четыре параллельных провода, что создает определенные технологические трудности. Кроме того, расчеты, проведенные по методике [4, 5] для такого варианта обмотки показали, что общие потери в обмотке равны 134,4 кВт, доля добавочных потерь из которых составляет 21,0 кВт.

Рассмотренный авторами [7] другой вариант обмоточного провода – транспонированный провод ПТБ-У с 12 элементарными проводниками

(рис. 3) позволяет значительно упростить процесс изготовления обмоток. Это позволяет уменьшить добавочные потери в обмотках от вихревых токов благодаря относительно малым размерам элементарных проводников (поскольку добавочные потери пропорциональны квадрату размера сечения), а также практически исключить потери от циркулирующих токов благодаря частой предварительной транспозиции проводов с шагом около 100 мм механизированным способом. Расчеты потерь в обмотке в таком случае показали, что полные потери уменьшились и стали составлять 121,1 кВт, а доля добавочных потерь уменьшилась до 8,9 кВт.

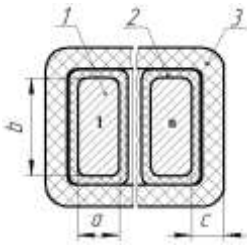


Рис. 2 – Подразделенный обмоточный провод: 1 – токопроводящая жила, представляющая собой медную проволоку прямоугольного сечения, размер которой по стороне a – от 1,4 мм до 4,25 мм, по стороне b – от 7,5 мм до 17 мм, число проводников n – от двух до трех; 2 – изоляция элементарного проводника из лент трансформаторной бумаги; 3 – изоляция провода из лент кабельной и трансформаторной бумаги класса нагревостойкости А, толщина изоляции от 1,36 до 2,96 мм (размер c)

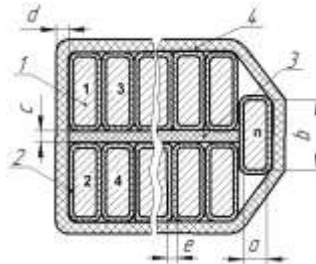


Рис. 3 – Транспонированный провод: 1 – элементарный проводник, представляющий собой эмалированный медный провод прямоугольного сечения, размеры которого по стороне a – от 1,8 мм до 3,55 мм, по стороне b – от 3,75 мм до 8,5 мм, количество проводников n обычно нечетное – от 5 до 35; 2 – изоляция элементарного проводника из лент трансформаторной бумаги, номинальная удвоенная толщина изоляции для транспонированного провода составляет от 2 до 3,6 мм (размер e); 3 – прокладка из кабельной бумаги, (размер c) 0,24 мм; 4 – общая изоляция провода из лент кабельной и трансформаторной бумаги класса нагревостойкости А, толщина которой составляет от 1,36 до 2,96 мм (размер d)

С другой стороны необходимо учитывать возможность снижения электродинамической (механической) стойкости обмоток при коротких замыканиях, от чего они могут быть подвержены радиальным, осевым, тангенциальным деформациям [6]. Эту проблему при производстве шунтирующих реакторов большой мощности можно решить технологически за счет принятия специальных мер для повышения механической прочности и устойчивости при коротких

замыканиях. Например, возможен вариант склеивания элементарных проводников транспонированного провода.

Выводы. Повышение качества электроэнергии за счет снижения реактивной составляющей в линиях электропередач любой энергосистемы страны возможно за счет применения шунтирующих реакторов. Большая часть шунтирующих реакторов, находящихся в эксплуатации энергосистемы Украины, была произведена в СССР, поэтому они не в полной мере отвечают современным требованиям и тенденциям развития электроаппаратостроения, имеют высокие потери, что снижает эффективность энергосистемы в целом.

Поэтому модернизация, направленная на повышение экономичности без ухудшения технико-экономических параметров, в частности за счет новых технических и технологических решений позволит получить экономический эффект за счет снижения себестоимости электроэнергии в общем. Так, применение транспонированного провода вместо подразделенного, при намотке катушек мощных шунтирующих реакторов позволит снизить добавочные потери и уменьшить технологические затраты при изготовлении обмоток. Например, для шунтирующего реактора РОМ – 110000/750 эта величина снижается на 12,1 кВт.

Список литературы: 1. Энергетика світу та України. Цифри та факти. – Київ: Українські енциклопедичні знання, 2005. – 404 с. 2. Розанов Ю.К., Рябчинский М.В. Современные методы улучшения качества электроэнергии (аналитический обзор) // Электротехника. – 1998. – № 3, С. 10-17. 3. Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. – К.: Техника, 1981. – 160 с. 4. Лейтес Л.В. Электромагнитный расчет трансформаторов и реакторов. – М.: Энергия, 1981. – 392 с. 5. Методика расчета шунтирующего реактора РОМ 110000/750 – 672762.018 РРЗ ЗТР. 6. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 529 с. 7. Панибратец А.Н., Федотов А.И. Перспективные требования к обмоточным проводам для трансформаторов и реакторов // Наука и техника. – 2008. – № 5, С. 12-19.

Bibliography (transliterated): 1. Energetika svitu ta Ukraini., Cifri ta fakti. Kiev: Ukrainski enciklopedichni, 2005. 404 p. Print. 2. Rozanov, U.K., Riabchinskij, M.V. "Sovremenie metody uluchshenija kachestva el'ektroenergii (analiticheskij obzor)." *El'ektrotiehnika*, No. 3. 1998. 10-17. Print. 3. Zhezhelienko, I.V. *Pokazateli kachestva el'ektroenergii i ih kontrol na promishlennih predprijatijah*. Kiev: Technika, 1981. 160 p. Print. 4. Liejtjes, L.V. *El'ektromagnitnij raschet transformatorov i rieaktorov*. Moskva: Energija, 1981. 392 p. Print. 5. Mietidika raschieta shuntirujushiego rieaktora ROM 11000/750-672762.018 RRZ ZTR. 6. Tihomirov, P.M. *Raschet transformatorov*. Moskva: Energoatomizdat, 1986. 529 p. Print. 7. Panibratiec, A.N., Fiedotov, A.I. "Pierspiektivnije triebovanija k obmotochnim provodam dlia transformatorov". *Nauka i tiehnika*, No. 5. 2008. 12-19. Print.

Поступила (received) 08.10.2014



Жорняк Людмила Борисовна, кандидат технических наук, доцент. Защитила диплом инженера в Запорожском машиностроительном институте им. В.Я. Чубаря по специальности электрические аппараты в 1982 г., диссертацию кандидата технических наук в Харьковском национальном техническом университете "ХПИ" по специальности электрические машины и аппараты в 2004 г. Доцент кафедры "Электрические и электронные аппараты" Запорожского национального технического университета с 2005 г. Научные интересы связаны с исследованием повышения надежности и работоспособности электрических аппаратов и оборудования энергоемких производств.



Осинская Валентина Ивановна, старший преподаватель. Защитила диплом инженера в Коммунарском горно-металлургическом институте по специальности электрические машины и аппараты в 1971 г. Старший преподаватель кафедры "Электрические и электронные аппараты" Запорожского национального технического университета с 2007 г. Научные интересы связаны с исследованием повышения надежности и работоспособности электрических аппаратов и оборудования энергоемких производств.



Пальцун Андрей Сергеевич, студент. Запорожского национального технического университета, кафедры "Электрические и электронные аппараты".

М.Г. ПАНТЕЛЯТ, канд. фіз.-мат. наук, НТУ "ХПІ"

Ю.В. ГУРЕНЦОВ, студент, НТУ "ХПІ"

МЕТОДИКА КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДОМ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ІНДУКЦІЙНОЇ КУХОННОЇ ПЛИТИ

В статті запропонована методика чисельного аналізу розподілу електромагнітного поля побутової індукційної плити. Математична модель електромагнітних процесів в конструкціях, що розглядаються, представляє собою підсистему рівнянь Максвелла в диференційній формі без урахування струмів зсуву. Розрахунок електромагнітного поля виконується у двовимірній постановці методом скінчених елементів з використанням векторного магнітного потенціалу. У загальному випадку, враховуються магнітні властивості феромагнітних матеріалів магнітопроводу індукційної плити та посуду, що нагрівається. Чисельні дослідження планується виконувати з використанням пакета програм EleFAnT2D, розробленого в Інституті основ та теорії електротехніки Технічного університету м. Грац, Австрія.

Ключові слова: індукційна кухонна плита, електромагнітне поле, комп'ютерне моделювання, метод скінчених елементів

Вступ. В основу принципу дії побутових індукційних кухонних плит покладено розігрів металевого посуду вихровими струмами, які створюються електромагнітним полем частотою 20-100 кГц [1, 2]. В роботі [3] авторами виконано огляд конструкцій сучасних індукційних плит, а також розроблено та апробовано інженерну методику розрахунку та проектування основного конструктивного елемента такої плити – індуктору (плоскої одновиткової або багатовиткової котушки, при протіканні по якій змінного струму створюється електромагнітне поле, яке індуктує в свою чергу вихрові струми в посуді, що нагрівається). Основні результати розрахунку індуктора (геометрія, електричні та енергетичні величини, кількість витків) повинні бути перевірені та уточнені шляхом комп'ютерного моделювання розподілу електромагнітного (а потім і температурного) поля індукційної плити в процесі її експлуатації. На першому етапі досліджень доцільно побудувати та використовувати математичну модель та методику чисельного аналізу електромагнітних процесів в індукційних плитах. Наступним кроком є комп'ютерне моделювання зв'язаних (мультифізичних) електромагнітних та теплових явищ, що мають місце в процесі роботи індукційних кухонних плит, з урахуванням їх взаємного впливу одне на інше.

Мета роботи – розробка математичної моделі та методики

© М.Г. Пантелят, Ю.В. Гуренцов, 2014

чисельного аналізу розподілу електромагнітного поля індукційної кухонної плити.

Отримані результати комп'ютерного моделювання будуть проаналізовані в наступних роботах.

Математична модель електромагнітних процесів в індукційних плитах. На погляд авторів, математична модель повинна мати наступні основні елементи:

- основні рівняння (або система рівнянь), що описують явище або процес, що досліджується (в нашому випадку – розподіл електромагнітного поля побутової індукційної кухонної плити);

- обґрунтовані припущення, що дозволяють спростити рівняння, що підлягає або підлягають розв'язанню;

- геометрія об'єкта, що досліджується (в нашому випадку – конструкція індукційної кухонної плити), та міркування, що дозволяють її спростити (наприклад, умови симетрії конструкції, що розглядається);

- початкові та граничні умови;

- властивості матеріалів конструкції та їх нелінійні характеристики (у випадку індукційної плити – електрофізичні властивості: величини питомої електричної провідності матеріалів, а також основні криві намагніченості магнітом'яких феромагнітних матеріалів або залежності магнітної проникності матеріалів від напруженості магнітного поля; явище магнітного гістерезису не враховується);

- величини, що характеризують "зовнішній вплив" на об'єкт дослідження або зовнішні навантаження та їх джерела (у випадку індукційної плити: амплітудне значення сили струму або щільності струму в індукторі, а також частота електромагнітних коливань).

Розглянемо послідовно побудову математичної моделі електромагнітних процесів в індукційних кухонних плитах.

1) Розподіл нестационарного електромагнітного поля у просторі та часі у загальному випадку описується системою рівнянь Максвелла у диференційній формі [4, 5]. Оскільки частота електромагнітних коливань в індукційних плитах не перевищує 100 кГц, доцільно знехтувати струмами зсуву та розв'язувати наступну підсистему рівнянь Максвелла з урахуванням лише струмів провідності (без урахування струмів зсуву) [4, 5]:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \mathbf{H} &= \mathbf{J}; \\ \operatorname{rot} \mathbf{E} &= -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}; \\ \operatorname{div} \mathbf{B} &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

де $\mathbf{H}$ – вектор напруженості магнітного поля; $\mathbf{B}$ – вектор індукції магнітного поля; $\mathbf{E}$ – вектор напруженості електричного поля; $\mathbf{J}$ – вектор щільності струмів провідності.

Система рівнянь (1) доповнюється так званими матеріальними рівняннями, які визначають електрофізичні властивості матеріалів [4, 5]:

$$\begin{aligned}\mathbf{B} &= \mu \mathbf{H}; \\ \mathbf{J} &= \gamma \mathbf{E},\end{aligned}\tag{2}$$

де μ – магнітна проникність матеріалу; γ – питома електрична провідність матеріалу.

2) Математичне моделювання розподілу електромагнітного поля індукційної кухонної плити потрібно розпочати у двовимірній постановці (значно більш складна тривимірна постановка та відповідне програмне забезпечення можуть бути використані пізніше для уточнення отриманих результатів) у декартовій системі координат. Розрахунок електромагнітного поля доцільно виконувати з використанням векторного магнітного потенціалу A , який визначається виразом [4, 5]:

$$\mathbf{B} = \text{rot } A\tag{3}$$

та на відміну від векторів $\mathbf{H}$ та $\mathbf{B}$ має лише одну (а не дві) просторову компоненту $A(x, y, t) = A_z(x, y, t)$. При цьому робиться припущення, що вектор щільності струмів провідності $\mathbf{J}$ також має лише одну відповідну компоненту, тобто електричний струм у конструкції протікає у напрямку, перпендикулярному перетину конструкції, що розглядається.

Розподіл у просторі та часі єдиної компоненти векторного магнітного потенціалу описується у декартовій системі координат наступним нестационарним рівнянням у часткових похідних [4]:

$$\gamma \frac{\partial A}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial y} \right) + J_0,\tag{4}$$

де J_0 – щільність струму стороннього джерела.

Оскільки при математичному моделюванні електромагнітного поля в індукційних кухонних плитах розглядається сталий режим роботи плити (струм та електромагнітне поле змінюються у часі за гармонійним законом), рівняння (4) доцільно представити та розв'язувати у комплексній формі [4]:

$$j\omega \gamma \dot{A} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial \dot{A}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial \dot{A}}{\partial y} \right) + \dot{J}_0,\tag{5}$$

де j – уявна одиниця; $\omega = 2\pi f$ – кругова частота; f – частота струму в індукторі індукційної плити.

3)Рівняння (5) розв'язується з метою розрахунку просторового розподілу електромагнітного поля у так званій індукторній системі індукційної кухонної плити. За аналогією з промисловими індукційними нагрівачами [6], індукторна система індукційної плити, схематично зображена на рис. 1, складається з наступних конструктивних елементів:

- одновитковий або багатовитковий плоский індуктор 1 (на рис. 1 в якості приклада зображено одновитковий індуктор);
- посуд, що нагрівається, 2;
- магнітопровід 3;
- діелектрик (повітря) 4;
- штучна віддалена границя 5 у діелектрику (повітрі), на якій задано нульові граничні умови для векторного магнітного потенціалу (див. нижче).

Спрощена розрахункова область, зображена на рис. 1, побудована з урахуванням наявної геометричної симетрії конструкції, а також симетричного розподілу електромагнітного поля в ній: віссю симетрії є вертикальна вісь ординат Oy , отже розрахунок виконується лише для половини індукторної системи, що дозволяє суттєво зменшити обчислювальні витрати, необхідні для комп'ютерного розв'язання задачі.

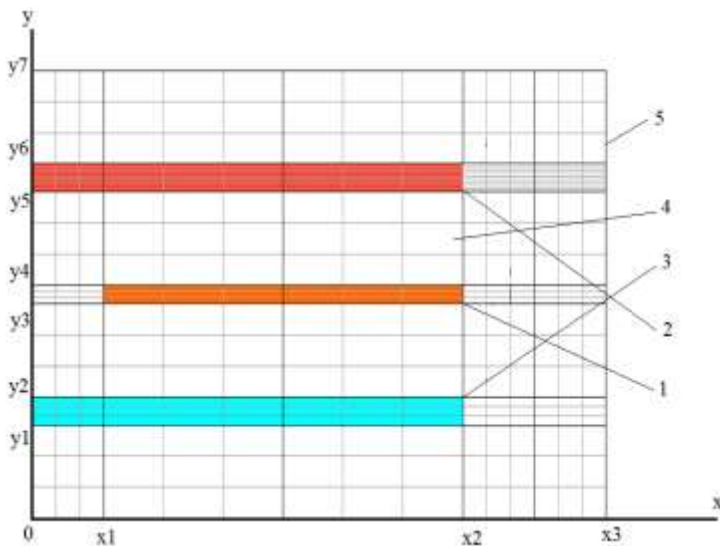


Рис. 1 – Розрахункова модель індукторної системи побутової індукційної плити

4) Рівняння у часткових похідних (5) розв'язується за наступними граничними умовами (див. рис. 1):

- на горизонтальній вісі абсцис Ox : нульова гранична умова
$$A = 0, \quad (6)$$

(у припущенні, що електромагнітне поле індуктора 1 повністю екранується феритовим магнітопроводом 3);

- на вертикальній вісі ординат Oy : природна гранична умова симетрії [4, 7, 8]:

$$\frac{\partial A}{\partial n} = 0, \quad (7)$$

де n – зовнішня нормаль до вісі ординат Oy , отже умова (7) приймає вигляд

$$\frac{\partial A}{\partial x} = 0. \quad (8)$$

- на штучних віддалених границях 5 у діелектрику (повітрі) 4: нульові граничні умови (6), що описують згасання електромагнітного поля на достатньо далекій відстані від індуктора 1.

5) Для чисельного розв'язання рівняння (5) потрібно задати у вихідних даних наступні електрофізичні властивості матеріалів конструкції, зображеної на рис. 1:

- величини питомої електричної провідності γ провідникових матеріалів, з яких виготовлено індуктор 1, посуд 2 та магнітопровід 3;
- магнітна проникність μ матеріалів:

– величина магнітної проникності матеріалу індуктора 1, який, як правило, виготовляється з міді (іноді з інших немагнітних матеріалів), дорівнює магнітній проникності вакуума: $\mu = \mu_0$;

– для діелектричних матеріалів, враховуючи повітря 4, також $\mu = \mu_0$;

– величина магнітної проникності феромагнітних матеріалів, з яких виготовляють посуд 2 та магнітопровід 3, суттєво нелінійно залежить від напруженості магнітного поля H [9, 10]. Оскільки посуд, що нагрівається, а також магнітопроводи, що застосовуються в індукційних плитах, виготовляються з магнітом'яких матеріалів, явище магнітного гістерезису при виконанні розрахунків не враховуємо. Для кожного феромагнітного матеріалу у вихідних даних потрібно задати нелінійну основну криву намагнічування $B(H)$ або безпосередньо залежність магнітної проникності від напруженості магнітного поля $\mu(H)$. Для виконання попередніх "оціночних" розрахунків можливо розв'язання лінійної задачі з постійним

(осередненим за кривою намагнічування) значенням магнітної проникності $\mu = \mu_a = \text{const}$ для кожного магнітом'якого матеріалу.

6) при розв'язанні рівняння (5) в якості правої частини задається величина амплітуди щільності струму відповідної частоти в індукторі.

Методика чисельного розв'язання задачі. Сформульовану вище двовимірну задачу комп'ютерного моделювання розподілу електромагнітного поля побутових індукційних плит, що включає рівняння (5) з граничними умовами (6)-(8), доцільно розв'язувати добре розвинутим методом скінчених елементів [7-10]. Відповідні варіаційні формулювання та чисельні процедури докладно описано у [7-10]. Сучасні ефективні ітераційні алгоритми розв'язання нелінійних задач з урахуванням залежності магнітної проникності від напруженості магнітного поля $\mu(H)$ наведено та детально проаналізовано в [9, 10].

Для комп'ютерного моделювання розподілу електромагнітного поля побутових індукційних плит використовується пакет програм EleFAnT2D, розроблений в Інституті основ та теорії електротехніки Технічного університету м. Грац, Австрія [11]. Можливо також використання іншого програмного забезпечення (наприклад, [8]), призначеного для розрахунку електромагнітних полів у двовимірній постановці.

Структура вихідних даних для виконання розрахунків. Для комп'ютерного моделювання розподілу електромагнітного поля побутової індукційної плити, тобто для чисельного розв'язання рівняння (5) з граничними умовами (6)-(8) стосовно розрахункової області, яка зображена на рис. 1, у вихідних даних необхідно задати наступне:

1) геометричні розміри половини конструкції індукторної системи індукційної кухонної плити x_1 , x_2 та y_1 - y_6 (див. рис. 1). Рекомендації щодо вибору відстані x_3 та y_7 до віддаленої границі 5 (див. рис. 1) наведено у [12, 13];

2) величини питомої електричної провідності γ провідникових матеріалів, з яких виготовлено індуктор 1, посуд 2 та магнітопровід 3 (див. рис. 1);

3) магнітні властивості феромагнітних матеріалів, з яких виготовляють посуд 2 та магнітопровід 3 (див. вище); в якості приклада на рис. 2 наведено основну криву намагніченості однієї з магнітом'яких сталей [14];

4) величину амплітуди щільності струму та частоту струму в індукторі 1.

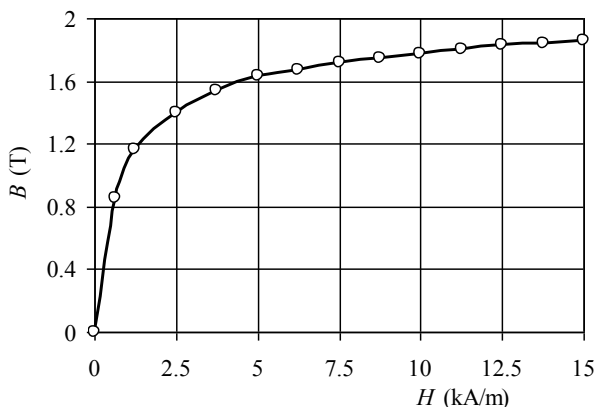


Рис. 2 – Основна крива намагніченості вуглецевої сталі марки CSN 12 040 виробництва Чехії [14]

Структура результатів обчислень.

1) Безпосередні результати комп'ютерного моделювання – просторовий розподіл комплексного векторного магнітного потенціалу (див. рівняння (5)). Отже, у вузлах просторової скінченоеlementної сітки розрахункової області (див. рис. 1) обчислюються величини дійсної та уявної частин векторного магнітного потенціалу $A_R(x,y)$ та $A_J(x,y)$ відповідно, а також його модулю:

$$A(x,y) = \sqrt{A_R^2(x,y) + A_J^2(x,y)}. \quad (9)$$

2) За результатами розрахунку векторного магнітного потенціалу обчислюється просторовий розподіл дійсної та уявної частин, а також модуля просторових компонент $B_r(x,y)$ та $B_z(x,y)$ комплексного вектора індукції магнітного поля. Для цього використовується формула (3). Далі, розраховується розподіл відповідних компонент вектора напруженості магнітного поля за формулою:

$$\mathbf{H} = \mathbf{B} / \mu. \quad (10)$$

3) Результати, отримані стосовно векторного магнітного потенціалу, дозволяють також розрахувати просторовий розподіл дійсної та уявної частин, а також модуля щільності вихрового струму в посуді, що нагрівається, а також в індукторі та магнітопроводі [8]:

$$\mathbf{J}_e = -j\omega\gamma\mathbf{A}. \quad (11)$$

4) З використанням обчисленого розподілу модуля щільності вихрового струму розраховується щільність теплових втрат (потужність внутрішніх джерел тепла) в посуді, що нагрівається, та в магнітопроводі [8]:

$$Q = \frac{|j_e|^2}{\gamma}, \quad (12)$$

отриманий просторовий розподіл якої в подальшому використовується в якості вихідної інформації для комп'ютерного аналізу теплового стану посуду та магнітопроводу в процесі роботи індукційної плити.

Виконання розрахунків. Чисельні дослідження розподілу електромагнітного поля індукційних кухонних плит розпочато під час переддипломної практики студентів кафедри "Електричні апарати" Електромашинобудівного факультету Національного технічного університету "ХПІ" в Інституті основ та теорії електротехніки Технічного університету м. Грац, Австрія з використанням пакета програм EleFAnT2D [11], розробленого у зазначеному Інституті. Виконання розрахунків планується продовжити на кафедрі "Електричні апарати" Національного технічного університету "ХПІ" за допомогою вказаного програмного забезпечення, люб'язно наданого розробниками. Отримані результати комп'ютерного моделювання будуть проаналізовані в наступних роботах.

Висновки. У роботі побудовано математичну модель та методику чисельного аналізу розподілу електромагнітного поля індукційної кухонної плити у двовимірній постановці методом скінчених елементів. Враховуються магнітні властивості феромагнітних матеріалів магнітопроводу індукційної плити та посуду, що нагрівається, а також інші особливості фізичних процесів у конструкціях, що розглядаються. Детально розглянуто структуру вихідних даних та результатів обчислень. Отримані результати розрахунків будуть проаналізовані в наступних роботах.

Список літератури: 1. TechNOVO. Web. <http://technovo.com.ua/shop/category/plity-indukcionnye-nastolnye/?gclid=CluHsNC3tbwCFdShtAodAG4Acw>. 2. Ebay. Web. <http://www.ebay.de/bhp/induktionskochfeld>. 3. Пантел'ят М.Г., Гуренцов Ю.В., Трофімов А.В. Методика розрахунку індукторів індукційних кухонних плит // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2014. – № 20(1063). – С. 13-24. 4. Демирчян К.С. Моделирование магнитных полей. – Л.: Энергия, 1974. – 288 с. 5. Biró O., Preis K. On the use of the magnetic vector potential in the finite element analysis of three-dimensional eddy currents // IEEE Transactions on Magnetics. – 1989, v. 25, No. 4. – P. 3145-3159. 6. Кувалдин А.Б. Индукционный нагрев ферромагнитной стали. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 200 с. 7. Сильвестер П., Феррари Р. Метод конечных элементов для радиоинженеров и инженеров-электриков. – М.: Мир, 1986. – 229 с. 8. Pantelyat M.G., Féliachi M. Magneto-thermo-elastic-plastic simulation of inductive heating of metals // The European Physical Journal Applied Physics. – 2002. – v. 17. – P. 29-33. 9. Biró O., Preis K., Richter K.R. Various FEM formulations for the calculation of transient 3d eddy currents in nonlinear media // IEEE Transactions on Magnetics. – 1995, v. 31, No. 3. – P. 1307-1312. 10. Pantelyat M.G. Numerical analysis of impulse electromagnetic fields in soft ferromagnetic materials // International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics. – 1999, v. 10. – P. 185-192. 11. Institut für Grundlagen und Theorie der Elektrotechnik. Web. <<http://www.igte.tugraz.at/de/elefant/elefant.html>>. 12. Pantelyat M.G. New boundary conditions in FEM solution of 2D quasi-static electromagnetic fields //

Electromagnetic Fields in Electrical Engineering. Studies in Applied Electromagnetics and Mechanics. – Amsterdam: IOS Press, 2002. – v. 22. – P. 122-125. **13.** Пантелят М.Г. Анализ осесимметричных квазистационарных элеткромагнитных полей с использованием граничных условий третьего рода // Технічна електродинаміка. – 2003, №6. – С. 17-20. **14.** Doležel I., Karban P., Mach F. Induction heating of rotating nonmagnetic billet in magnetic field produced by high-parameter permanent magnets // Електротехніка і електромеханіка. – 2014. – № 2. – С. 32-36.

Bibliography (transliterated): **1.** TechNOVO. Web. <<http://technovo.com.ua/shop/category/plity-indukcionnye-nastolnye/?gclid=CluHsNC3tbwCFdShtAodAG4Acw>>. **2.** Ebay. Web. <<http://www.ebay.de/bhp/induktionskochfeld>>. **3.** Pantelyat M.H., Hurentsov Yu.V., Trofimov A.V. Metodyka rozrakhunku induktoriv induktsiynykh kukhonnykh plyt. *Visnyk NTU "KhPI". Seriya: Problemy udoskonalennya elektrychnykh mashyn i aparativ. Teoriya i praktyka.* Kharkov: NTU "KhPI", 2014. No 20(1063). 13-24. Print. **4.** Demirchjan K.S. Modelirovanie magnitnyh polej. – Leningrad: Jenergiya, 1974. 288 p. Print. **5.** Biró O., Preis K. "On the use of the magnetic vector potential in the finite element analysis of three-dimensional eddy currents". *IEEE Transactions on Magnetics*. 1989, Vol. 25, No. 4. 3145-3159. Print. **6.** Kuvaldin A.B. Indukcionnyj nagrev ferromagnitnoj stali. MMoscow: Energoatomizdat, 1988. Print. **7.** Sil'vester P., Ferrari R. Metod konechnykh jelementov dlja radioinzhenerov i inzhenerov-elektrikov. – Moscow: Mir, 1986. – 229 p. Print. **8.** Pantelyat M.G., Féliachi M. "Magneto-thermo-elastic-plastic simulation of inductive heating of metals". *The European Physical Journal Applied Physics*. 2002. Vol. 17. P. 29-33. Print. **9.** Biró O., Preis K., Richter K.R. "Various FEM formulations for the calculation of transient 3d eddy currents in nonlinear media". *IEEE Transactions on Magnetics*. 1995, Vol. 31, No. 3. 1307-1312. Print. **10.** Pantelyat M.G. "Numerical analysis of impulse electromagnetic fields in soft ferromagnetic materials". *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*. 1999, Vol. 10. 185-192. Print. **11.** Institut für Grundlagen und Theorie der Elektrotechnik. Web. <<http://www.igte.tugraz.at/de/elefant/elefant.html>>. **12.** Pantelyat M.G. "New boundary conditions in FEM solution of 2D quasi-static electromagnetic fields". *Electromagnetic Fields in Electrical Engineering. Studies in Applied Electromagnetics and Mechanics*. Amsterdam: IOS Press, 2002. Vol. 22. 122-125. Print. **13.** Panteljat M.G. "Analiz osesimmetrichnykh kvazistacionarnykh jeletkromagnitnyh polej s ispol'zovaniem granichnyh uslovij tret'ogo roda". *Technical electrodynamics*. 2003, No. 6. 17-20. Print. **14.** Doležel I., Karban P., Mach F. "Induction heating of rotating nonmagnetic billet in magnetic field produced by high-parameter permanent magnets". *Electrical Engineering & Electromechanics*. 2014. No. 2. 32-36. Print.

Надійшла (received) 15.09.14



Пантелят Михайло Гаррійович, старший викладач кафедри "Електричні апарати" Національного технічного університету "ХПІ". В 1985 р. закінчив Харківський політехнічний інститут за спеціальністю "Інженерна електрофізика". Кандидат фізикоматематичних наук (1991 р., спеціальність "Механіка деформованого твердого тіла"). Основні наукові інтереси: комп'ютерне моделювання електромагнітних, теплових і механічних процесів в електромагнітних пристроях різного призначення.



Гуренцов Юрій Володимирович, студент електромашинобудівного факультету Національного технічного університету "ХПІ", група ЕМБ-20АМ. Область інтересів – дослідження, розрахунок і проектування сучасної електропобутової техніки.

А.А. ЧЕПЕЛЮК, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ"

К ВОПРОСУ КЛАССИФИКАЦИИ РЕЛЕ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ БЫТОВЫХ ОДНОФАЗНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ОТ НЕДОПУСТИМЫХ ОТКЛОНЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ В ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ

Приведена классификация реле напряжения для защиты бытовых однофазных потребителей электрической энергии от недопустимых отклонений напряжения в питающей сети. Выделены основные признаки классификации реле напряжения: назначение, конструктивное исполнение, номинальная мощность и номинальный ток реле, способ технической реализации, вид выходного коммутирующего элемента, пороги срабатывания по напряжению, время задержки повторного включения, сигнализация состояния реле, наличие внутренних защит, наличие дополнительных функций и другие признаки. Проведенная классификация систематизирует информацию относительно конструктивных, технических и функциональных особенностей таких реле, а также демонстрирует современный уровень технического развития этих реле.

Ключевые слова: реле контроля напряжения, бытовое электрическое оборудование, защита от перенапряжения и провалов напряжения.

Введение. В настоящее время наиболее распространенным средством защиты бытовых однофазных потребителей электрической энергии от недопустимых отклонений напряжения (провалов напряжения и временных перенапряжений) в однофазной питающей сети на уровне конечного потребителя является использование соответствующих (однофазных) реле напряжения. Указанные реле осуществляют защиту путем отключения подключенного через него конечного потребителя (его нагрузки в виде бытовых, осветительных и др. электроприборов) от питающей сети с недопустимым отклонением напряжения, сохраняя тем самым дальнейшую работоспособность указанных электроприборов. Повторное подключение потребителя (нагрузки) к питающей сети таким реле осуществляется автоматически при установившемся допустимом напряжении питающей сети. Для исключения частых повторных включений нагрузок при кратковременных недопустимых скачках напряжения в питающей сети, приводящих к отключению реле, что влечет за собой сокращение ресурса работы таких нагрузок и может привести к выходу их из строя (холодильники и др.), в таких реле предусматривается определенная задержка включения.

Такие реле рекомендуется устанавливать на вводе в квартиру, за аппаратом защиты от сверхтоков (токи короткого замыкания и

© А.А. Чепелюк, 2014

перегрузки), а также они могут устанавливаться в отдельных групповых линиях, питающих наиболее чувствительные к недопустимым отклонениям напряжения бытовые электроприемники (холодильники, стиральные машины, посудомоечные машины, телевизоры и др.).

В технических каталогах производителей эти реле встречаются под разными названиями: "реле напряжения", "реле контроля напряжения", "автоматическое реле напряжения", "реле защиты от перепадов напряжения" что может затруднять адекватное восприятие их главных свойств не только среди потребителей, но и у специалистов. Кроме того, указанные реле имеют определенный ряд конструктивных, технических и функциональных особенностей, которыми определяется их область применения, надежность и долговечность, и которые, по мнению автора, практически полностью отсутствуют в учебной литературе по электрическим аппаратам.

Учитывая терминологическую неопределенность в названии указанных реле и отсутствие систематизированной информации относительно конструктивных, технических и функциональных особенностей таких реле, актуальным является проведение классификации таких аппаратов.

Цель работы – проведение классификации реле напряжения для защиты бытовых однофазных потребителей электрической энергии от недопустимых отклонений напряжения в питающей сети с целью систематизации информации относительно конструктивных, технических и функциональных особенностей таких реле.

Основные признаки классификации реле напряжения.

Под классификацией реле будем понимать процесс и результат группировки реле в соответствие с их общими признаками.

Автор понимает, что любая классификация технических объектов является условной и субъективной. В то же время, по мнению автора, предложенная классификация реле напряжения не только будет способствовать адекватному различию их главных свойств, но и систематизации информации относительно их конструктивных, технических и функциональных особенностей.

Анализируя широкое разнообразие реле напряжения для защиты бытовых однофазных потребителей электрической энергии от недопустимых отклонений напряжения в питающей сети, представленных на электротехническом рынке Украины, можно выделить следующие общие их признаки:

- назначение,
- конструктивное исполнение,
- номинальная мощность (номинальный ток) реле,

- способ технической реализации,
- вид выходного коммутирующего элемента,
- пороги срабатывания по напряжению,
- время задержки повторного включения,
- сигнализация состояния реле,
- наличие внутренних защит (перегрев, импульсные перенапряжения, короткое замыкание),
- наличие дополнительных функций,
- другие признаки.

Далее будут рассмотрены разновидности реле напряжения в соответствии с указанными признаками классификации. Упоминание некоторых серий реле напряжения в данной работе будет использовано исключительно в качестве примеров. Полная номенклатура анализируемых в работе реле напряжения и их производителей на современном рынке значительно шире упомянутых в работе.

Классификации реле напряжения по назначению.

Различают реле минимального напряжения – undervoltage relay (отключают потребителей при недопустимых провалах напряжения в питающей сети), реле максимального напряжения – overvoltage relay (отключают потребителей при недопустимых временных перенапряжениях в питающей сети) и реле минимального и максимального напряжения – under/overvoltage relay (отключают потребителей как при недопустимых провалах напряжения так и при недопустимых временных перенапряжениях в питающей сети).

Последние являются наиболее распространенными, поскольку большинство электроприемников бытового назначения являются чувствительными как к провалам напряжения, так и к недопустимым временным перенапряжениям в питающей сети.

Отдельными производителями предлагаются реле минимального и максимального напряжения с возможностью ручного отключения одной из указанных защитных функций (многофункциональные реле).

Классификации реле напряжения по конструктивному исполнению.

Существуют следующие конструктивные исполнения реле напряжения: стационарные, мобильные (переносные) и встроенные.

Стационарные реле (рис. 1) выпускаются в не поддерживающих горение корпусах модульного исполнения и предназначены для установки на DIN-35 рейку непосредственно в квартирных распределительных щитках. Ширина таких реле может составлять 1, 2 или 3TE (1TE $\approx$ 17,6-17,8 мм.).



Рис. 1 – Примеры реле напряжения модульного исполнения: а – реле HRN-33 (-35) [1] (ЕПІ, Словения), б – реле EU-102 [2] (Hager, Германия), в – реле серии PH-S [3] (АсКо-УКРЕМ, Украина).

Мобильные (переносные) реле выпускаются в виде розеточных сетевых адаптеров (рис. 2), которые подключаются непосредственно в розетку. Защищаемая от недопустимых отклонений напряжения нагрузка подключается ко встроенной в реле розетке. Вилка таких реле может быть встроенной в реле (рис. 2,а-з) или вынесенной на питающем шнуре (рис. 2,д). Мобильные реле выпускаются с заземляющим (РЕ) контактом (рис. 2,а-в) – для использования в сетях TN-S и без него (рис. 2,з, д) – для использования в сетях TN-C. Степень защиты стационарных и мобильных (переносных) реле – IP20.

Встроенные реле напряжения встраиваются в конструкции электробытовых приборов, осуществляя непосредственную защиту от недопустимых отклонений напряжения самого прибора, или могут быть встроенными в стабилизаторы напряжения или сетевые удлинители.

Как правило, реле напряжения встраиваются в наиболее чувствительную к недопустимым отклонениям напряжения бытовую технику (холодильники, стиральные машины и др.). При наличии встроенной защиты такие электробытовые приборы имеют соответствующую маркировку (например: система Volt Control у компании Samsung [7], система Voltage Control у компании LG [8] и др.) и не требуют дополнительной (внешней) защиты от недопустимых отклонений питающего напряжения. Пороги срабатывания встроенной релейной защиты в таких приборах и задержки автоматического повторного включения – фиксированные и устанавливаются производителем в зависимости от чувствительности к недопустимым отклонениям напряжения используемых двигателей и электронных компонентов (например, пороги срабатывания по напряжению в системе Volt Control компании Samsung составляют $\pm 20\%$ от номинального напряжения).



Рис. 2 – Примеры мобильных реле напряжения: а – ZUBR R116y [4] (ДС Электроникс, Украина); б – PH-101M [5] (Новатек-Электро, Россия); в – V-protector серии AS, г – V-protector 6A – 10A, д – V-protector 10Aш (Digitop, Украина) [6].

В однофазных стабилизаторах напряжения со встроенными реле защиты, как правило, такие реле являются частью электрической схемы стабилизатора и осуществляют защиту от недопустимых отклонений напряжения самого стабилизатора. Пороги срабатывания встроенной релейной защиты по напряжению в таких приборах и задержки автоматического повторного включения, как и в предыдущем случае, – фиксированные и устанавливаются производителем в зависимости от чувствительности к недопустимым отклонениям напряжения используемых в конструкции стабилизатора электронных компонентов. Как правило, пороги срабатывания по напряжению встроенной защиты стабилизаторов значительно шире граничных порогов, установленных в [9], чего требует назначение самого стабилизатора напряжения. Диапазон рабочих напряжений современных стабилизаторов от 100-130 В до 275 В.

Сетевые удлинители со встроенными реле напряжения (рис. 3) осуществляют непосредственную защиту от недопустимых отклонений напряжения бытовых приборов, подключенных к такому удлинителю. Число розеток (гнезд) в таких удлинителях от 2 до 6. Такие удлинители выпускаются трехпроводными – с РЕ-проводником.



Рис. 3 – Примеры сетевых удлинителей со встроенным реле напряжения производства ДС Электроникс (Украина) [4]: а – ZUBR P216y, б – ZUBR R616y.

Классификации реле напряжения по номинальной мощности (по номинальному току).

Мобильные реле напряжения, как правило, выпускаются на номинальные мощности (категория применения АС-1): 1,3; 2,2 и 3,5 кВА, что при номинальном напряжении 220 В соответствует номинальным токам 6, 10 и 16 А.

Номинальные мощности стационарных реле напряжения, как правило, составляют (категория применения АС-1): 3,5; 4,4; 5,5; 7,0; 8,8; 11,0; 13,8 кВА, что при номинальном напряжении 220 В соответствует номинальным токам реле 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63 А.

Отдельные производители реле напряжения в технических описаниях указывают номинальные активные мощности реле в кВт. В этом случае при выборе реле следует помнить, что категории применения реле АС-1 соответствует коммутация неиндуктивных или слабоиндуктивных нагрузок с граничным коэффициентом мощности – $\cos\varphi=0,8$, поэтому активная мощность реле (кВт) составляет 80% полной его мощности (кВА).

Указанным номинальным мощностям реле должны соответствовать максимальные мощности нагрузки коммутируемой реле. Если максимальная мощность нагрузки превышает номинальную коммутируемую мощность реле, такую нагрузку следует подключать через контакторы (магнитные пускатели), управляемые реле напряжения.

Номинальные мощности и токи встроенных реле определяются соответственно мощностями и токами электрооборудования (электро-бытовые приборы, стабилизаторы напряжения) в которые они встроены.

Сетевые удлинители со встроенными реле выпускаются на мощность до 3,5 кВА, что при номинальном напряжении 220 В соответствует номинальному току до 16 А.

Классификации реле напряжения по способу технической реализации.

По указанному признаку современные реле напряжения можно разделить на две группы: аналоговые и цифровые (микропроцессорные).

Аналоговые реле напряжения технически реализованы на однопороговом (реле максимального напряжения, реле минимального напряжения) или двухпороговом (реле минимального и максимального напряжения) компараторе с задержкой по включению, который осуществляет контроль напряжения питающей сети (его среднеквадратичного значения – True RMS) и включает нагрузку посредством встроенного электромагнитного реле. В случае если после подключения нагрузки к реле измеряемое напряжение выходит за пределы пороговых значений напряжений, реле отключает нагрузку от питающей сети. В таких реле времена срабатывания фиксированные, т.е. не зависящие от уровней недопустимых отклонений напряжения в сети и, согласно заявленным производителями данным, находятся в диапазоне 0,1-0,6 с.

Цифровое (микропроцессорное) реле напряжения управляется микроконтроллером, который анализирует напряжение в электросети (среднеквадратичного значения напряжения). Аварийное отключение нагрузки осуществляется встроенным электромагнитным реле. В таких реле, в отличие от аналоговых, время срабатывания зависит от уровня недопустимого отклонения напряжения. Алгоритм работы в цифровых реле закладывается производителем программно. Минимальное время срабатывания в таких реле составляет 0,02-0,04 с.

Классификации реле напряжения по виду выходного коммутирующего элемента.

Различают реле напряжения с контактным или бесконтактным выходами.

В реле напряжения с контактным выходом коммутирующим элементом является контакт моностабильного или бистабильного электромагнитного реле. Число контактов такого реле один или два. Электромагнитное реле с одним контактом коммутирует только фазный проводник, а реле с двумя контактами коммутирует фазный и нейтральный проводники.

В реле напряжения с бесконтактным выходом в качестве коммутирующего элемента, как правило, применяются симисторы.

Наиболее часто в современных реле напряжения применяются бистабильные (с двумя устойчивыми состояниями) электромагнитные реле, что существенно снижает потребляемую реле напряжения мощность.

Классификации реле напряжения по порогам срабатывания по напряжению.

Различают реле напряжения с фиксированными и регулируемыми порогами срабатывания по максимальному и минимальному напряжению.

Реле напряжения с фиксированными порогами срабатывания по напряжению, как правило, аналоговые. Пороги срабатывания в таких реле заложены на стадии их производства. Характерным для таких реле является незначительное отличие указанных порогов и их разброс от 2 до 3% у различных производителей [10].

Реле напряжения с регулируемыми порогами срабатывания по напряжению (аналоговые и цифровые) предусматривают дополнительную подстройку (регулировку) указанных порогов в зависимости от чувствительности к провалам напряжения и временным перенапряжениям бытовой техники, подключенной через такое реле. В цифровых реле напряжения регулировка порогов срабатывания по напряжению – дискретная с шагом 1 В или 5 В, в аналоговых – плавная или дискретная. Диапазон регулирования минимального порога срабатывания в таких реле находится в пределах 120-210 В, максимального – 220-280 В.

Классификации реле напряжения по времени задержки повторного включения.

Задержка повторного включения реле напряжения после нормализации напряжения в питающей сети необходима для исключения частых повторных включений нагрузок при кратковременных недопустимых скачках напряжения в питающей сети, приводящих к отключению реле, что влечет за собой сокращение ресурса работы таких нагрузок и может привести к выходу их из строя (холодильники и др.).

Различают реле напряжения с фиксированной и с регулируемой временной задержкой повторного включения.

Временная задержка повторного включения в реле напряжения с фиксированной временной задержкой у разных производителей составляет от 10 секунд до 3 минут.

Диапазон регулирования временной задержки повторного включения в реле напряжения с регулируемой временной задержкой составляет от 3-5 секунд до 600, 900 и более секунд.

Классификация реле напряжения по виду сигнализации состояния реле.

В реле напряжения сигнализация состояния реле выполняется световой и звуковой. Звуковая сигнализация срабатывания реле встречается редко, в основном, как дополнение к световой сигнализации.

Световая сигнализация реализуется с помощью светодиодов или цифровых дисплеев (светодиодных или жидкокристаллических). Примерами конструкций реле со светодиодной сигнализацией могут служить реле на рис. 1а, в. В таких реле применяется несколько светодиодов, которые сигнализируют о нормальном питающем напряжении и включенном реле, о срабатывании реле вследствие недопустимого снижения или повышения напряжения, об отсчете выдержки времени повторного включения реле.

В цифровых реле для сигнализации состояния реле чаще всего используются цифровые дисплеи (индикаторы), на которые выводятся значения текущего напряжения (среднеквадратичное значение) в питающей сети и состояния реле, а при настройке реле – текущие пороги срабатывания и временная задержка повторного включения. При отсчете реле напряжения времени задержки для повторного его включения на его дисплей также выводится оставшееся до включения реле время. В основном в конструкциях цифровых реле используются трехразрядные семисегментные индикаторы (рис. 2-3), но встречаются также и жидкокристаллические дисплеи (рис. 1,б). Рядом производителей таких реле предусматривается также вывод на дисплей значения последнего напряжения срабатывания, которое хранится в памяти реле.

Классификации реле напряжения по наличию внутренних защит.

В отдельных сериях реле напряжения производителями предусматриваются защиты внутреннего оборудования реле от перегрева, импульсного перенапряжения и внутреннего короткого замыкания.

Причинами внутреннего перегрева в реле могут служить ослабленные подсоединения внешних проводов, а также подключение через реле мощности, превышающей установленную допустимую мощность реле, что повлечет за собой выход реле из строя. При наличии защиты от внутреннего перегрева помимо текущего напряжения в реле контролируется и его внутренняя температура (при ее увеличении до 80°C происходит аварийное отключение нагрузки, индикатор срабатывания реле будет сигнализировать о внутреннем перегреве, разблокирование устройства станет возможным при снижении температуры ниже 60°C).

Для защиты внутренних электронных компонентов от импульсных перенапряжений отдельные производители реле реализуют соответствующую варисторную защиту.

Для защиты реле напряжения от внутренних коротких замыканий рядом производителей реле предусматривается установка предохранителей в цепях питания электронных схем реле.

Классификации реле напряжения по наличию дополнительных функций.

Отдельными производителями в конструкциях реле предусматриваются дополнительные технические решения, расширяющие функциональные возможности реле. Как правило, такие функции появляются в микропроцессорных реле напряжения.

К таким функциям можно отнести контроль тока и мощности в защищаемой цепи. Такие приборы фактически сочетают в себе функции двух приборов – реле напряжения и ограничителя мощности.

Примером такого решения могут служить реле серии VA-protector – рис. 4, а. В таком реле порог срабатывания по току выполняется регулируемым, время срабатывания токовой защиты фиксированное – 0,04 с. При необходимости функция защиты по току может быть отключена.



Рис. 4 – Реле напряжения: а – серия VA-protector с ограничителем мощности [11] (Digitop, Украина), б – PH-113 многофункциональное [12] (Новатек-Электро, Россия).

В реле PH-101M – рис. 2, б [5] порог срабатывания по току встроенного автоматического выключателя токовой защиты выполнен фиксированным.

Отдельными производителями реле напряжения для защиты бытового электрооборудования от импульсных перенапряжений в конструкциях таких реле предусматривается также варисторная защита.

Рядом производителей в конструкциях микропроцессорных реле напряжения предусматривается функция памяти последнего срабатывания реле (напряжение последнего срабатывания сохраняется в памяти реле и его можно просмотреть на цифровом индикаторе при нажатии соответствующей кнопки).

В реле напряжения РН-113 на рис. 4, б предусмотрена возможность ручного отключения одной из защитных функций (по максимальному или минимальному напряжению). При отключении в таком реле обеих защитных функций реле может работать как реле времени.

Под другими признаками классификации реле напряжения можно понимать потребляемую реле мощность, уровни напряжения питания реле, площадь поперечного сечения подключаемых проводников, рекомендованный срок службы, гарантийный срок эксплуатации и другие параметры реле, не вошедшие в предложенную классификацию.

Выводы. Проведенная классификация реле напряжения для защиты бытовых однофазных потребителей электрической энергии от недопустимых отклонений напряжения в питающей сети систематизирует информацию относительно конструктивных, технических и функциональных особенностей таких реле, а также демонстрирует современный уровень технического развития этих реле.

Список литературы: 1. "Контрольно-измерительные реле". *ETI*, ETI Branch in Russia, 2006. Web. 10 October 2014. <http://www.eti.ua/electrotehnical_products/etirel/Kontrolno_izmeritelnye_rele.aspx>. 2. "Реле контроля". *Hager*. Web. 10 October 2014. <<http://www.hager.ua/produkcija/raspredelenie-elektroenergii/modulnye-ustrojstva-zashchity-kommutacii-i-upravleniya/ustrojstva-kommutacii-i-upravleniya/rele-kontrolya/26147.htm>>. 3. Каталог электротехнической продукции электротехнической корпорации АСКО-УКРЕМ 2013 г. (http://www.acko.ua/upload/iblock/bc6/catalogue2013_cd.rar). 4. <http://www.zubr.ua>. 5. http://novatek-electro.com/rele_napryazheniya_rn-101m.html. 6. <http://digitop.ua/?q=ru/node/21>, 7. <http://www.samsung.com/ua/support/skp/faq/828500>. 8. <http://lg.yvision.kz/post/301230>. 9. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. 10. Чепелюк А.А. Анализ функциональных особенностей реле напряжения с фиксированными параметрами срабатывания и автоматическим повторным включением для защиты бытовых однофазных потребителей от недопустимых отклонений напряжения в питающей сети // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». 36. наук. праць. Тем. вип.: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – №65. – С. 53-62. 11. <http://digitop.ua/?q=ru/node/4>. 12. http://novatek-electro.com/odnofaznoe_rele_napryazheniya_rn-113.html.

Bibliografy (transliterated): 1. "Kontrol'no-izmeritel'nye rele". *ETI*, ETI Branch in Russia, 2006. Web. 10 October 2014. <http://www.eti.ua/electrotehnical_products/etirel/Kontrolno_izmeritelnye_rele.aspx>.

izmeritelnye_rele.aspx>. 2. "Rele kontrolja". *Hager*. Web. 10 October 2014. <<http://www.hager.ua/produkcija/raspredelenie-elektroenergii/modulnye-ustrojstva-zashhity-kommutacii-i-upravleniya/ustrojstva-kommutacii-i-upravleniya/rele-kontrolya/26147.htm>>. 3. "Katalog jelektrrotehnicheskoy produkcii jelektrrotehnicheskoy korporacii ASKO-UKREM 2013 g." *ASKOUKREM*. Web. 10 October 2014. <http://www.acko.ua/upload/iblock/bc6/catalogue2013_cd.rar>. 4. "Rele naprjazhenija dlja vsego doma". *Rele naprjazhenija ZUBR — zashhita ot perenaprjazhenija dlja professionalov*. Web. 10 October 2014. <<http://www.zubr.ua>>. 5. "Rele naprjazhenija RN-101M". *NOVATEK Electro*. Web. 10 October 2014. <http://novatek-electro.com/rele_napryazheniya_rm-101m.html>. 6. "Rele naprjazhenija". *DigiTOP*. Web. 10 October 2014. <<http://digitop.ua/?q=ru/node/21>>. 7. "Shcho take systema Volt Control?". *Samsung*. Web. 10 October 2014. <<http://www.samsung.com/ua/support/skp/faq/828500>>. 8. "Kak produkcija kompanii LG spravljajetsja s perepadami naprjazhenija v jelektricheskoy seti". *LG*. Web. 10 October 2014. <<http://lg.yvision.kz/post/301230>>. 9. *GOST 13109-97. Jelektricheskaja jenergija. Sovmestimost' tehniceskikh sredstv jelek-tromagnitnaja. Normy kachestva jelektricheskoy jenerгии v sistemah jelektrснабzhenija obshhego naznachenija*. Moscow. Gosstandart Rossii. 1999. Print. 10. Chepeljuk A.A. "Analiz funkcional'nyh osobennostej rele naprjazhenija s fiksirovannymi parametrami srabatyvanija i avtomaticheskim povtornym vkljucheniem dlja zashhity bytovykh odnofaznykh potrebitelej ot nedopustimyh otklonenij naprjazhenija v pitajushhej seti". *Visnyk NTU "HPI"*. Ser.: *Problemy udoskonalennja elektrychnykh mashyn i aparativ*. No. 65 (1038). Kharkiv: NTU "HPI", 2013. 53-62. Print. 11. "Rele naprjazhenija s kontrolem toka". *DigiTOP*. Web. 10 October 2014. <<http://digitop.ua/?q=ru/node/4>>. 12. "Odnofaznoe rele naprjazhenija RN-113". *NOVATEK Electro*. Web. 10 October 2014. <http://novatek-electro.com/odnofaznoe_rele_napryazheniya_rm-113.html>.

Поступила (received) 6.10.2014



Чепелюк Александр Александрович, доцент, кандидат технических наук. Защитил диплом инженера и диссертацию кандидата технических наук в Национальном техническом университете "Харьковский политехнический институт" по специальности "Электрические машины и аппараты", соответственно в 1995 и 2006 гг. Доцент кафедры "Электрические аппараты" Национального технического университета "Харьковский политехнический институт" с 2007 г. Научные и инженерные интересы связаны с проблемами разработки, усовершенствования и эксплуатации электрических аппаратов, вопросами электробезопасности.

А.М. АФАНАСОВ, д-р техн. наук, проф., ДНУЖТ,
Днепропетровск

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ИСТОЧНИКОВ МОЩНОСТИ СИСТЕМЫ ВЗАИМНОГО НАГРУЖЕНИЯ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОМАШИН

Рассмотрены вопросы выбора рациональных вариантов схем взаимного нагружения тяговых электромашин для проведения их приемо-сдаточных испытаний. Обосновано, что расхождение магнитных характеристик испытуемых путем взаимного нагружения тяговых электромашин на стенде с двумя источниками питания требует существенного запаса суммарной приведенной мощности этих источников. Показано, что с точки зрения минимума суммарной приведенной мощности источников питания испытательного стенда наиболее рациональными являются схемы взаимного нагружения с одним источником.

Ключевые слова: тяговая электромашина, испытание, взаимное нагружение, источники питания, мощность, потери мощности.

Вступление. Системы взаимного нагружения используются при проведении приемо-сдаточных испытаний тяговых электромашин. В полном множестве альтернатив схемного решения системы взаимного нагружения тяговых электромашин, состоящем из 20 вариантов, имеются схемы как с один, так и с двумя источниками мощности [1]. Одним из основных критериев оптимизации структуры системы взаимного нагружения является максимальная суммарная приведенная мощность источников питания испытательного стенда, которая зависит, в том числе, от расхождения магнитных характеристик испытуемых электромашин [2, 3].

При взаимном нагружении однотипных тяговых электромашин с расходящимися магнитными характеристиками появляется дополнительная составляющая небалансной электромагнитной мощности. Эта составляющая в системах взаимного нагружения с двумя источниками мощности приводит к перераспределению энергетических потоков между ними [2]. Такое перераспределение энергетических потоков требует дополнительного запаса мощности каждого из источников и должно быть учтено при выборе их параметров.

Методика. При использовании одного источника питания максимальная приведенная мощность источника определяется в виде [2]

$$\bar{P}_i' = \Delta \bar{P}_y + \Delta \bar{P}_{xx}$$

или

$$\bar{p}_u = \frac{2}{\eta}(1-\eta),$$

где $\Delta\bar{p}_\varphi$ и $\Delta\bar{p}_{xx}$ – максимальные приведенные электрические потери и потери холостого хода соответственно; η – к.п.д. электрической машины, соответствующий режиму испытательного нагружения.

Значения $\Delta\bar{p}_\varphi$, $\Delta\bar{p}_{xx}$ и η в данных формулах соответствуют самому нагруженному режиму испытания, при котором суммарные потери мощности максимальны, а к.п.д. – минимален.

При использовании двух источников питания их максимальная суммарная приведенная мощность определяется в виде [2]

$$\sum \bar{p}_u = \Delta\bar{p}_\varphi + \Delta\bar{p}_{xx} + 4\Delta n^* \quad \text{или} \quad \sum \bar{p}_u = \frac{2}{\eta}(1-\eta) + 4\Delta n^*,$$

где Δn^* – максимальное допустимое относительное отклонение частоты вращения якоря.

Рациональность выбора количества источников по критерию минимума приведенной мощности может быть оценена по значению коэффициента запаса мощности $k_{зан}$, представляющему собой отношение максимальной суммарной приведенной мощности источников к сумме приведенных потерь. Для вариантов с одним источником [2]

$$k'_{зан} = \frac{\bar{p}_u}{\Delta\bar{p}_\varphi + \Delta\bar{p}_{xx}} = 1.$$

Для вариантов с двумя источниками мощности [2]

$$k''_{зан} = \frac{\sum \bar{p}_u}{\Delta\bar{p}_\varphi + \Delta\bar{p}_{xx}} \quad \text{или} \quad k''_{зан} = 1 + \frac{4\Delta n^*}{\Delta\bar{p}_\varphi + \Delta\bar{p}_{xx}}.$$

Через к.п.д. тяговой электромашин этот же коэффициент может быть выражен в виде [2]

$$k''_{зан} = 1 + \frac{2 \cdot \eta \cdot \Delta \bar{n}^*}{1 - \eta}.$$

Результаты. Зависимость $k''_{зан} = f(\eta)$ для $\Delta \bar{n}^* = 0,03$, рассчитанная по методике, приведенной выше, численно приведена в табл. 1, а соответствующая ей характеристика графически показана на рис. 1.

Из данных табл. 1 и кривых на рис. 1 видно, что для реального диапазона изменения к.п.д. тяговых электромашин (0,9-0,95) суммарная мощность двух источников испытательного стенда (система с двумя источниками) превышает необходимую мощность

одного источника (для вариантов с одним источником) в 1,5-2,2 раза. Наибольший коэффициент запаса $k''_{зан}$, равный 2,2, соответствует тяговым электродвигателям большой мощности (до 800 кВт), для которых задача ограничения суммарной мощности источников испытательного стенда стоит наиболее остро.

Таблица 1 – Результаты расчёта зависимости $k''_{зан} = f(\eta)$

η	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96
$k''_{зан}$	1,54	1,61	1,69	1,8	1,94	2,14	2,44

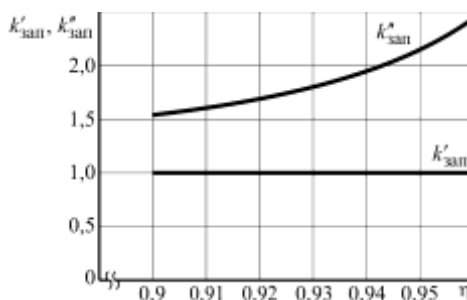


Рис. 1 – Зависимости коэффициентов запаса суммарной мощности источников испытательного стенда от к. п. д. испытуемых электромашин

Результаты проведенного анализа показывают, что с точки зрения минимума суммарной приведенной мощности источников питания системы взаимного нагружения наиболее рациональными являются схемы с использованием одного источника питания. Данное решение будет справедливо как для тяговых двигателей, так и для вспомогательных электромашин тягового подвижного состава.

Экспериментальные исследования. Для подтверждения рациональности использования в системах взаимного нагружения тяговых электромашин одного источника мощности было проведено экспериментальное исследование, целью которого являлось определение влияния расхождения магнитных характеристик взаимно нагруженных однотипных тяговых электродвигателей на распределение мощностей источников питания испытательного стенда.

Принципиальная электрическая схема испытательного стенда приведена на рис. 2. Схема включает два источника электрической

мощности: ВДМ (вольтдобавочная машина) и ЛГ (линейный генератор), испытуемые электромашины M (двигатель) и G (генератор), шунтирующие резисторы R_0, R_1, R_2 , контакторы K_1, K_2, K_3, K_4 .

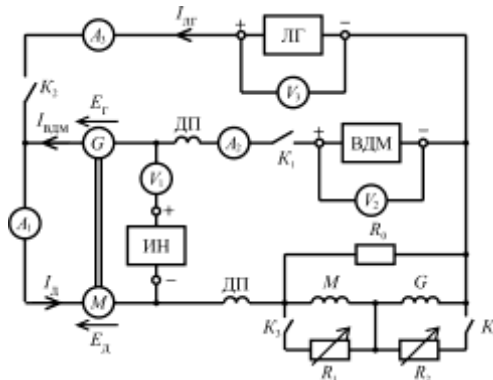


Рис. 2 – Принципиальная схема испытательного стенда

В качестве испытуемых электромашин использованы тяговые двигатели пульсирующего тока РТ-51Д электропоезда ЭР9. Особенностью данных тяговых двигателей является то, что коэффициент ослабления поля в номинальном режиме для них принят $\beta_n = 0,54$. И испытание данных тяговых двигателей на стенде взаимной нагрузки проводится с шунтированием их обмоток возбуждения, обеспечивающим именно это значение коэффициента ослабления поля.

Номинальное ослабление поля $\beta_n = 0,54$ в схеме обеспечивается шунтирующим резистором R_0 . Регулируемые резисторы R_1 и R_2 предназначены для физического моделирования расхождения магнитных характеристик двигателя M и генератора G . Степень искусственно создаваемого расхождения магнитных характеристик испытуемых тяговых двигателей в данной схеме определяется с помощью вольтметра V и дополнительного источника регулируемого постоянного напряжения ИН.

Моделирование расхождения магнитных характеристик проводилось на стенде с предварительно нагретыми тяговыми двигателями ($110\text{ }^{\circ}\text{C}$) при часовом режиме нагрузки:

$$U_n = 825\text{ В}; \quad I_n = 215\text{ ВА}; \quad \beta_n = 0,54.$$

Естественные магнитные характеристики испытуемых тяговых двигателей совпадают практически полностью. Для моделирования варианта расхождения характеристик, соответствующего случаю $\Delta\Phi > 0$

($\Delta P''_{эм} > 0$), используется резистор R_2 (контактор K_4 замкнут). Для моделирования варианта расхождения характеристик с условием $\Delta\Phi < 0$ ($\Delta P''_{эм} < 0$) используется резистор R_1 (контактор K_3 замкнут).

В начале проведения испытания на стенде с предварительно нагретыми тяговыми двигателями включается контактор K_1 и устанавливается часовой ток нагрузки $I_{\text{ч}}$. Контакторы K_3 и K_4 при этом разомкнуты, валы электромашин неподвижны. Вольтметр V показывает величину падения напряжения в двух якорных обмотках (M и G), щётках и соединительных проводах.

Включением дополнительного источника малой мощности ИН и регулированием его стабилизированного напряжения достигается такое состояние, при котором напряжение ИН полностью компенсирует падение напряжения в цепи якорей испытуемых электромашин. При этом вольтметр V показывает "ноль".

При включении контактора K_2 якоря испытуемых электромашин приходят во вращение. Напряжение на линейном генераторе ЛН устанавливается номинальным $U_n = 825$ В. Проверяются показания вольтметра V_1 и корректируется напряжение источника ИН.

При включении контактора K_4 обмотка возбуждения генератора G оказывается зашунтированной на резистор R_2 . Путем изменения сопротивления резистора R_2 осуществляется регулирование положительных: разности магнитных потоков $\Delta\Phi$ и разности э.д.с. испытуемых электромашин ΔE .

При включении контактора K_3 зашунтированной резистором R_1 оказывается обмотка возбуждения двигателя M . Путем регулирования сопротивления резистора R_2 осуществляется регулирование разности магнитных потоков $\Delta\Phi$ и разности э.д.с. электромашин ΔE .

$$\Delta E = c \cdot \Delta\Phi \cdot \omega; \quad \Delta\Phi = \Phi_d - \Phi_r.$$

При поддержании тока нагрузки $I = I_{\text{ч}}$ показания вольтметра

$$U_{V_1} = \Delta E.$$

Относительное расхождение магнитных характеристик испытуемых тяговых двигателей

$$\Delta e = \frac{\Delta E}{U_n}.$$

Испытания по физическому моделированию расхождения магнитных характеристик проводились в диапазоне изменения относительной разности э.д.с.

$$\Delta e \in [-0,06; 0,06].$$

Такой диапазон изменения Δe соответствует допустимому отклонению относительной частоты вращения якоря в номинальном режиме $\pm 3\%$ или

$$2\bar{n}^* = 0,06.$$

Мощности источников питания испытательного стенда (ВДМ и ЛГ) определялись по значениям их выходных напряжений и токов:

$$P_{\text{вдм}} = U_{\text{вдм}} \cdot I_{\text{вдм}}; \quad P_{\text{лг}} = U_{\text{лг}} \cdot I_{\text{лг}}.$$

Данные испытаний и результаты расчёта полезных мощностей источников питания испытательного стенда приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Данные эксперимента и результаты расчёта полезных мощностей источников системы взаимной нагрузки

$\Delta E, \text{В}$	Δe	$U_{\text{лг}}, \text{В}$	$U_{\text{вдм}}, \text{В}$	$I_{\text{лг}}, \text{А}$	$I_{\text{вдм}}, \text{А}$	$I_{\text{д}}, \text{А}$	$P_{\text{лг}}, \text{Вт}$	$P_{\text{вдм}}, \text{Вт}$	$\Sigma P, \text{Вт}$
48	0,058	825	170	-1	216	215	-825	36720	35895
35	0,042	825	157	2	213	215	1650	33441	35091
12	0,015	825	134	8	207	215	6600	27738	34338
0	0,000	825	122	11	204	215	9075	24888	33963
-15	-0,018	825	107	15	200	215	12375	21400	33775
-33	-0,040	825	89	20	195	215	16500	17355	33855
-50	-0,061	825	72	24	191	215	19800	13752	33552

Рассчитанные по данным эксперимента зависимости $P_{\text{лг}}(\Delta e)$ и $\Sigma P(\Delta e)$ графически представлены на рис. 3.

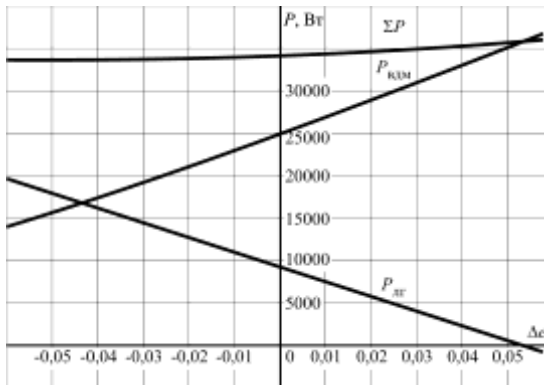


Рис. 3 – Зависимости $P_{\text{лг}}(\Delta e)$, $P_{\text{вдм}}(\Delta e)$ и $\Sigma P(\Delta e)$

Из рис. 3 видно, что для взаимного нагружения тяговых двигателей РТ-51Д (по схеме с ВДМ и ЛГ) при максимально допустимом расхождении их магнитных характеристик требуется

более чем двукратный запас мощности ЛГ и полуторакратный запас мощности ВДМ. Коэффициент запаса суммарной мощности источников стэнда взаимной нагрузки составляет $k_{\text{зап}} = 1,7$.

Выводы. В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- расхождение магнитных характеристик испытуемых путем взаимного нагружения тяговых электромашин на стенде с двумя источниками питания требует существенного запаса суммарной приведенной мощности этих источников;

- на практике существует достаточно высокая вероятность попадания на стенд взаимной нагрузки двух испытуемых электромашин с максимальным расхождением магнитных характеристик, требующим почти двукратного запаса суммарной мощности двух источников;

- с точки зрения минимума суммарной приведенной мощности источников питания наиболее рациональными являются схемы взаимного нагружения с одним источником питания.

Список литературы: 1. *Афанасов А.М.* Системы взаимного нагружения тяговых электрических машин постоянного и пульсирующего тока: монография. – Д.: Изд-во Маковецкий, 2012. – 248 с. 2. *Афанасов А.М.* Взаимное нагружение тяговых электромашин с расходящимися магнитными характеристиками // Вісн. Східноукр. держ. ун-ту ім. В. Даля – Луганськ: СУДУ, 2012. – Вип. 5(176). Ч. 1. – С. 202-206. 3. *Афанасов А.М.* Выбор рациональных схем и режимов нагружения тяговых электрических машин при приемо-сдаточных испытаниях // Локомотив-информ. – 2012. – № 10. – С. 12-14.

Bibliography (transliterated): 1. *Afanasov A.M.* Sistemy vzaimnogo nagruzheniya tyagovykh elektricheskikh mashin postoyannogo i pulsiruyushchego toka. Dnipropetrovsk. Publishing house of Makovetsky, 2012. 248 p. 2. *Afanasov A.M.* Vzaimnoe nagruzhenie tyagovykh jelektromashin s rashodjashimisja magnitnymi harakteristikami // Visn. Shidnoukr. derzh. un-tu im. V. Dalja – Lugans'k: SUDU, 2012. – Vol. 5(176). Ch. 1. – P. 202-206. 3. *Afanasov A.M.* Vybór racional'nyh shem i rezhimov nagruzhenija tyagovykh jelektricheskikh mashin pri priemo-sdatochnyh ispytanjah // Lokomotiv-inform. – 2012. – Vol. 10. – P. 12-14.

Поступила (received) 05.10.2014



Афанасов Андрей Михайлович, доцент, доктор технических наук. Защитил диплом инженера по специальности "Электрификация железнодорожного транспорта" в 1988 г., диссертации кандидата и доктора технических наук в Днепропетровском национальном университете железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна по специальностям "Подвижной состав железных дорог и тяга поездов" и "Электрический транспорт" в 1999 и 2013 гг. соответственно. Декан факультета "Электрификация железных дорог", профессор кафедры "Электроподвижной состав железных дорог" Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна с 2014 г. Научные интересы связаны с проблемами усовершенствования электроподвижного состава железнодорожного транспорта.

А.В. КАЛІНІЧЕНКО, ВАТ "КЗТВ", Кременчук

ВПЛИВ ДИСБАЛАНСУ РОТОРА НА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ МОМЕНТ ВЕНТИЛЬНОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГУНА

Запропоновано метод моделювання електромагнітного моменту вентильного реактивного двигуна (ВРД), враховуючи нерівномірність повітряного проміжку, яка обумовлена дисбалансом ротора. Проведено моделювання кривих фазного струму та електромагнітного моменту ВРД як при збалансованому роторі, так і при наявності дисбалансу. Зроблено висновки про вплив величини відхилення ротора від збалансованого стану та типу дисбалансу на параметри кривої електромагнітного моменту.

Ключові слова: вентильний реактивний двигун, дисбаланс ротора, електромагнітний момент.

Вступ. Явище дисбалансу ротора присутнє практично в усіх електричних машинах у різній мірі. Воно виникає при виготовленні, в результаті зношування підшипників, через зміщення опор або прогин валу. Внаслідок цього відбувається викривлення магнітного потоку у повітряному проміжку, знижується ККД, з'являються додаткові вищі гармоніки поля, знижується пусковий момент, ростуть місцеві нагріви, а також підвищується рівень вібрації. При сильно розвинутому такому дефекті можливе зачіпання магнітопроводів ротора і статора, що веде до більш серйозних ушкоджень.

Дисбаланс ротора може проявлятися у вигляді [1, 2]:

- статичного ексцентриситету, коли відбувається зміщення вісі обертання ротора, при цьому, нерівномірний повітряний проміжок залишається нерухомим (див. рис. 1, *a*);
- динамічного ексцентриситету, коли виникають поворотні коливання (див. рис. 1, *b*);
- еліпсності або конусності ротора (див. рис. 1, *в*);
- неспіввісності між статором і ротором (див. рис. 1, *г*);
- прогину ротора (див. рис. 1, *д*).

Аналіз останніх досліджень та літератури. У роботі [1] для аналізу процесів за нерівномірного повітряного проміжку по довжині (див. рис. 1, *в*, *г*, *д*), електричну машину розбивають на ряд елементарних машин, які з'єднуються паралельно, при цьому, підведені до них напруги розподіляються однаково. Однак, за такого підходу складно врахувати зміну фазного струму внаслідок нерівномірності магнітної системи. У цьому випадку, досліджувану електричну машину доцільно замінити на

© А.В. Калініченко, 2014

еквівалентну, у якій повітряний проміжок розподілений рівномірно вздовж машини, а величина дисбалансу ротора (статичного і/або динамічного) замінюється середнім значенням дисбалансу елементарних машин.

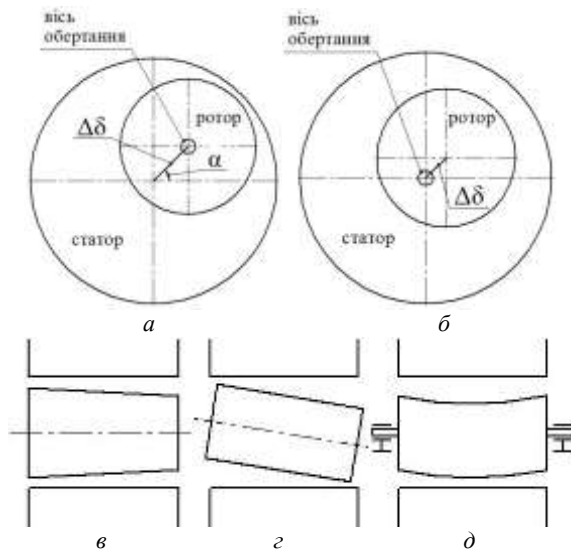


Рис. 1 – Типи дисбалансу ротора: *a* – статичний ексцентриситет; *б* – динамічний ексцентриситет; *в* – еліпсність або конусність ротора; *г* – неспіввісність між статором і ротором; *д* – прогин ротора

Мета роботи. Дослідження впливу різних типів дисбалансу ротора та величини відхилення на зміну параметрів кривих електромагнітного моменту вентильного реактивного двигуна (ВРД).

Матеріали досліджень. Для моделювання електромагнітного моменту ВРД використовується чисельний метод скінчених елементів, що реалізовано у програмному пакеті FEMM 4.2, який дозволяє проводити електромагнітні розрахунки у плоскопаралельній та вісьосиметричній двовимірній постановці, не має обмеження на число вузлів сітки скінчених елементів та є безкоштовним. Крім того, у даному програмному пакеті є можливість задавати параметри задачі програмно, на мовах Lua та MATLAB.

Моделювання електромагнітного моменту ВРД здійснюється для різних положень ротора при відповідних значеннях миттєвих фазних струмів, тому необхідною умовою для проведення електромагнітного розрахунку є визначення кривих струму для кожної фази.

Визначення кривої фазного струму ВРД.

Як відомо, живлення фаз ВРД здійснюється від інвертора, залежно від положення ротора, і є несинусоїдальним. На фазу подається заданий рівень напруги, який, при досягненні ротором заданого положення, змінює знак. Для кращого розуміння принципу формування кривої фазного струму розглянемо фізичні процеси, які відбуваються у фазі ВРД.

Еквівалентна схема однієї фази ВРД представлена на рис. 2.

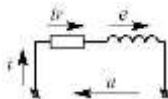


Рис. 2 – Еквівалентна електрична схема фази ВРД

Процеси, які відбуваються у фазі ВРД можна описати наступним рівнянням

$$i = \frac{u + e}{r}, \quad (1)$$

де i , u , r – струм, напруга і активний опір фази відповідно; e – наведена у фазі ЕРС (ЕРС протидії), яка направлена назустріч прикладеної до фази напруги і може бути виражена через похідну від потокозчеплення за часом ($d\Psi/dt$)

$$e = -\frac{d\Psi}{dt}. \quad (2)$$

Приклад кривої фазного струму ВРД, залежно від кута повороту ротора наведено на рис. 3.

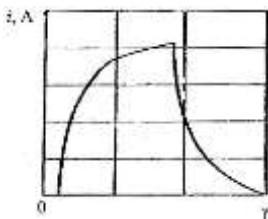


Рис. 3 – Крива фазного струму ВРД

Криву фазного струму, представлену на рис. 3 умовно розділяють на три ділянки [3]:

- ділянка різкого наростання струму ($\gamma_{on} \leq \gamma < \gamma_1$);
- ділянка плавного спадання струму ($\gamma_1 \leq \gamma < \gamma_{off}$);
- ділянка швидкого спадання струму до нульового значення ($\gamma_{off} \leq \gamma < \gamma_a$).

Різке зростання струму відбувається за низького значенні ЕРС протидії e , яке знаходиться на інтервалі від неузгодженого положення до положення, коли полюси ротора починають перекривати полюси статора. На другій ділянці спостерігається плавне спадання струму, а в деяких випадках можливе зниження росту струму, що обумовлено наростанням ЕРС протидії. На третій ділянці відбувається спадання струму до нуля, що обумовлене інвертуванням фазної напруги.

Використовуючи математичну модель, яка представлена у [4], можна побудувати криву фазного струму ВРД. Вихідними даними для такої моделі є: значення індуктивності фази ІМ при узгодженому L_a та неузгодженому положенні ротора L_u , частота обертання ротора n , а також значення прямої $U_{ph,d}$ та інвертованої фазної напруги $U_{ph,i}$. Моделювання кривої фазного струму здійснюється для реального ВРД, у якого $n=1820$ об/хв, $U_{ph,d}=18$ В і $U_{ph,i}=22$ В. Індуктивності фази при узгодженому L_a та неузгодженому L_u положенні ротора визначаються за допомогою програмного пакету FEMM 4.2 так, як показано на рис. 4, і дорівнюють: $L_a=8,62$ мГн, $L_u=1,5$ мГн.

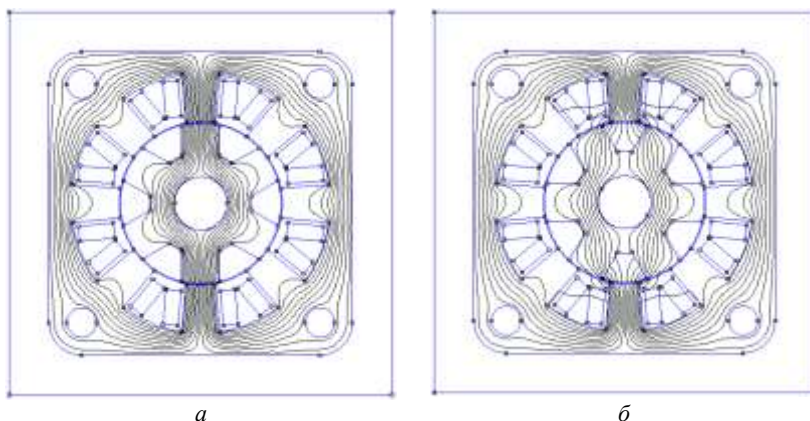


Рис. 4 – Визначення індуктивності фази: *а* – узгоджене положення ротора; *б* – неузгоджене положення ротора

На рис. 5 представлено криві фазного струму для одного комутаційного періоду, отримані при моделюванні, відповідно до [4], і від реального ВРД, при усередненні імпульсів струму у всіх фазах за один оберт ротора.

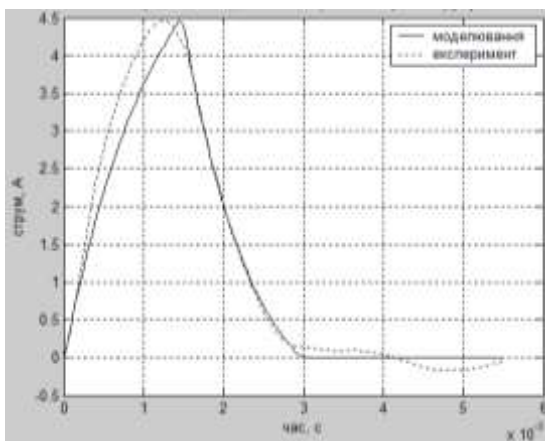


Рис. 5 – Порівняння кривої фазного струму, отриманої при моделюванні з кривою струму, отриманою експериментально

Щоб провести якісну оцінку схожості змодельованої кривої струму з реальною скористаємось такими поняттями як середньоквадратичне відхилення σ_I і коефіцієнт детермінації R_I^2

$$\sigma_I = \sqrt{\frac{1}{T_{cycle}} \sum_{t=0}^{T_{cycle}} [I_{exp}(t) - I_{mod}(t)]^2}; \quad (3)$$

$$R_I^2 = 1 - \frac{\sum_{t=0}^{T_{cycle}} [I_{exp}(t) - I_{mod}(t)]^2}{\sum_{t=0}^{T_{cycle}} [I_{exp}(t) - \bar{I}_{exp}]^2}, \quad (4)$$

де $I_{exp}(t)$, $I_{mod}(t)$ – значення фазного струму у момент часу t для експериментальної і змодельованої кривої відповідно; $\bar{I}_{exp}$ – середнє значення кривої струму, отриманої експериментально, за період одного комутаційного циклу T_{cycle} .

Для даного випадку було отримано наступні значення: $\sigma_I = 0,253$ А та $R_I^2 = 0,976$.

Якісну оцінку адекватності математичної моделі кривої фазного струму можна дати за шкалою Чеддока, відповідно до коефіцієнту R_I^2 . Оскільки $R_I^2 > 0.9$, то можна сказати, що якісна характеристика сили зв'язку моделі кривої струму з реальною кривою струму є дуже високою.

Моделювання електромагнітного моменту за відсутності дисбалансу ротора.

Після моделювання кривої струму для однієї фази необхідно побудувати криві фазного струму і для інших фаз. Для симетричної магнітної системи такі криві будуть відрізнятися лише на кут повороту ротора, що відповідає куту такту комутації

$$\gamma_t = \frac{2\pi}{mN_r}, \quad (5)$$

де m – число фаз ВРД; N_r – число полюсів ротора.

Тоді, криві струмів для 4-фазного ВРД за один цикл комутації зобразяться так, як показано на рис. 6.

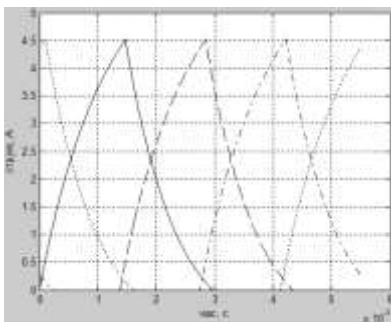


Рис. 6 – Фазний струм ВРД за один цикл за відсутності дисбалансу ротора

Моделювання електромагнітного моменту ВРД здійснюється для різних положень ротора, яким відповідають миттєві значення фазних струмів. На рис. 6 фазні струми представлені як функції від часу. Щоб виразити значення фазних струмів як функції від кута повороту ротора скористаємось наступним співвідношенням

$$\gamma = bnt, \quad (6)$$

де γ – кут повороту ротора у градусах.

При проведенні моделювання ротор займає особливі положення, які відповідають певним подія, що пов'язані з процесом комутації, або з певним положенням полюсів ротора відносно полюсів статора. Введення такого терміну обумовлене тим, що при фіксованій зміні кута повороту ротора складно визначити величину кутового кроку. При завеликому значенні такого кроку вершини пульсацій електромагнітного моменту може бути зрізано, а при замалому – значно збільшиться час проведення розрахунку. Для даного розрахунку розглядаються наступні особливі положення:

- 1) неузгоджене положення полюсів ротора відносно полюсів статора;
- 2) подача на фазу прямої напруги;
- 3) початок перекривання полюсів статора полюсами ротора;
- 4) інвертування фазної напруги;
- 5) повне перекривання полюсів статора полюсами ротора;
- 6) кінець одного циклу комутації та початок наступного.

Розглянемо особливі положення для першої фази. Робимо припущення, що особливі положення 1) і 2) збігаються і дорівнюють нулю. Кут положення 3) розраховується за формулою

$$\gamma_c = \frac{180}{N_r} - \frac{\beta_s + \beta_r}{2}, \quad (7)$$

де β_s і β_r – полюсні кути статора і ротора у градусах відповідно.

Кут, який відповідає особливому положенню 4) визначається із математичної моделі струму для максимального значення. Кут положення 5) визначається за формулою

$$\gamma_e = \frac{180}{N_r} - \frac{\beta_s - \beta_r}{2}. \quad (8)$$

Кут положення 6) ротор займає за наступного розузгодженого положення і початку наступного такту комутації відносно даної фази, що відповідає періоду комутаційного циклу T_{cycle}

$$\gamma_f = T_{cycle} = \frac{60}{nN_r}. \quad (9)$$

Для кожної наступної фази особливі положення будуть зміщені на кут γ_f .

Електромагнітний момент у програмному пакеті FEMM 4.2 визначається для кожного положення ротора як сила через зважений тензор натягу Максвелла навколо точки (0, 0) (Torque via Weighted Stress Tensor) [5]. Картина магнітного поля ВРД для одного з положень ротора та результати моделювання електромагнітного моменту ВРД, у якому відсутній дисбаланс ротора, для одного циклу комутації представлено на рис. 7.

Моделювання електромагнітного моменту ВРД із дисбалансом ротора.

Як було сказано раніше, ВРД із дисбалансом ротора замінюється на еквівалентну машину, у якій повітряний проміжок однаковий по довжині магнітопроводу, тому при моделюванні електромагнітного моменту можна обмежитись тільки статичним і динамічним випадком. Для ВРД із рівномірним повітряним проміжком довжиною $\delta=0,4$ мм проводиться

моделювання статичного, при $\Delta\delta=0,1$ і $\Delta\delta=0,3$ мм (див. рис. 1, а), і динамічного, при $\Delta\delta=0,1$ і $\Delta\delta=0,3$ мм (див. рис. 1, б), дисбалансу ротора.

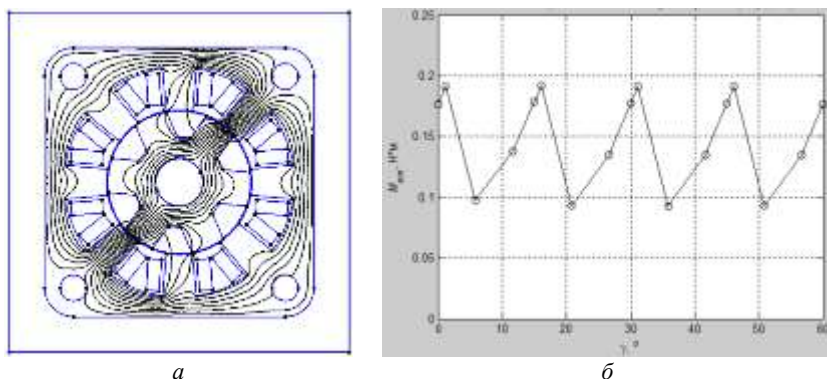


Рис. 7 – Моделювання електромагнітного моменту ВРД без дисбалансу ротора: а – картина магнітного поля; б – крива електромагнітного моменту

Так як за статичного дисбалансу повітряний проміжок не змінюється при обертанні ротора, то можна обмежитись моделюванням кривих фазних струмів (див. рис. 8) та електромагнітного моменту (див. рис. 9) для одного циклу комутації.

При динамічному дисбалансі ротора довжина повітряного проміжку змінюється залежно від кута повороту ротора, тому криві фазних струмів (див. рис. 10) та електромагнітного моменту (див. рис. 11) визначаються для повного обороту ротора.

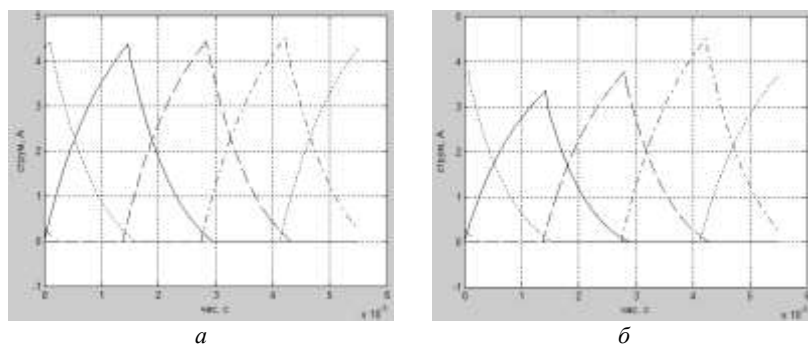
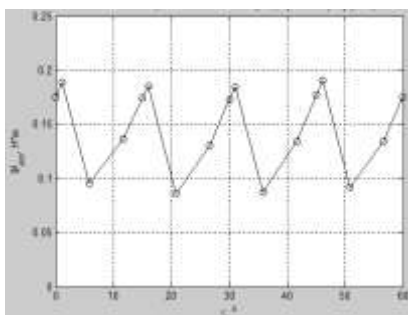
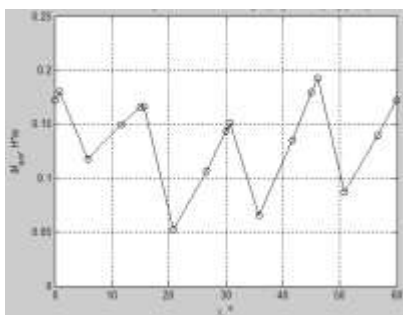


Рис. 8 – Криві фазних струмів для ВРД зі статичним дисбалансом ротора при а – $\Delta\delta=0,1$ мм і б – $\Delta\delta=0,3$ мм

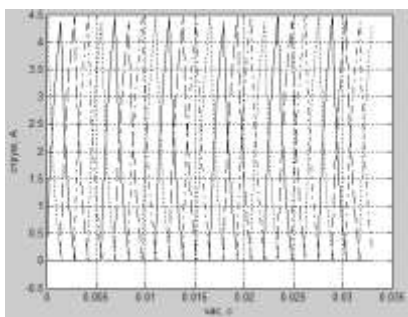


a

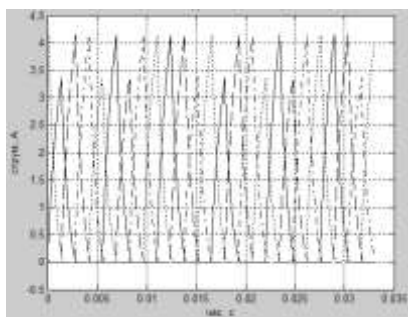


б

Рис. 9 – Криві електромагнітного моменту ВРД зі статичним дисбалансом ротора при *a* – $\Delta\delta=0,1$ мм і *б* – $\Delta\delta=0,3$ мм

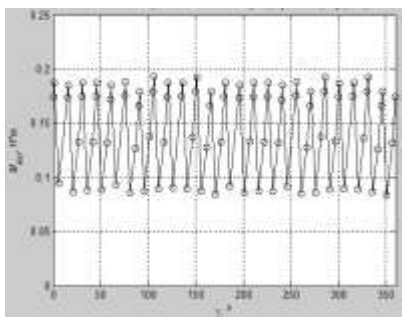


a

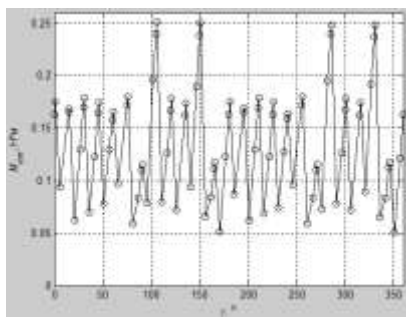


б

Рис. 10 – Криві фазних струмів для ВРД із динамічним дисбалансом ротора при *a* – $\Delta\delta=0,1$ мм і *б* – $\Delta\delta=0,3$ мм



a



б

Рис. 11 – Криві електромагнітного моменту ВРД зі статичним дисбалансом ротора при *a* $\Delta\delta=0,1$ мм і *б* $\Delta\delta=0,3$ мм

Як видно з рис. 8-11, при $\Delta\delta=0,1$ мм спостерігаються незначні зміни кривих струму і електромагнітного моменту як при статичному, так і при динамічному дисбалансі ротора, порівняно з випадком, коли дисбаланс відсутній, тоді як при $\Delta\delta=0,3$ мм ці зміни проявляються більш суттєво. Порівняння параметрів кривих електромагнітного моменту ВРД як зі статичним і динамічним дисбалансом ротора, так і за відсутності дисбалансу, наведено у табл.

Таблиця – Порівняння параметрів кривих електромагнітного моменту

Параметр кривої електромагнітного моменту, Н·м	Тип дисбалансу				
	Дисбаланс відсутній	Статичний дисбаланс		Динамічний дисбаланс	
		$\Delta\delta=0,1$ мм	$\Delta\delta=0,3$ мм	$\Delta\delta=0,1$ мм	$\Delta\delta=0,3$ мм
Середнє значення	0,1381	0,1349	0,1261	0,1345	0,1255
Мінімальне значення	0,0928	0,0857	0,0524	0,0835	0,0504
Максимальне значення	0,1916	0,1904	0,1924	0,193	0,251
Амплітуда пульсацій	0,0494	0,0524	0,07	0,0548	0,1007

Висновки. За допомогою методу, який представлено у даній роботі, можна провести моделювання електромагнітного моменту ВРД із дисбалансом ротора, враховуючи зміну кривих фазних струмів через зміну магнітного опору повітряного проміжку.

Використовуючи аналіз кривих фазних струмів, можна встановити тип (статичний і/або динамічний дисбаланс) і ступінь дисбалансу ротора ВРД.

Аналіз отриманих результатів (табл.) показав, що наявність дисбалансу ротора веде до зменшення середнього електромагнітного моменту. Причому, величина такого моменту залежить від величини відхилення ротора від збалансованого стану $\Delta\delta$ і мало залежить від типу дисбалансу. При динамічному дисбалансі і при тих же значеннях $\Delta\delta$ спостерігається більша амплітуда пульсацій електромагнітного моменту, порівняно зі статичним дисбалансом.

Список літератури: 1. Черный А.П. Диагностика асинхронных двигателей с неуравновешенностью ротора / А.П. Черный, Г.Ю. Сисюк, Д.И. Родькин // Проблемы создания новых машин и технологий: Научные труды КГПИ. – Кременчуг: КГПИ. – 1999. – Выпуск 1. – С. 102-106. 2. Руссов В.А. Спектральная вибродиагностика / В.А. Руссов. – Режим доступу: <http://vibrocenter.com/book5.htm>. 3. Кузнецов В.А. Вентильно-индукторные двигатели / В.А. Кузнецов, В.А. Кузьмичёв. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 70 с. 4. Овчинников И.Е. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе (малая и средняя мощность) / И.Е. Овчинников // Курс лекций. – СПб.: КОРОНА-Век,

2006. – 336 с. **5.** *David Meeker* User's Manual. Fenite Element Method Magnetics. Version 4.2 / *David Meeker*. – Режим доступу: <http://www.femm.info/Archives/doc/manual42.pdf>.

Bibliography (transliterated): **1.** *Chernyj A.P., Sisjuk G.Ju., Rod'kin D.I.* Diagnostika asinhronnyh dvigatelej s neuravnoveshehnost'ju rotora. *Problemy sozdaniya novyh mashin i tehnologij: Nauchnye trudy KGPI.* Kremenichug: KGPI. 1999. Vypusk 1. 102-106. Print. **2.** *Rusov V.A.* Spektral'naja vibrodi agnostika. Web. <<http://vibrocenter.com/book5.htm>>. **3.** *Kuznecov V.A., Kuz'michjov V.A.* Ventil'no-induktornye dvigateli. Moscow: Izdatel'stvo MJeI, 2003. Print. **4.** *Ovchinnikov I.E.* Ventil'nye jelektricheskie dvigateli i privod na ih osnove (malaja i srednjaja moshhnost'). Kurs lekcij. – St. Peterburg.: KORONA-Vek, 2006. Print. **5.** *David Meeker.* User's Manual. Fenite Element Method Magnetics. Version 4.2 / *David Meeker*. Web. <<http://www.femm.info/Archives/doc/manual42.pdf>>.

Надійшла (received) 10.10.2014



Калініченко Антон Вікторович, захистив диплом інженера за спеціальністю "Електричні машини і апарати" у 2010 р. в Кременчуцькому національному університеті ім. М. Остроградського. В 2010-2014 рр. навчався в аспірантурі. З серпня 2014 року є працівником Кременчуцького заводу технічного вуглецю. Наукові інтереси пов'язані з проблемами старіння та діагностики вентильних реактивних двигунів.

Г.В. КУЛИНЧЕНКО, к.т.н., доцент, СумГУ, Сумы

П.В. ЛЕОНТЬЕВ, аспирант, СумГУ, Сумы

А.Г. КОРОБОВ, студент, СумГУ, Сумы

Д.С. СВИНАРЕНКО, студент, СумГУ, Сумы

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДРОССЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Производится оценка характеристик модуля, обеспечивающего управление режимами дросселирования природного газа. На математической модели модуля управления дроссельной заслонкой на базе асинхронного двигателя проанализированы переходные процессы перемещения дросселирующей заслонки, что позволяет сформулировать требования к параметрам системы электропривода с учетом эксплуатационных характеристик исследуемого объекта.

Ключевые слова: запорная арматура, асинхронный двигатель, крутящий момент, точность позиционирования.

Введение. Дросселирование природного газа, используемое в установках подготовки газа (УППГ) к его транспортированию, определяет условия сепарации тяжелых углеводородов, воды и других примесей. Управление процессами ППГ в большинстве случаев осуществляется отдельными контурами регулирования, при этом "человеческий фактор" существенно ограничивает увеличение эффективности управления. Поэтому повышение эффективности функционирования УППГ, базирующееся на оптимизации параметров используемого электрооборудования и средств управления этим оборудованием, является актуальной задачей.

Решение задач управления процессом сепарации природного газа [1] в дистанционном и автоматическом режимах при непрерывном характере процесса осложняется воздействием многофакторных возмущений. Специфика объекта УППГ предполагает использование средств противоаварийной защиты технологического оборудования (электроприводных клапанов и задвижек), которое классифицируется как запорно-регулирующая арматура (ЗРА), а также специальных мер по обеспечению необходимых параметров надежности.

Поскольку положение дросселирующей заслонки определяет основные параметры процесса сепарации природного газа, то эффективность управления этим процессом будет зависеть от качества управления электроприводом регулируемого дросселирующего устройства (ДУ).

Среди основных параметров, характеризующих электропривод ЗРА, выделяют крутящий момент и рабочее время хода. Надежность регулируемого дросселя оценивается числом рабочих циклов с номинальным крутящим моментом [2]. Развитие микропроцессорных средств и силовой электроники позволяет расширить число критериев оценки эффективности электропривода ЗРА и учитывать степень адаптации устройства к обслуживаемому процессу.

В связи с особенностями протекания процессов сепарации природного газа [3], реализация алгоритмов регулирования параметрами этих процессов усложняется, соответственно повышаются требования к ДУ, регулирующему давление в газовой магистрали. Система управления ДУ должна обеспечивать формирование задания на скорость и момент в зависимости от внешних сигналов и условий, электромеханическое преобразование энергии в двигателе с максимальной степенью эффективности, формирование защит двигателя, преобразователя и механизма. При этом помимо снижения инерционности регулятора требуется обеспечить необходимую точность позиционирования задвижки ДУ.

Выполнение этих требований становится возможным при использовании адаптационных алгоритмов, а также регуляторов с нечеткой логикой. Выбор направления для решения задач синтеза регулятора зависит от результатов оценки динамических и конструктивных параметров исследуемого объекта.

Постановка задачи исследований. При решении задачи управления процессами в УППГ основным вопросом остается оценка параметров контура регулирования давления газа в магистрали, которое определяется положением дроссельной задвижки. Точность позиционирования при максимальном быстродействии управления газовым дросселем определяет результат регулирования в условиях изменяющихся флуктуаций давления газа, поступающего со скважины.

Учет характера протекания газа через дроссельное устройство показывает, что в различных положениях распределение потока над диском задвижки и под ним неодинаково. Из-за неравномерного распределения скоростей по сечению потока, зависимость крутящего момента от угла поворота заслонки имеет нелинейный характер [4]. В случае недостаточной мощности электропривода при достижении определенного перепада давления вращающий момент задвижки может оказаться больше, чем момент, создаваемый приводом. В этом случае задвижка становится неуправляемой, ее "заклинивает", и

осуществление процесса регулирования невозможно. В таких случаях приходится искусственным путем снижать давление до задвижки, чтобы обеспечить возврат к нормальной работе. Вследствие различия моментов, действующих на задвижку при разных углах поворота, допустимый перепад Δp различен для разных углов поворота φ .

Таким образом, при решении задачи управления газовым дросселем целесообразно использовать адаптирующиеся алгоритмы регулирования по внутреннему (φ) и внешнему (Δp) контурам на базе мощного редукторного электропривода.

Для выполнения сформулированной задачи необходимы научно-исследовательские работы, обеспечивающие получение экспериментальных данных, которые позволят сформулировать требования к параметрам аппаратно-программного блока электропривода процесса очистки природного газа.

Предметом исследования является оценка характеристик исполнительного механизма системы управления процессом низкотемпературной сепарации, в состав которого входит микропроцессорный модуль электропривода и управляемая задвижка.

Актуальность исследований заключается в представлении исследуемого объекта мехатронным модулем [5], что позволяет учесть влияние нелинейного характера механической нагрузки на электрические параметры и режимы проектируемого электропривода.

Цель работы. Целью данной работы является разработка математической модели ДУ, отражающей взаимосвязь с нелинейными параметрами механической нагрузки для исследования его динамики и оценки влияния различных параметров на динамические характеристики ДУ УППГ. При этом главным вопросом исследований является выяснение степени влияния нагрузки параметры электропривода.

Для достижения поставленной цели проводится анализ функционирования электропривода устройства в составе мехатронного модуля. Полное математическое описание должно учитывать нелинейный характер действующих сил, при этом возможные границы линеаризации можно определить в результате анализа экспериментальных данных функционирующей адекватной модели мехатронного модуля ДУ.

Разработка математической модели. Структурная схема ДУ УППГ представлена на рис. 1. Она включает блок электропривода и регулируемый газовый дроссель. В зависимости от давления, обеспечивающего требуемый режим сепарации природного газа, устанавливается соответствующее положение дроссельной задвижки, которое контролируется датчиками.

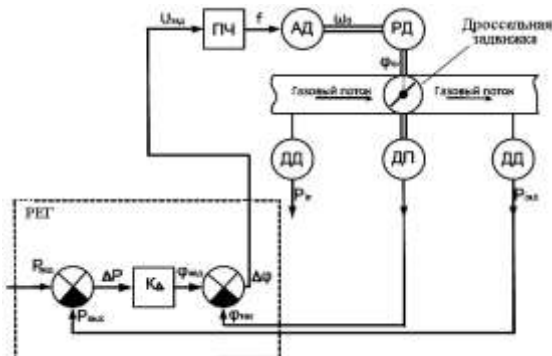


Рис. 1 – Структурная схема ДУ УППГ

Уровень сигнала $P_{\text{зад}}$, соответствующий требуемому режиму сепарации, задается оператором УППГ. В результате сравнения заданного давления с текущим определяется необходимое положение задвижки ДУ, и в качестве управляющего сигнала выдается на блок электропривода. При отклонении положения задвижки от требуемого, сигнал ошибки, поступающий на частотный преобразователь (ПЧ), через асинхронный двигатель (АД), соединенный валом через редуктор (РД) с задвижкой, корректирует ее положение.

На данном этапе не ставится задача синтеза регулятора дросселирующего устройства (РЕГ), поэтому исследование характеристик модели проводится подачей управляющих сигналов $U_{\text{зад}}$, которые соответствуют требуемым углам поворота задвижки ДУ.

Для построения математической модели (ММ) мехатронного модуля рассмотрим основные соотношения, описывающие взаимосвязь элементов модуля.

Газовый дроссель. В общем случае при турбулентном течении газа соотношение между расходом газа Q и перепадом давления ΔP представляется в виде [6]:

$$Q = \varepsilon \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} \quad (1)$$

где ε – коэффициент расхода; ρ – плотность жидкости; A – площадь сечения отверстия дросселя.

Соответственно, выходной параметр ΔP дросселя через управляющий параметр A представляется:

$$\Delta P = \frac{k_d}{A^2} \cdot Q^2$$

где $k_d = \frac{\rho}{2\varepsilon^2}$ – константа дросселя.

Динамические параметры дроссельной задвижки можно описать операторной передаточной функцией аperiodического звена [7]:

$$W_d(s) = \frac{1}{T_d s + 1} \quad (2)$$

где $T_d = \frac{V}{Q}$ – постоянная времени, зависящая от объема дросселя V и расхода газа Q .

Приведенные соотношения (1), (2) дают основание представить структурную схему модели дроссельной задвижки, управляемой по параметру A – площади сечения отверстия дросселя в виде, показанном на рис. 2.

Значение угла поворота задвижки φ , которое является выходным сигналом в модуле электропривода, преобразуется во входной управляющий сигнал A в блоке преобразования модели k_A .

Таким образом, в блоке ММ дроссельной задвижки отображается процесс изменения давления в газовой магистрали $P_{\text{зад}}$ в результате управления углом поворота задвижки φ от блока электропривода.

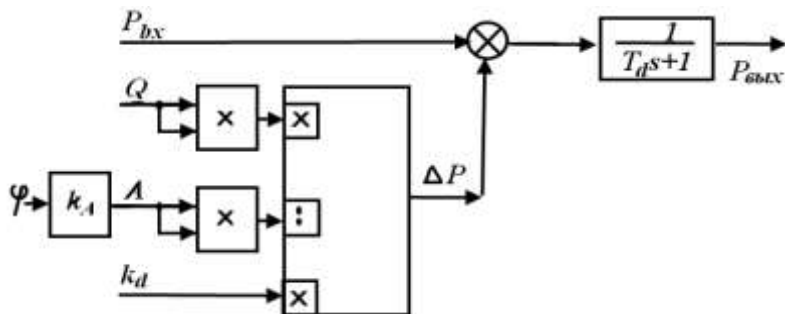


Рис. 2 – Структурная схема моделирования дросселя

Мехатронный модуль. Функционирование мехатронного модуля ДУ можно описать в результате представления этого объекта двухмассовой системой. В рассматриваемом модуле механический момент, развиваемый асинхронным двигателем, изменяется под действием нелинейной нагрузки и потерь на вязкое трение. Динамические свойства в значительной степени определяются жесткостью упругих связей обеих масс системы.

Воспользовавшись системой уравнений:

$$\begin{cases} J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = M_a - M_{12} - M_{c1} \\ \frac{dM_r}{dt} = c_{\varphi 12} (\omega_1 - \omega_2) \\ M_v = b_{v12} (\omega_1 - \omega_2) \\ M_{12} = M_r + M_v \\ J_2 \frac{d\omega_2}{dt} = M_{12} - M_{c2} - M_Z \\ \frac{d\varphi}{dt} = k_Z * \omega_2 \end{cases}$$

где J_1, J_2 – моменты инерции масс модуля; ω_1, ω_2 – скорости вращения масс; M_a – электромагнитный вращающий момент АД; M_{12} – момент взаимодействия масс; M_{c1}, M_{c2} – моменты смешанного трения на валу масс; M_r – упругий момент; c_{φ} – коэффициент угловой жесткости; M_v – момент внутреннего трения; b_{12} – коэффициент внутреннего трения; M_Z – момент составляющей веса задвижки и давления газа; φ – угол поворота вала задвижки;

получим операторную схему моделирования модуля, представленную на рис. 3, где s – оператор Лапласа.

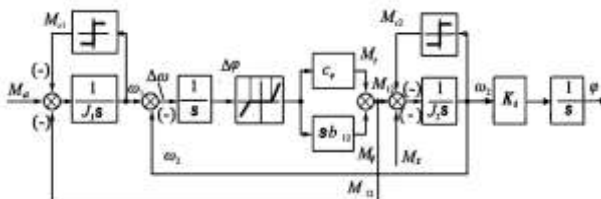


Рис. 3 – Операторная схема моделирования мехатронного модуля

Наличие зазора в передаточном механизме модуля (редукторе) представляется типовой нелинейностью – звена с зоной нечувствительности $\Delta\varphi$. Сухое трение в модели тоже описывается нелинейными моментами, не зависящими от модуля скорости вращения.

Разработанная модель мехатронного модуля ДУ (рис. 4) реализована в программной среде Matlab Simulink [8]. В свою очередь структура модели в среде программирования представляется состоящей из механического блока и блока симуляции режимов работы АД.

Блок симуляции режимов работы АД строится на основе управляемого широтно-импульсного модулятора (на схеме не показан). Это позволяет реализовать микропроцессорное программное управление режимами работы АД, что важно при работе на малых скоростях его

вращения, в режимах пусков/остановок, особенно в условиях воздействия различных возмущений процесса дросселирования.

Результаты моделирования. Для реализации имитационной модели использовались численные значения параметров устройств, входящих в ММ мехатронного модуля. Характеристики АД АИР180S4, предназначенного для вращения задвижки: мощность – 22 кВт, номинальная скорость вращения $\omega_0 = 1470$ об/мин, крутящий момент $M_a = 143$ Н·м, момент инерции $J_1 = 0,07$ Н·м², передаточное число редуктора – $i = 45$. Остальные параметры получены из паспортных данных на клиновую задвижку 30с976 нж.

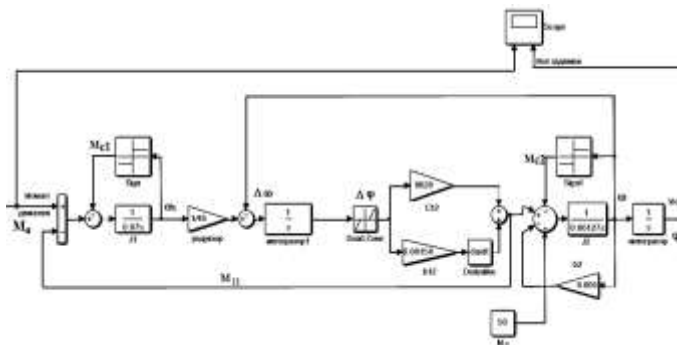


Рис. 4 – Схема модели мехатронного модуля в среде Matlab Simulink

Динамические характеристики мехатронного модуля можно проанализировать по осциллограммам процесса управления углом поворота вала задвижки, полученных при различных управляющих воздействиях на вращающий момент АД.

На рис. 5 отражено изменение угла поворота задвижки при управляющем воздействии, которое имитирует управление при широтно-импульсной модуляции (ШИМ). На рис. 6 показано характер изменения угла поворота при плавном торможении АД. На рис. 7 иллюстрируются изменения угла поворота при случайных изменениях управляющего сигнала, что соответствует режиму регулирования положения задвижки в условиях действия возмущений и помех процесса дросселирования.

В результате обработки полученных данных получены постоянные времени процессов регулирования мехатронного модуля, что позволяет оценить степень влияния постоянной времени газового дросселя ДУ. Поскольку постоянные времени мехатронного модуля на порядок превышают постоянную времени газового дросселя, то этой постоянной при синтезе регулятора ДУ можно пренебречь.

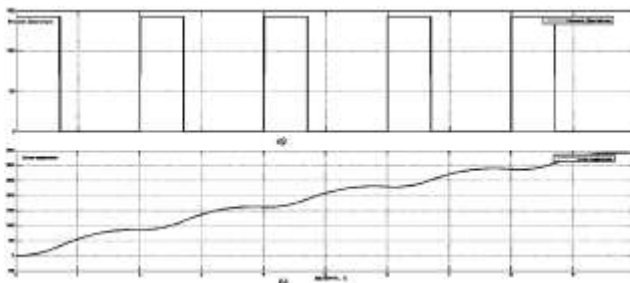


Рис. 5 – Осциллограмма изменения угла поворота задвижки:
 a – изменение управляющего момента АД; b – изменение угла поворота.

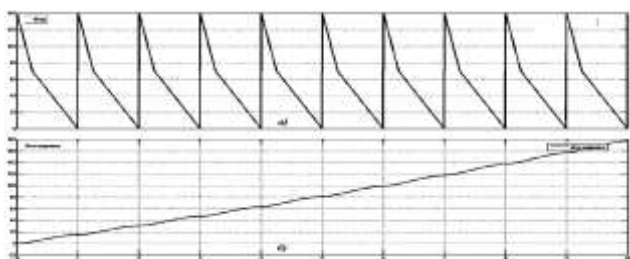


Рис. 6 – Осциллограмма изменения угла поворота задвижки:
 a – изменение управляющего момента АД; b – изменение угла поворота

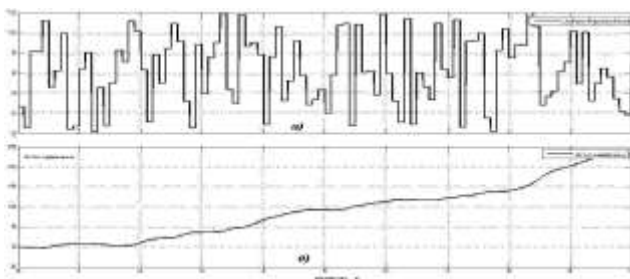


Рис. 7 – Осциллограмма изменения угла поворота задвижки:
 a – изменение управляющего момента АД; b – изменение угла поворота

Вывод. На основе математического описания процесса дросселирования природного газа получена модель мехатронного модуля, проведена оценка адекватности этой модели. Полученные результаты позволяют сформировать технические требования к параметрам регулятора электропривода системы, обеспечивающей технические требования режимов дросселирования в условиях действия различных возмущений.

Список литературы: 1. Кулінченко Г.В., Леонтьєв П.В. Завдання оптимального керування установкою комплексної переробки природного газу. XII Міжнародна науково-технічна конференція "Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів". – Кременчук. – 2013. – С. 23-24. 2. Гуревич Д.Ф., Заринский О.Н., Косых С.И. Трубопроводная арматура с автоматическим управлением. Л.: "Машиностроение", Ленингр. отд-ние, 1982. – 320 с. 3. Кулінченко Г.В., Леонтьєв П.В., Ляпощенко О.О. Ідентифікація моделі процесу низькотемпературної сепарації природного газу // "Комп'ютерно інтегровані технології: освіта, наука, виробництво". Луцьк. – 2014. – Випуск 14. – С. 143-154. 4. Зайцев Л.Л. Регулирование режимов работы магистральных нефтепроводов // М.: "Недра", 1982. – 240 с. 5. Лурье З.Я., Братута Э.Г., Федоренко И.М. Синтез мехатронного гидроагрегата, подверженного переменной нагрузке // Восточно-европейский журнал передовых технологий. Прикладная механика. – 2010. – № 1/6 (43). – С.23-26. 6. Баумта Т.М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика. – М.: Машиностроение, 1972. – 320 с. 7. Тараненко Б.Ф. Автоматическое управление газопромысловыми объектами // Недра. – 1976. – 217 с. 8. Герман-Галкин. С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. СПб.: КОРОНА-Бек. – 2008. – 368 с.

Bibliografy (transliterated): 1. Kulinchenko G.V., Leont'ev P.V. "Zavdannja optimal'nogo keruvannja ustanovkoju kompleksnoї pererobki prirodnogo gazu". XII Mizhnarodna naukovotekhnichna konferentsiya "Fizychni protsesy ta polya tekhnichnykh i biolohichnykh ob'ektiv". Kremenchug. 2013. 23-24. Print. 2. Gurevich D.F., Zarinskij O.N., Kosyh S.I. *Truboprovodnaja armatura s avtomaticheskim upravleniem*. Leningrad.: Mashinostroenie. 1982. Print. 3. Kulinchenko H.V., Leont'yev P.V., Lyaposhchenko O.O. "Identyfikatsiya modeli protsesu nyz'kotemperaturnoyi separatsiyi pryrodnoho hazu". *Komp'yuterno intehrovani tekhnolohiyi: osvita, nauka, vyrobnytstvo*. Vol. 14. Lutsk. 2014. 143-154. Print. 4. Zajcev L.L. *Regulirovanie rezhimov raboty magistral'nyh nefteprovodov*. Moscow: Nedra. 1982. Print. 5. Lu'e Z.Ja., Bratuta Je.G., Fedorenko I.M. "Sintez mehatronnogo gidroagregata, podverzhennogo peremennoj nagruzke". *Vostochno-evropejskij zhurnalпередовых технологий. Прикладная механика*. 1/6 (43) (2010). 23-26. Print. 6. Bashta T.M. *Gidropryvod i gidropnevmoavtomatika*. – Moscow: Mashinostroenie. 1972. Print. 7. Taranenko B.F. *Avtomaticheskoe upravlenie gazopromyslovymi ob'ektami*. Moscow: Nedra. 1976. Print. 8. German-Galkin. S.G. *Matlab & Simulink. Proektirovanie mehatronnyh sistem na PK*. St. Petersburg: KORONA-Vek. 2008. Print.

Поступила (received) 09.10.2014



Кулінченко Георгій Васильєвич, доцент, кандидат технічних наук. Захистив диплом радіоінженера по спеціальності "Радіоелектронні пристрої" в 1972 г., дисертацію кандидата технічних наук в Харківському авіаційному інституті по спеціальності "Теорія, системи і пристрої передачі інформації по каналах зв'язу" в 1988 г. Доцент кафедри комп'ютерних наук факультета Електроніки і інформаційних технологій Сумського державного університету. Научні інтереси пов'язані з мікропроцесорними системами управління різними технологічними процесами, їх моделюванням, а також автоматизацією експериментальних досліджень. Автор багатьох наукових статей.



Леонтьєв Петр Владимирович, аспірант кафедри комп'ютерних наук факультета Електроніки і інформаційних технологій Сумського державного університету. Захистив диплом магістра по спеціальності "Комп'ютеризовані системи управління і автоматика" в 2013 г. Научні інтереси пов'язані з системами управління різними технологічними процесами, їх моделюванням.

Л.А. ЩЕБЕНЮК, канд. техн. наук., проф., НТУ "ХПІ";
Т.Ю. АНТОНЕЦЬ, аспірант, ЗАТ "Завод Південкабель", Харків

ДО ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРИ В ВИСОКОВОЛЬТНИХ СИЛОВИХ КАБЕЛЯХ ІЗ ПЛАСТМАСОВОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ

Робота спрямована на створення методу розрахунку допустимого струму кабелів високої напруги з вулканізованою поліетиленою ізоляцією. Запропоновано і експериментально перевірено модель, що враховує наявність елементів конструкції кабелю з різним питомим тепловим опором, у тому числі за наявності водоблокуючих стрічок. Виконано аналіз розподілу температури в ізоляції і захисних покриттях високовольтних силових кабелів із зшитого поліетиленою ізоляцією на номінальну напругу 64/110 кВ. Розглянутий метод може бути застосованим тільки для одиночного ізольованого кабелю чи лінії.

Ключові слова: високовольтний силовий кабель, зшита поліетиленова ізоляція, температура ізоляції, водоблокуючі стрічки.

Вступ. Важливою споживчою властивістю силових кабелів, що визначає їх ліквідність, є їх навантажувальна спроможність. Високовольтні кабелі з пластмасовою ізоляцією, порівняно із традиційними маслом наповненими, мають ряд особливостей: підвищена гранично допустима температура ізоляції, більші, ніж у традиційних, площі перерізу жил і товщини ізоляції, суттєва залежність теплопровідності і теплоємності ізоляції від температури. Тому стандартні методи визначення пропускної спроможності в режимах реальної експлуатації вимагають, щонайменше, перевірки і розрахунком, і експериментально впливу розподілу температури в ізоляції і захисних покриттях на їх пропускну спроможність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В [1] нами показано, що доцільно, при визначенні навантажувальної спроможності цих кабелів, порівнювати рішення, одержані за допомогою різних розрахункових моделей процесів тепло і масообміну. Зокрема зазначено, що для визначення динаміки їх нагрівання необхідне застосування методу зосереджених теплоємностей, але модель для застосування цього методу для високовольтних кабелів з пластмасовою ізоляцією в нормативній документації відсутня [2]. Додаткові питання виникають щодо відповідних кабелів з оболонкою з полівінілхлоридного пластику (ПВХ), призначених для застосування в пожежебезпечних умовах. Оскільки питомий тепловий опір ПВХ суттєво більший, ніж у поліетилену, захисний покрив з ПВХ суттєво збільшує тепловий опір кабелю. Якщо такий кабель призначений

для прокладання в ґрунті, то до теплового опору оболонки додається тепловий опір ґрунту навколо кабелю, тепловий опір якого може бути суттєво більшим, ніж у ґрунту, віддаленого від кабелю [2]. Тому для врахування температури елементів конструкції кабелю на їх теплофізичні характеристики необхідне визначення розподілу температури в кабелі за номінального режиму роботи.

Ціль і задачі дослідження. Запропонувати розрахункову модель для визначення розподілу температури в ізоляції та захисних покриттях кабелю з пластмасовою ізоляцією АПвЕВнгд $1 \times 500 - 110$ в номінальному режимі. Спів ставити результати розрахунку з відповідними результатами вимірювання температури ізоляції і захисних покриттів.

Основний матеріал дослідження. Основою визначення навантажувальної спроможності кабелю є розрахунок номінального струму за аналогією процесів тепломасообміну, зокрема процесів переносу зарядів і процесу переносу тепла. Відповідні моделі, однакові за своєю структурою і включають як базові, різницю потенціалів (електричних чи теплових), потік, опір, провідність. Відповідно, всі інші елементи моделей, що описують той чи інший процес, є похідними від цих величин і математичний опис того чи іншого процесу в системах диференціальних рівнянь є досить універсальним і уніфікованим [2, 3].

В циліндричних координатах (r, θ, z) , найбільш прийнятних для опису процесів тепломасообміну в кабелях, для потенціалу φ застосовують рівняння Пуассона:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0, \quad (1)$$

в якому, якщо потенціал залежить тільки від радіусу (радіальне поле), другий і третій доданки в лівій частині дорівнюють нулю, то:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) = 0, \quad (2)$$

$$\int \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) = 0, \quad (3)$$

$$r \frac{\partial \varphi}{\partial r} + A = 0, \quad (4)$$

де постійна інтегрування A , яка за умови, що при $r = r_1$ $\varphi = \varphi_0$ і при $r = r_2$ $\varphi = 0$ ($r_1 < r_2$), дорівнює: $A = \varphi_0 / \ln(r_2 / r_1)$ і відповідно градієнт потенціалу обернено пропорційний до радіусу:

$$-\frac{\partial \varphi}{\partial r} = \varphi_0 / r \ln \frac{r_2}{r_1}. \quad (5)$$

Ця модель є основною розрахунковою моделлю, що використовується в кабельній техніці для опису процесів переносу через однорідну речовину в радіальному полі за стаціонарного режиму навантаження:

зарядів через ізоляцію, для якого різниця потенціалів U в В, електричний струм $I_{\text{із}}$ в Кл/с, опір ізоляції на одиницю довжини кабелю:

$$R_{\text{із}} = \rho \ln(r_2/r_1)/2\pi, \text{ де } \rho \text{ в Ом} \cdot \text{м}; \quad (6)$$

тепла через ізоляцію, для якого різниця температур τ , К; тепловий потік P , Дж/с; тепловий опір ізоляції на одиницю довжини кабелю:

$$S_{\text{із}} = \sigma_{\text{із}} \ln(r_2/r_1)/2\pi, \text{ де } \sigma_{\text{із}} \text{ в К} \cdot \text{м} / \text{Вт}. \quad (7)$$

Оскільки потенціал залежить тільки від радіуса лише за умови необмежено довгого кабелю, а речовина, в якій відбувається процес переносу в тій чи іншій мірі є неоднорідною, модель (5) зумовлює похибку тим меншу, чим вищезазначені умови ближчі до реальності. На використанні цієї моделі базуються всі нормативні документи щодо визначення пропускної спроможності силових кабелів [2]. Відповідно розподіл температур в кабелі визначають через дискретний набір значень різниці температур τ на елементах конструкції, до яких можна застосувати зазначені умови. При цьому розподілом температур в межах окремого елемента нехтують. Результати відповідних розрахунків для кабелю АПвЕВнгд 1× 500 – 110 наведено на рис.1.

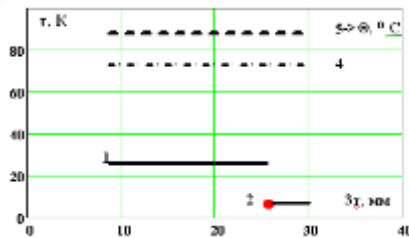


Рис. 1 – Різниця температур (перегрів τ) на елементах конструкції кабелю АПвЕВнгд 1× 500 – 110 та температура жили Θ в $^{\circ}\text{C}$ (5) в стаціонарному режимі за тепловиділення в жилі 42 Вт/м: 1 – ізоляція; 2 – водоблокуючий шар (товщина 0,5 мм); 3 – оболонка з ПВХ-пластикату; 4 – сумарний перегрів відносно температури оточуючого середовища 15 $^{\circ}\text{C}$

Результати розрахунків за нормативними документами [2] дозволяють визначити максимальну температуру ізоляції кабелю (5), а відтак визначення пропускну спроможність кабелю у вигляді номінального струму. При цьому неможливо оцінити, в якій саме області ізоляції температура є максимальною, що є важливим для вирішення, щонайменше двох задач, а саме:

1) визначення похибки розрахункового значення номінального струму, спричиненої суттєвою залежністю теплопровідності ізоляції від температури;

2) визначення переважувальної спроможності таких кабелів методом зосереджених теплоємностей, оскільки динаміка нагрівання впродовж перших кількох годин перевантаження суттєво залежить від теплоємності поліетиленової ізоляції, для якої характерна значна залежність від температури (наприклад, питома теплоємність поліетилену за температури 20 °С становить 2300 Дж/кг·°С, а за 80 °С становить 3750 Дж/кг·°С).

Для визначення розподілу температури в ізоляції та захисних покриттях кабелю використано аналогію процесів тепломасообміну, зокрема процесів переносу зарядів і процесу переносу тепла. Відома модель, що описує розподіл електричного поля в так званій градієнтованій ізоляції [3] застосована для розрахунку градієнту перегріву в елементах конструкції, що мають різну теплопровідність:

$$-\frac{d\tau(i)}{dr(i)} = \frac{\tau\sigma(i)}{x(i)\sum_{i=1}^n \sigma(i)\ln\left(\frac{r(i)}{r(i-1)}\right)}, \quad (8)$$

де i – номер елементу конструкції кабелю, в межах якого питомий тепловий опір $\sigma(i)$ є незмінним; $r(i-1)$, $r(i)$ – найменший і найбільший радіуси відповідних радіальних елементів; $r(i)$ – поточний радіус, що належить діапазону $[r(i-1), r(i)]$.

Температура елементів кабелю визначена відповідно як:

$$\Theta(i) = 90 - \int_{r0}^{r(i)} \frac{d\tau(i)}{dr(i)} dr, \quad (9)$$

де 90 – максимально допустима тривала температура ізоляції, за якою визначено номінальний струм.

Результати розрахунку за (8) і (9) для АПвЭВнгд 1× 500 – 110, $i = 3$ (ізоляція із зшитого поліетилену, водоблокуюча стрічка, оболонка з ПВХ-пластикату, температура поверхні 40 ± 2 °С) наведено на рис. 2. Експериментально визначену (за додаткового захисного покриття із значним тепловим опором) температуру електропровідного екрану нанесено у вигляді точки на рис. 2. Значення дорівнює 71 °С, що є підтвердженням визначеного розрахунком факту наявності в кабелі теплового бар'єру у вигляді водоблокуючого шару товщиною 0,5 мм. Цей елемент конструкції кабелю зумовлює досить високу температуру всієї ізоляції. На ділянці напівпровідного екрану по ізоляції температура становить (67 ± 2) °С в номінальному режимі і без додаткового захисного покриття.

Експериментальна перевірка розподілу температури в кабелі дозволила, по-перше, прийняти в розрахунках питомий тепловий опір ізоляції $\sigma(1) = 3,6 \text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{м/Вт}$, характерний для температур $(67 \pm 2) \text{ }^{\circ}\text{C}$. По-друге, засвідчила роль теплового бар'єру у вигляді водоблокуючої стрічки в конструкції кабелю АПвЭВнгд $1 \times 500 - 110$.

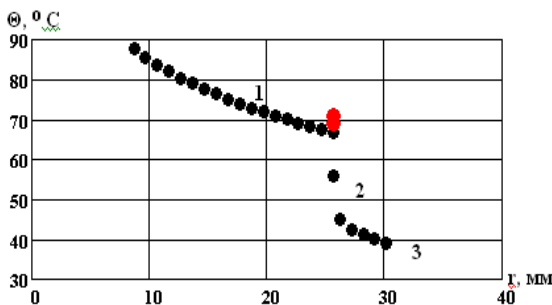


Рис. 2 – Температура елементів кабелю АПвЭВнгд $1 \times 500 - 110$ в стаціонарному режимі за тепловиділення жили 42 Вт/м : 1 – ізоляція; 2 – водоблокуючий шар; 3 – оболонка з ПВХ-пластикату; температура оточуючого середовища $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$; точка $\Theta = (70 \pm 1) \text{ }^{\circ}\text{C}$ – експериментально визначена температура електропровідного екрану по ізоляції в умовах додаткового захисного покриття

Одержані результати свідчать про цілий ряд особливостей відведення тепла в оточуюче середовище у високовольтних кабелях з пластмасовою ізоляцією, які прямо впливають на їх пропускну і відповідно перевантажувальну спроможність.

Більша, порівняно із традиційними конструкціями, товщина ізоляції, більші значення площі перерізу струмопровідних жил, мідний електропровідний екран, поверх якого накладений тонкий шар водоблокуючої стрічки з дуже високим питомим тепловим опором ($\sigma(2) = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{м/Вт}$) зумовлюють те, що для цих кабелів характерним є досить висока температура всієї ізоляції (напівпровідний екран – зшита поліетиленова ізоляція – напівпровідний екран). Водоблокуюча стрічка в конструкції кабелю АПвЭВнгд $1 \times 500 - 110$ у нормальному режимі роботи виконує роль теплового бар'єру. Це підтверджує виміряне експериментально значення температури електропровідного екрану по ізоляції (див. рис. 2).

Висновки. 1) Для високовольтних кабелів з пластмасовою ізоляцією діючі нормативні документи щодо **визначення тривало допустимого струму** є застосовними. Однак відповідні розрахункові

моделі не дозволяють визначити розподіл температури в елементах конструкції цих кабелів, зокрема в їх ізоляції. 2) Для визначення навантажувальної спроможності таких кабелів необхідне застосування методу зосереджених теплоємностей, оскільки динаміка нагрівання впродовж перших кількох годин навантаження суттєво залежить від теплоємності жили і прилеглої до неї ізоляції. При застосуванні цих методів необхідно визначення розподілу температури в ізоляції, товщина якої є більшою, ніж у традиційних маслом наповнених кабелів, і має місце суттєва залежність теплопровідності і теплоємності ізоляції від температури. 3) Для визначення розподілу температури в ізоляції та захисних покриттях кабелю використано аналогію процесів переносу зарядів і процесу переносу тепла. Відома модель, що описує розподіл електричного поля в так званій градієнтованій ізоляції [3] застосована для розрахунку градієнту перегріву в елементах конструкції, що мають різну теплопровідність. 4) Запропоновано і експериментально перевірено модель, що враховує наявність елементів конструкції кабелю з різним питомим тепловим опором. 5) Показано, що для кабелю АПвЭВнгд $1 \times 500 - 110$ водоблокуюча стрічка в конструкції у нормальному режимі роботи виконує роль теплового бар'єру і зумовлює те, що для цих кабелів характерним є досить висока температура всієї ізоляції (напівпровідний екран – зшита поліетиленова ізоляція – напівпровідний екран).

Список літератури: 1. *Щебенюк Л.А.* До визначення пропускної спроможності високовольтних силових кабелів з пластмасовою ізоляцією / *Л.А. Щебенюк, Т.Ю. Антонеч* // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2011. – Вип. 42.– С. 43-46. 2. ДСТУ ІЕС60287-1-1:2012. Кабелі електричні. Обчислення номінальної сили струму. Частина 1 – 1. Співвідношення для обчислення номінальної сили струму (коефіцієнт навантаження 100 %) і обчислення втрат. Загальні положення. 3. *Золотарев В.М.* Конструкции и электрическое поле кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена / *В.М. Золотарев, В.П. Карпушенко, А.Г. Гурин, Ю.А. Антонеч, В.В. Золотарев, А.А. Науменко.* – Х.: Майдан, 2014. – 188 с. 4. Основы кабельной техники: [учебник для студ. высш. учеб. заведений] / *В.М. Леонов, И.Б. Пешков, И.Б. Рязанов, С.Д. Холодный*; под ред. И.Б. Пешкова. – М.: Издательский центр "Академия", 2006. – 432 с. 5. *Карпушенко В.П.* Системний підхід до випуску конкурентноспроможної продукції / *В.П. Карпушенко* // Силові кабелі низької та середньої напруги. Конструювання, технологія, якість: [підруч. для студ. вузів] / *В.П. Карпушенко, Л.А. Щебенюк, Ю.О. Антонеч, О.А. Науменко* – Х.: Регіон-інформ, 2000. – С. 202-210.

Bibliografy (transliterated): 1. Shchebenyuk L.A. Do vyznachennnya propusknoyi spromozhnosti vysokovolt'nykh sylovykh kabeliv z plastmasovoyu izolyatsiyeyu. *Visnyk NTU "HPI"*. Kharkiv: NTU "HPI", 2011. No. 42. 43-46. Print. 2. ДСТУ ІЕС60287-1-1:2012. Кабелі електричні. Обчислення номінальної сили струму. Частина 1 – 1. Співвідношення для обчислення номінальної сили струму (коефіцієнт навантаження 100 %) і обчислення

втрат. Загальні положення. 2012. Print. **3**. Zolotarev V.M., Karpushenko V.P., Gurin A.G., Antonec Ju.A., Zolotarev V.V., Naumenko A.A.. *Konstrukcii i jelektricheskoe pole kabelej s izoljaciej iz sshitogo polijetilena*. Kharkiv: Maydan, 2014. Print. **4**. V.M. Leonov, I.B. Peshkov, I.B. Rjazanov, S.D. Holodnyj. *Osnovy kabel'noj tehniki*. Moscow: Izdatel'skij centr "Akademija", 2006. Print. **5**. Karpushenko V.P., Shchebenyuk L.A., Antonets' Yu.O., Naumenko O.A. *Systemnyy pidkhid do vypusku konkurentnospromozhnoyi produktsiyi. Sylovi kabeli nyz'koyi ta seredn'oyi napruhy. Konstruyuvannya, tekhnolohiya, yakist'*. Kharkiv: Rehion-inform, 2000. 202-210. Print.

Надійшла (received) 10.10.2014



Щебенюк Леся Артемівна, кандидат технічних наук, професор кафедри "Електроізоляційна і кабельна техніка". У 1966 р. закінчила Харківський політехнічний інститут зі спеціальності "Електроізоляційна і кабельна техніка". У 1979 р. у Ленінградському політехнічному університеті захистила кандидатську дисертацію по темі: "Дослідження електричного старіння бумажно-епоксидної ізоляції" зі спеціальності "Електроізоляційна і кабельна техніка". Наукові інтереси пов'язані з удосконаленням способів контролю характеристик електроізоляційних матеріалів і конструкцій; удосконалення способів і зниження дисперсії параметрів електроізоляційних матеріалів.



Антонець Тарас Юрійович, аспірант кафедри "Електроізоляційна і кабельна техніка". У 2008 р. закінчив НТУ "ХПІ" зі спеціальності "Електроізоляційна і кабельна техніка". Висунуто на здобуття премії Президента України для молодих вчених. Наукові інтереси пов'язані з методами визначення переважувальної здатності кабелів з полімерною ізоляцією, розробкою конструкцій, технологій та випробуванням силових кабелів з вулканізованою поліетіленовою ізоляцією на напругу до 330 кВ.

О.Г. ГРИБ, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПИ";
Н.С. БЕЛОВ, соискатель НТУ "ХПИ";
Д.А. ГАПОН, к-т техн. наук, доц., НТУ "ХПИ";
Т.С. ИЕРУСАЛИМОВА, ассистент, НТУ "ХПИ";
А.В. ЛЕЛЕКА, ведущий инженер ДП НЭК "Укрэнерго"

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГООБЪЕКТАМИ ПРИ НИЗКОМ КАЧЕСТВЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В развитии науки и техники, создании новейших технологий, повышению энергетической безопасности Украины, и повышению точности передачи параметров электрической энергии (ЭЭ) основную роль играет обеспечение телемеханизации энергетических объектов (ЭО). Энергетическая безопасность Украины – это один из важных вопросов независимости государства. Одной из существенных составляющих этой проблемы является полная телемеханизация ЭО Украины. Благодаря каналам связи и протоколам телемеханики обеспечивается автоматическая передача параметров ЭЭ телеизмерений (ТИ), состояния положения коммутирующего оборудования (ТС) в пределах внутренних энергетических систем, объединенной энергетической системе (ОЭС) Украины, а также на границе балансовой принадлежности с государствами, с которыми Украина имеет общие электрические сети: (Российская Федерация, республика Беларусь, Республика Молдова, Венгрия, Польша, Румыния, Словакия) – важнейший фактор ее независимости [1, 2].

Ключевые слова: телемеханика, электроэнергия, энергообъект, подстанция, измерения, качество.

Вступление. Технической основой обеспечения телемеханизации ЭО является совокупность соединенных использованием аппаратно-программных комплексов в магистральных и межгосударственных сетях. Такая система, (см. рис. 1), позволяет проводить баланс электрической энергии в ОЭС, осуществлять интеграцию Украины с Европейским Союзом, улучшить энергоэффективность, улучшить показатели энергосбережения в энергосистемах Украины.

Анализ последних исследований и литературы. За более чем столетнее развитие телемеханики учеными, проектировщиками, специалистами по вычислительной технике и эксплуатации был сделан существенный прорыв в решении указанной проблемы. Были разработаны различные каналы связи, интерфейсы и протоколы передачи данных параметров ЭЭ. Объектами внедрения телемеханики выступили, в первую очередь, отдельные электростанции, распределительные и магистральные сети, небольшие, средние и мощные потребители ЭЭ.

Постепенное накопление на указанных объектах локальных систем телемеханики (ЛСТ) привело к созданию единой системы телемеханики.

Цель статьи. Исследование работы автоматизированной системы телеуправления энергообъектами при низком качестве электроэнергии.

Постановка проблемы. Проблема возникает в том, что при низком качестве электрической энергии происходит сбой в работе каналов связи, релейной защиты и автоматики, а также выход из класса точности систем учета электроэнергии.

Материалы исследований. Существующие директивные и инструктивные материалы дали существенный толчок для начала внедрения телемеханики. Решение проблем построения интегрированных систем телемеханики требует применения новых подходов и современных архитектурных решений, как путем совершенствования и дальнейшего развития имеющихся документов, так и путем разработки новейших принципиальных и перспективных методологий.

Результаты исследований. Рассмотрена двухуровневая система телемеханики передачи данных.



Рис. 1 – Структурная схема передачи данных телемеханики

Прежде всего, определим области применения каналов передачи данных в электроэнергетике и задачи, которые решаются с их

помощью. В настоящее время к основным областям применения систем передачи данных можно отнести системы релейной защиты и автоматики (РЗА), диспетчерского и автоматизированного технологического управления электроэнергетическими объектами (АСТУ), а также системы автоматизированного учета энергоресурсов. В рамках этих систем решаются следующие задачи:

Системы АСТУ

1. Передача данных между локальными устройствами телемеханики (ТМ), устройствами РЗА и центральной приемопередающей станцией (ЦППС).

2. Передача данных между объектом и диспетчерским центром.

3. Передача данных между диспетчерскими центрами.

Системы учета

1. Передача данных от приборов учета в устройства сбора и передачи данных (УСПД).

2. Передача данных от УСПД на сервер.

В части систем РЗА можно отметить следующее: несмотря на то, что сбор данных с устройств РЗА в АСТУ в цифровом формате стал внедряться с момента появления цифровых устройств РЗА, связи между устройствами по-прежнему организуются аналоговыми цепями.

В РЗА системы передачи информации могут выполнять следующие функции:

1. Передача дискретных сигналов.

2. Передача данных между устройствами РЗА и ЦППС.

Другим важным каналом передачи, общим как для систем РЗА, так и для систем АСТУ и учета, является канал, по которому осуществляется передача измерений от измерительных трансформаторов тока и напряжения. До последнего времени о внедрении цифровых протоколов связи на данном уровне речь не шла, однако, имея в виду появление протокола для передачи мгновенных значений тока и напряжения МЭК 61850-9-2, на проблемах этого информационного канала также стоит остановиться.

Наиболее узким местом, на которое влияет качество электрической энергии в этой системе, являются измерительные приборы телемеханики. На класс точности измерительных приборов влияет низкое качество электрической энергии. Качество электрической энергии на энергообъекте должно соответствовать требованиям ГОСТ 13109-97 [3]. Были проведены исследования показателей качества электрической энергии на энергообъекте (см. рис. 2, 3, 4)

Исследование качества электроэнергии выполнялись на присоединениях 6 кВ ПС 110/6 кВ.

Показатели КЭ в сети (установившееся отклонение напряжения прямой последовательности основной частоты, установившееся отклонение напряжения, коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения) за 24 ч не соответствует нормам по ГОСТ 13109-97, о чем свидетельствуют значения ПКЭ, (см. рис. 2, 3).

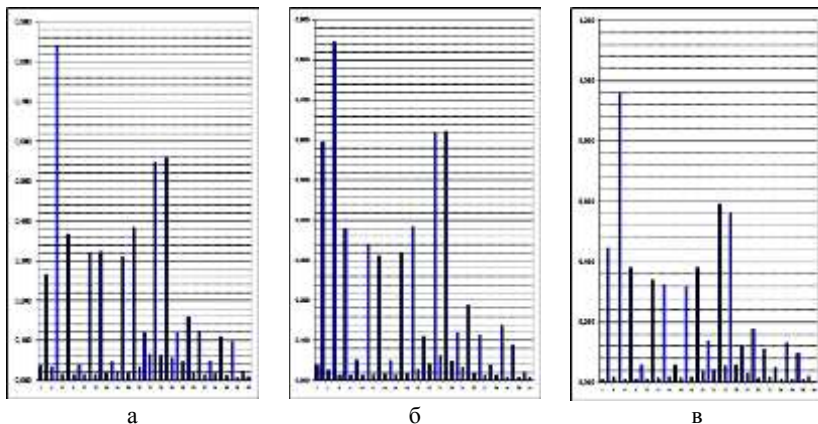


Рис. 2 – Коэффициент n -й гармонической составляющей напряжения:
 a – для фазы А; $б$ – для фазы В; $в$ – для фазы С

Значения же таких ПКЭ как отклонение частоты, коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения (см. рис. 4), коэффициент несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности, длительность провала напряжения находятся в допустимых пределах.

С учетом полученных значений ПКЭ в данной точке сети соответствие КЭ нормам составляет меньше 0,95, а для отдельных временных интервалов его значение равно нулю.

Измерения КЭ на ПС 110/6кВ выполнялись в течение суток.

Потребителем электрической энергии является машиностроительный завод.

КЭ в сети (установившееся отклонение напряжения прямой последовательности основной частоты, установившееся отклонение фазного напряжения, коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения) за 24 ч не соответствует нормам по ГОСТ 13109-97.

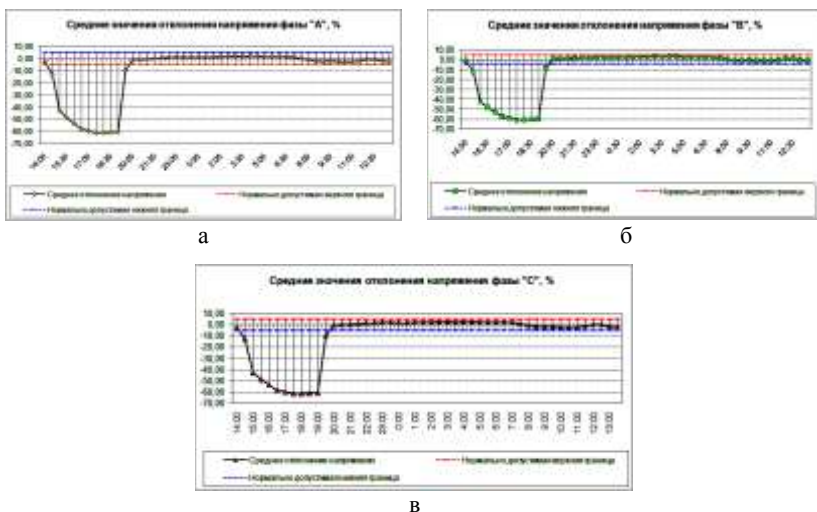


Рис. 3 – Среднее значение отклонения напряжения:
а – для фазы А; б – для фазы В; в – для фазы С

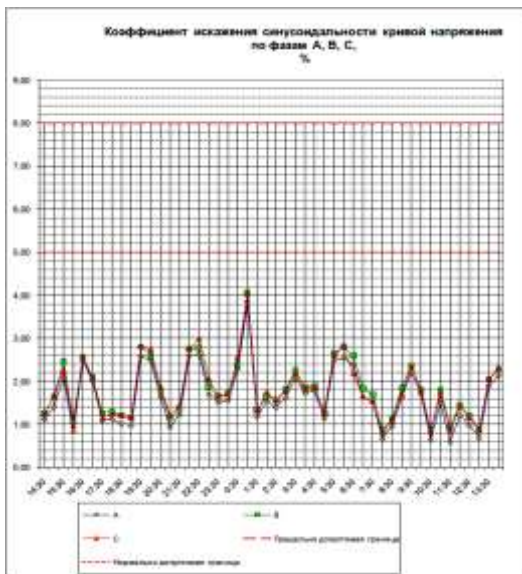


Рис. 4 – Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения
по фазам А, В, С, %

В частности, значения отклонения частоты, коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения (рис. 4), коэффициента несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности, длительности провала напряжения находятся в допустимых пределах.

С учетом полученных значений ПКЭ в данной точке сети соответствие КЭ нормам составляет меньше 0,95, а для отдельных временных интервалов его значение равно нулю [4, 5].

Выводы. Результаты экспериментальных исследований качества электрической энергии на ПС 110/6 кВ показали, что коэффициент n -й гармонической составляющей напряжения по фазам А, В и С превышает нормально и предельно допустимые значения ГОСТа 13109-97, что может привести к сбоям в работе в релейной защите и автоматике, а также выходом из класса точности измерительных приборов. Это приводит к искажению передаваемой информации.

Список литературы: 1. Сокол Е.И., Гриб О.Г., Гапон Д.А. и др. Автоматизированные системы контроля и учета электрической энергии. – Харьков ТОВ "Тім Пабліш Груп" 2014 г. – 488 с. 2. Тесик Ю.Ф., Калинин В.П., Васильченко В.И. Автоматизация учета электрической энергии и контроля показателей ее качества на Украине. – Международный Электротехнический Журнал – Электрик № 10. – 2013. – С. 30-31. 3. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Минск: ИПК Изд-во стандартов. – 1998. – 30 с. 4. Баталов А.Г., Гриб О.Г., Сендерович Г.А. и др. Качество электрической энергии в системах электроснабжения – Харьков: ХНАГХ, 2006. – 272 с. 5. О.Г. Гриб, О.Н. Довгалоук, Д.Н. Калюжный, Г.А. Сендерович Оценка качества ЭЭ в электрических сетях Харьковского региона // Збірник праць V міжнародної науково-технічної конференції "Ефективність та якість електропостачання промислових підприємств". – Маріуполь: ПДТУ. – 2005. – С. 124-126.

Bibliography(translation): 1. Socol E., Gryb O., Gapon D. et all. *Avtomatizirovnyye control and accounting of electricity*. Kharkiv: TOV "Tim Publish Group", 2014. Print. 2 Tesik Y., Kalinchik V., Vasilchenko V. "Automation electric energy accounting and monitoring of quality indicators in Ukraine". *International Electrotechnical Journal – Electricians*. No. 10. 2013. 30-31. Print. 3. *GOST 13109-97. Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Norms of quality of electric energy in power supply systems for General use*. Minsk.: IPC Publishing standards. 1998. Print. 4. Batalov A., Gryb O., Senderovich G., and other. *Quality of electrical energy in power supply systems*. Kharkov: Kname, 2006. Print. 5. O. Gryb, O. Dovgalyuk, D. Kalyuzhny, G. Senderovich. "Quality Assessment of EE in electrical networks Kharkiv region". *The Collection of proceedings of the V international scientific-techno conference "Effektivnosti the quality of electropotence Promyslova enterprises"*. Mariupol: PDU. 2005. 124-126. Print.

Поступила (received) 10.10.2014



Гриб Олег Герасимович, 1947 г.р., Украина, закончил Украинский заочный политехнический институт, д.т.н., профессор, зав. кафедрой автоматизации энергосистем Национального технического университета "Харьковский политехнический институт" (ул. Фрунзе 21, г. Харьков, 61002, Украина). Основное направление научной деятельности – контроль и регулирование качества электрической энергии и электропотребления.



Белов Николай Сергеевич, 1980 г.р., Украина, закончил Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "Харьковский авиационный институт", технический директор ООО "Хартэп" (ул. Энергетическая 11, г. Харьков, 61036, Украина). Основное направление научной деятельности – развитие АССТИ и АСДУ в энергетических предприятиях Украины.



Гапон Дмитрий Анатольевич, 1978 г.р., Украина, закончил Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", доцент кафедры автоматизации энергосистем Национального технического университета "Харьковский политехнический институт" (ул. Фрунзе 21, г. Харьков, 61002, Украина). Основное направление научной деятельности – методы контроля качества электрической энергии и электропотребления.



Иерусалимова Татьяна Сергеевна, 1990 г.р., Украина, закончила Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", ассистент кафедры автоматизация энергосистем Национального технического университета "Харьковский политехнический институт" (ул. Фрунзе 21, г. Харьков, 61002, Украина). Основное направление научной деятельности – развитие методов анализа электропотребления с учетом качества электрической энергии.



Лелека Алексей Викторович, 1984 г.р., Украина, закончил Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт" (пр-т Победы 37, г. Киев, 03056, Украина), ведущий инженер НЭК "Укрэнерго". Основное направление научной деятельности – развитие автоматизированных систем управления "SMART GRID".

О.Г. ГРИБ, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПИ";
С.Ю. ШЕВЧЕНКО, к-т техн. наук, доц., НТУ "ХПИ";
Д.А. ГАПОН, к-т техн. наук, доц., НТУ "ХПИ";
Т.С. ИЕРУСАЛИМОВА, ассистент, НТУ "ХПИ";
Р.В. ЖДАНОВ, начальник РЭС АК "Харьковоблэнерго"

РАБОТА СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ ПРИ НАЛИЧИИ ВЫСШИХ ГАРМОНИК

Ограничители перенапряжений ОПН являются средствами защиты и используются на высоковольтных подстанциях. Эти аппараты являются основной защитой оборудования подстанции от перенапряжений. Выход из строя ОПН приводит к тяжелым авариям с потерей питания на подстанциях. Одним из основных показателей ОПН является его пропускная способность. Нормальная работа ограничителей перенапряжения определяется его способностью поглощать тепловую энергию в определенных диапазонах. Пропускную способность ограничителей перенапряжения определяют по их возможности выдерживать влияние импульсов тока без потерь рабочих качеств.

Ключевые слова: ограничитель, перенапряжение, качество, электроэнергия, напряжение, гармоники, пропускная способность.

Вступление. Основным показателем ОПН является пропускная способность. Пропускную способность ограничителей перенапряжения определяют по их возможности выдерживать влияние импульсов тока без потерь рабочих качеств.

Анализ последних исследований и литературы. Последние исследования пропускной способности ОПН показали, что для их проверки оптимально влияние 20 импульсов нормированных значений тока. Пропускная способность, нормируется по максимальным значениям прямоугольных импульсов тока с условной длительностью максимального значения $T_{2000} = 2000$ мкс. Время T_{2000} определяют как время, в течение которого мгновенное значение импульса составляет более 90% его максимального значения (см. рис. 1). Такой прямоугольный импульс называется также импульсом тока большой длительности, а силу тока обозначают как I_{2000} [1, 4, 5].

По пропускной способности ОПН подразделяются на пять классов. Для каждого класса нормировано номинальный разрядный ток $I_{\text{н}}$, А, и удельную энергоемкость $W_{\text{пит.опн}}$, кДж/кВ [2, 4, 5].

Цель статьи. Исследование работы средств защиты от перенапряжений в энергосистемах при наличии в них высших гармоник.

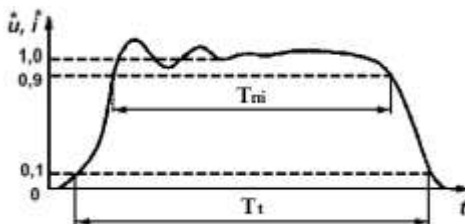


Рис. 1 – Прямоугольный импульс тока через ОПН:

T_m – условная продолжительность амплитуды прямоугольного импульса;

T_t – полная условная продолжительность прямоугольного импульса.

Постановка проблемы. Проблема возникает в том, что при наличии в сети высших гармоник снижается срок службы ограничителя перенапряжения.

Материалы исследований. Вид и значение напряжения на выводах варистора определяют характер тока, протекающего через него. Эквивалентная электрическая схема замещения, отображающий этот характер (см. рис. 2), в случае рассмотрения работы нелинейного варистора ОПН может быть представленной в виде схемы, включающей индуктивный, емкостной и активный сопротивления (как линейные, так и нелинейные). На схемах замещения (см. рис. 2, б-в) индуктивность L определяет индуктивность всего контура между выводами варистора (или ОПН в целом).

Три параллельные ветки (см. рис. 2, б) соответствуют параллельному соединению трех элементов: емкости C образца варистора; активного сопротивления R_z , обусловленного неизменной во всей зоне влияющих напряжений проводимостью, которую определяют по температуре образца; нелинейного сопротивления R_N , который определяет вольт-амперная характеристика варистора в зоне рабочего напряжения и перенапряжений с небольшими значениями кратности перенапряжений, наиболее характерных для условий эксплуатации. Электрическое сопротивление наружной покрышки ОПН включен параллельно к сопротивлениям (см. рис. 2) [3, 4, 5].

Сопротивление R_B (см. рис. 2, в) определяют объемное сопротивление гранул оксида цинка и проводимость нелинейного резистора при больших значениях тока, соответствующих предельным токовым нагрузкам.

Емкостное сопротивление определяет работу варистора при меняющихся напряжениях, не превышающих номинальных значений. Значение емкостных токов не превышают, как правило, нескольких

миллиампер. Однако при наличии гармонических составляющих этот ток довольно быстро растет и может приводить к нарушению теплового баланса ОПН.

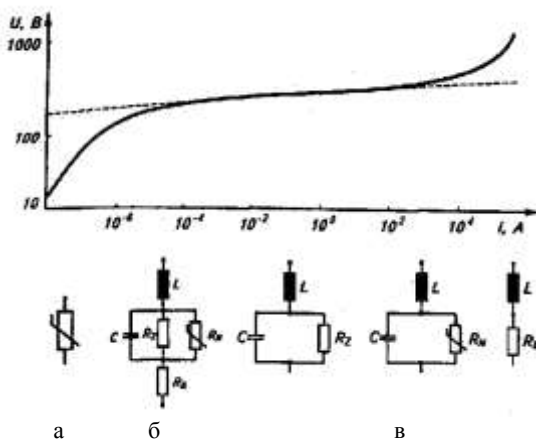


Рис. 2 – Вольт-амперная характеристика варистора и ее эквивалентные схемы замещения: *а* – обозначение ОПН на схемах, *б* – эквивалентная электрическая схема замещения нелинейного резистора, *в* – упрощенные схемы замещения, соответствующими трем различным характерным зонам этой характеристики

Индуктивное сопротивление варистора следует учитывать в режимах быстронарастающих больших импульсных токов, которые соответствуют импульсам напряжения в результате ударов молнии в объекты, защищаемые ОПН. Индуктивность варистора приводит к запаздыванию срабатывания ОПН в условиях быстронарастающих импульсов напряжения.

В зависимости от вида и амплитуды воздействующего напряжения электрическая схема ОПН может быть представленной соответствующими схемами замещения (см. рис. 2, *в*). Как правило, используют схему замещения с активными элементами, позволяющая оценивать активную энергию, которая выделяется в нелинейном резисторе, и условия нагрева. Но в определенных режимах следует учитывать другие свойства варисторов (например, емкостной характер тока в случае оценивания распределения напряжения промышленной частоты по элементам последовательно соединенных варисторов).

При переменном напряжении промышленной частоты в длительном режиме работы, ток через ОПН носит емкостной характер (амплитуда емкостной составляющей превышает амплитуду активной

составляющей, см. рис. 3), поэтому распределение напряжений по нелинейным элементам ОПН определяют по емкостным параметрам варисторов (значение емкости варистора лежит в пределах сотен пФ). Неравномерность распределения напряжения по элементам ОПН при различных значениях емкости последовательно соединенных варисторов (или отдельных блоков ОПН) может вызвать перекрытия наиболее нагруженного элемента с последующим отказом всего ОПН. Итак, при комплектации ОПН на напряжение 110 кВ и выше необходимо выполнять подбор варисторов с одинаковыми значениями емкости или использовать шунтирующие (выравнивающие) конденсаторы, которые включают параллельно варистором для выравнивания напряжений на элементах ОПН [3, 4, 5].

В случае протекания большого импульсного тока его активная составляющая значительно превышает емкостную составляющую. Резкий рост активной составляющей тока характеризуется запаздыванием начала его нарастания и пиком остающегося напряжений $U_{\text{ЗЛП}}$, что соответствует началу резкого роста тока (см. рис. 3, б). Остающееся напряжение достигает своего максимума $U_{\text{ЗЛП, MAX}}$ раньше максимума импульсного тока, до момента достижения максимума импульсного тока остающееся напряжение несколько уменьшается – максимум тока во времени запаздывает по отношению к максимуму напряжения [4, 5].

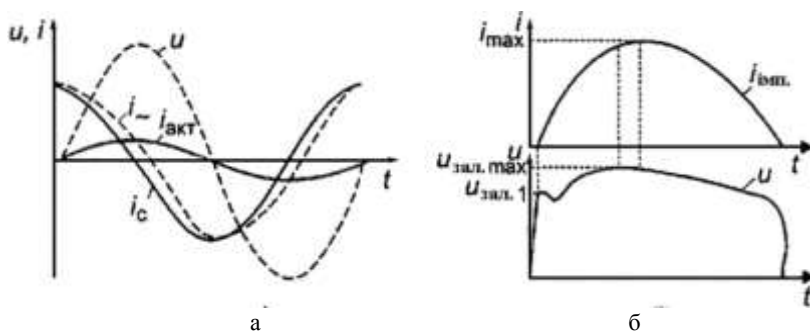


Рис. 3 – Ток в варисторе: а – при переменном напряжении промышленной частоты; б – при импульсном напряжении с большим импульсным током $i_{\text{имп}}$, $u(t) = u_{\text{ЗЛП}}(t)$

Анализ нелинейных искажений на подстанции 330кВ.

Данные исследований по качеству электрической энергии приведены ниже, по ГОСТу 13109-97 [6]. Исследования проводились в

энергетической компании, которая передаёт ЭЭ с шин 110 кВ ПС магистральных сетей в сети бытовых, промышленных и других потребителей. Среди этих потребителей много предприятий, имеющих мощную резкопеременную и нелинейную нагрузку, которая оказывает сильное негативное влияние на качество электрической энергии.

Результаты исследований. Ниже приведены результаты исследования качества электрической энергии в энергосистеме. На ПС 330 кВ присутствует средства защиты от перенапряжения (ОПН). Следует отметить, что ограничители перенапряжений весьма критичны к качеству электрической энергии и, особенно к высшим гармоникам напряжения [7].

В табл. приведен итоговый протокол проведенных измерений для ПС 330 кВ, анализ позволяет сделать вывод о том, что на данной подстанции качество электрической энергии в целом не соответствует требованиям ГОСТ 13109-97. Высшие гармоники характеризуются двумя коэффициентами:

- коэффициентом n -ой гармонической составляющей;
- коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения.

Коэффициент n -ой гармонической составляющей выходит за границы нормально и предельно допустимых значений, что отрицательно сказывается на работе ОПН [7, 8].

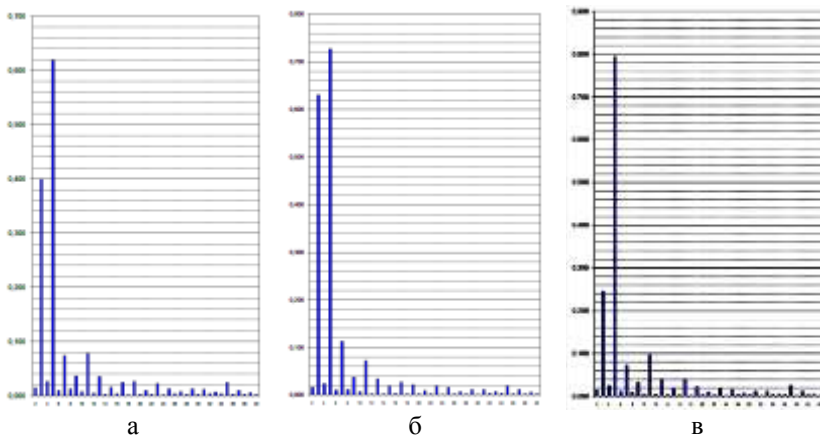


Рис. 4 – Коэффициент n -й гармонической составляющей напряжения:
 a – для фазы А; $б$ – для фазы В; $в$ – для фазы С

**Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения
по фазам А, В, С,
%**

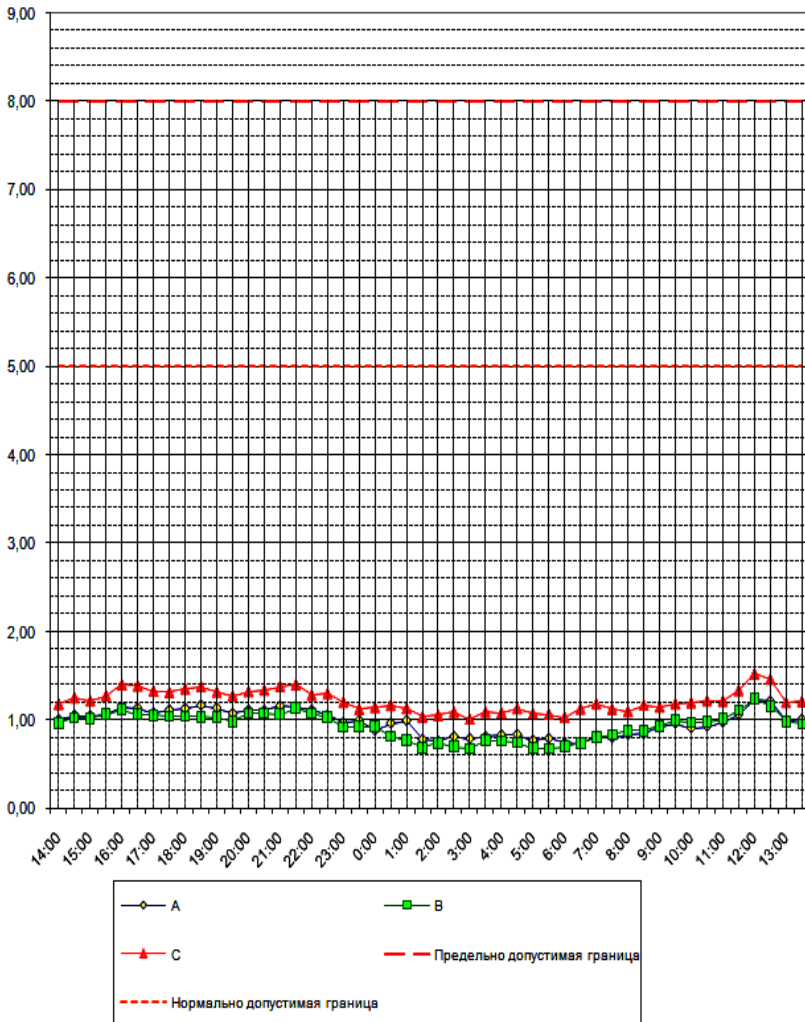


Рис. 5 – Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения по фазам А, В, С, %

Таблица – Итоговый протокол измерений: ПС 110 кВ №1 показатели качества электрической энергии

№ п/п	Интервал времени измерения		Отклонения частоты, годность	Уст.откл. напр. прямой посл-сти, годность	Козф-т несимм. напр. по обратной посл-сти, годность	Козф-т несимм. напр. по нулевой посл-сти, годность	Нарушение допустимых значений, фаза			Наличие провалов напряжения, фаза	Нарушение установок ПКСЭ
	Начало	Конец					Уст.отклон. напр.	Козф. иск син. крив. напр.	Козф. п-й гарм. сост. напр.		
1	13:00	13:30	1,00	1,00	1,00	1,00					-
2	13:30	14:00	1,00	1,00	1,00	1,00					-
3	14:00	14:30	1,00	1,00	1,00	1,00					-
4	14:30	15:00	1,00	1,00	1,00	1,00					-
5	15:00	15:30	1,00	1,00	1,00	1,00	B				НДЗ
6	15:30	16:00	1,00	1,00	1,00	1,00	B				НДЗ
7	16:00	16:30	1,00	1,00	1,00	1,00	B				НДЗ>5%
8	16:30	17:00	1,00	1,00	1,00	1,00					-
9	17:00	17:30	1,00	1,00	1,00	1,00					-
10	17:30	18:00	1,00	1,00	1,00	1,00			A B C		ПДЗ
11	18:00	18:30	1,00	1,00	1,00	1,00	B		A B C		НДЗ>5%
12	18:30	19:00	1,00	1,00	1,00	1,00	B				НДЗ>5%
13	19:00	19:30	1,00	1,00	1,00	1,00	B				НДЗ>5%
14	19:30	20:00	1,00	1,00	1,00	1,00	B				НДЗ>5%
15	20:00	20:30	1,00	1,00	1,00	1,00	B				НДЗ>5%
16	20:30	21:00	1,00	1,00	1,00	1,00	B				НДЗ>5%
17	21:00	21:30	1,00	1,00	1,00	1,00					-
18	21:30	22:00	1,00	1,00	1,00	1,00	B		A C		ПДЗ
19	22:00	22:30	1,00	1,00	1,00	1,00	B		C		НДЗ>5%
20	22:30	23:00	1,00	0,97	1,00	1,00	B		A C		ПДЗ
21	23:00	23:30	1,00	0,33	1,00	1,00	A B		A C		НДЗ>5%
22	23:30	0:00	1,00	0,40	1,00	1,00	A B				НДЗ>5%
23	0:00	0:30	1,00	0,23	1,00	1,00	A B				НДЗ>5%
24	0:30	1:00	1,00	0,07	1,00	1,00	A B		B C		НДЗ>5%
25	1:00	1:30	1,00	0,00	1,00	1,00	A B		A C		ПДЗ
26	1:30	2:00	1,00	0,03	1,00	1,00	A B				НДЗ>5%
27	2:00	2:30	1,00	0,00	1,00	1,00	A B		A C		ПДЗ
28	2:30	3:00	1,00	0,00	1,00	1,00	A B				НДЗ>5%
29	3:00	3:30	1,00	0,03	1,00	1,00	A B C				НДЗ>5%
30	3:30	4:00	1,00	0,00	1,00	1,00	A B C				НДЗ>5%
31	4:00	4:30	1,00	0,00	1,00	1,00	A B C				НДЗ>5%
32	4:30	5:00	1,00	0,00	1,00	1,00	A B		A		НДЗ>5%
33	5:00	5:30	1,00	0,07	1,00	1,00	A B C		A C		НДЗ>5%
34	5:30	6:00	1,00	0,00	1,00	1,00	A B				НДЗ>5%
35	6:00	6:30	1,00	0,00	1,00	1,00	A B				НДЗ>5%
36	6:30	7:00	1,00	0,00	1,00	1,00	A B C		B		НДЗ>5%
37	7:00	7:30	1,00	0,23	1,00	1,00	A B				НДЗ>5%
38	7:30	8:00	1,00	1,00	1,00	1,00	B				НДЗ>5%
39	8:00	8:30	1,00	1,00	1,00	1,00	B				НДЗ>5%
40	8:30	9:00	1,00	1,00	1,00	1,00					-
41	9:00	9:30	1,00	1,00	1,00	1,00					-
42	9:30	10:00	1,00	1,00	1,00	1,00					-
43	10:00	10:30	1,00	1,00	1,00	1,00					-
44	10:30	11:00	1,00	1,00	1,00	1,00					-
45	11:00	11:30	1,00	1,00	1,00	1,00	B				НДЗ
46	11:30	12:00	1,00	1,00	1,00	1,00	B				НДЗ>5%
47	12:00	12:30	1,00	1,00	1,00	1,00	B				НДЗ>5%
48	12:30	13:00	1,00	1,00	1,00	1,00	B		A		НДЗ>5%

Выводы. Нормальная работа ОПН определяется его способностью поглощать тепловую энергию в определенных его удельной энергий диапазонах. Работоспособность ОПН при воздействии на него напряжения с низким качеством, может быть нарушена за счет не способности ОПН поглотить выделяемую в этом случае тепловую энергию. Результаты экспериментальных исследований качества электрической энергии на ПС 330 показали, что коэффициент n -й гармонической составляющей напряжения по фазам А, В и С на ПС 330 кВ превышает нормально и предельно допустимые значения ГОСТа 13109-97, что может привести к выходу из строя ОПН.

Список литературы: 1. IEC 60099-4:2009 Surge arresters – Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a. c. systems (Обмежувачі перенапруг. Частина 4. Оксидно-металічні обмежувачі перенапруг без іскрових проміжків для систем змінного струму). 2. Аронов М.А., Аношин О.А., Кондратов О.И., Лопухова Т.В. Ограничители перенапряжений в электроустановках 6-750 кВ. Методическое и справочное пособие. Под ред. М.А. Аронова. – М.: "Знак", 2001. – 240 с. 3. Васюра Ю.Ф., Вильнер А.В., Вычегжанин А.В. Оценка величины энергии, рассеиваемой на варисторах ОПН, установленных в сетях собственных нужд электростанций, при замыканиях на землю. Перенапряжения и надежность эксплуатации электрооборудования. Выпуск 1: Материалы международной научно-технической конференции, 2001 г. – С-Пб: изд-во ТЭИПК, 2001. – 156 с. 4. Выбор, испытание и применение металлоокисных ограничителей перенапряжений в сетях среднего напряжения. Правила выбора. ABB HighVoltageTechnologiesLtd. – Швейцария, Веттинген, май, 1994. 5. Металлоокисные ограничители перенапряжений. Выбор ограничителей перенапряжений и их применение в распределительных сетях среднего напряжения: Информация ТайкоЭлектрониксРайхемГмбх. – Киев, 2011. – 18 с. 6. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Минск.: ИПК Изд-во стандартов. – 1998. – 30 с. 7. Баталов А.Г., Гриб О.Г., Сендерович Г.А., и др. Качество электрической энергии в системах электроснабжения – Харьков: ХНАГХ, 2006. – 272 с. 8. О.Г. Гриб, О.Н. Довгалоук, Д.Н. Калюжный, Г.А. Сендерович. Оценка качества ЭЭ в электрических сетях Харьковского региона // Збірник праць V міжнародної науково-технічної конференції "Ефективність та якість електропостачання промислових підприємств". – Маріуполь: ПДТУ – 2005. – С. 124-126.

Bibliography(translation): 1. IEC 60099-4:2009 Surge arresters – Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a. c. systems (Suppressors. Part 4. Metal-oxide surge arresters without spark gaps for AC systems). 2009. Print. 2. Aronov M., Anoshin O., Kondratov O., Lopyhova T. The surge in the electrical 6-750 kV. Methodical and reference manual. Moscow: Sign, 2001. Print. 3. Vasura Y., Wilner, A., Vuchegganin A. The estimation of the energy dissipated in the varistor surge arresters installed in the networks own needs of power plants in the ground. Overvoltage and reliable operation of electrical equipment. Issue 1. Materials of international scientific-technical conference. Saint-Petersburg: Izd-vo SKILLS. 2001. Print. 4. Selection, testing and application of metal oxide surge arresters in medium voltage networks. Selection rules. ABB HighVoltageTechnologiesLtd. Switzerland: Wettingen, may, 1994. Print. 5. Metal oxide surge arresters. Selection of surge arresters and their application in the distribution networks of medium voltage: Info Tycoelectronics.com. Kyiv. 2011. Print. 6. GOST 13109-97. Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Norms of quality of electrical energy in power supply systems for General use. Minsk: IPC Publishing standards. 1998. Print. 7. Batalov A., Gryb O., Senderovich G., and other. Quality of electrical energy in power supply systems. Kharkov: Kname, 2006. Print. 8. O. Gryb, O. Dovgalyuk, D. Kalyuzhny, G. Senderovich "Quality Assessment of EE in electrical networks Kharkiv region".

Поступила (received) 10.10.2014



Гриб Олег Герасимович, 1947 г.р., Украина, закончил Украинский заочный политехнический институт, д.т.н., профессор, зав. кафедрой автоматизации энергосистем Национального технического университета "Харьковский политехнический институт" (ул. Фрунзе 21, г. Харьков, 61002, Украина). Основное направление научной деятельности – контроль и регулирование качества электрической энергии и электропотребления.



Шевченко Сергей Юрьевич, 1961 г.р., Украина, закончил Харьковский политехнический институт, профессор кафедры "Передача электрической энергии" Национального технического университета "Харьковский политехнический институт" (ул. Фрунзе 21, г. Харьков, 61002, Украина). Основное направление научной деятельности - перенапряжения на оборудовании электрических сетей.



Гапов Дмитрий Анатольевич, 1978 г.р., Украина, закончил Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", доцент кафедры автоматизации энергосистем Национального технического университета "Харьковский политехнический институт" (ул. Фрунзе 21, г. Харьков, 61002, Украина). Основное направление научной деятельности – методы контроля качества электрической энергии и электропотребления.



Иерусалимова Татьяна Сергеевна, 1990 г.р., Украина, закончила Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", ассистент кафедры автоматизация энергосистем Национального технического университета "Харьковский политехнический институт" (ул. Фрунзе 21, г. Харьков, 61002, Украина). Основное направление научной деятельности – развитие методов анализа электропотребления с учетом качества электрической энергии.



Жданов Роман Викторович, 1982 г.р., Украина, закончил Харьковскую национальную академию городского хозяйства, начальник Красноградского РЭС АК "Харьковоблэнерго" (ул. Полтавская 71, г. Красноград, Харьковская область, 63304, Украина). Основное направление научной деятельности – контроль показателей качества энергии в электрических сетях.

И.А. КОСТЮКОВ, аспирант, НТУ "ХПИ"

**АНАЛИЗ СПЕКТРОВ НАПРЯЖЕНИЯ НА
ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ОБМОТКЕ ТРАНСФОРМАТОРНОГО
ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

Проведен спектральный анализ сигналов измерительной обмотки трансформаторного электромагнитного преобразователя при наличии паразитных помех в схеме измерения. Выделены основные компоненты паразитных шумов, оказывающие влияние на точность измерения полезного сигнала. К таким компонентам здесь относится фликкер-компонента, белый шум, а также паразитная наводка. Результаты работы позволяют повысить точность измерений сигналов электромагнитными, в том числе вихретоковыми преобразователями.

Ключевые слова: преобразование Фурье, трансформаторный электромагнитный преобразователь, шум, частота Найквиста.

Введение. На данный момент электромагнитные преобразователи находят широкое применение, как в дефектоскопии, так и при определении электрофизических характеристик магнитных и немагнитных материалов различной геометрической формы. Широко применяются электромагнитные преобразователи как с продольным [1, 2, 3, 6, 7], так и с поперечным зондирующим магнитным полем [4, 5]. При применении трансформаторных вихретоковых преобразователей полезную информацию об электрофизических свойствах получают путем измерения напряжения на измерительной обмотке, как абсолютного значения напряжения, так и разности напряжений (в зависимости от схемы включения трансформаторного преобразователя). Поэтому большое значение имеет анализ факторов, которые могут определять некоторую погрешность измерения сигналов. Анализ факторов, влияющих на возможные погрешности измерений, особенно целесообразно проводить для случая относительно малых величин полезного сигнала (например, дифференциальная схема трансформаторного преобразователя). Кроме того, намагничивание продольным полем не прямолинейных, а спиральных образцов приводит к существенному уменьшению величины сигнала, фиксируемого с измерительной обмотки.

Анализ спектров сигнала измерительной обмотки. С целью анализа паразитных шумов в схеме измерения был зафиксирован ряд осциллограмм сигнала измерительной обмотки. Частота тока намагничивающей обмотки 120 Гц. Величина намагничивающего тока составляла 100 мА. Количество витков намагничивающей и

измерительной обмоток составляло $W = 580$. Измерения проводились в режиме холостого хода (без наличия образца). Типичный сигнал измерительной обмотки представлен на рис. 1

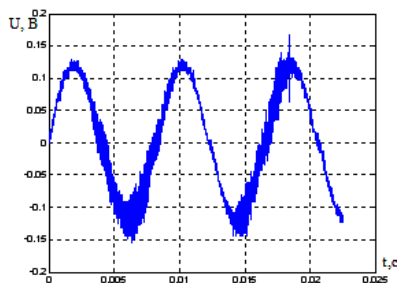


Рис. 1 – Сигнал измерительной обмотки трансформаторного вихревого преобразователя при наличии помех в схеме измерения

Шаг дискретизации по времени составлял $4 \cdot 10^{-6}$ с. На рис. 2 в двойном логарифмическом масштабе приведен спектр измеренного сигнала, полученный посредством применения MATLAB.

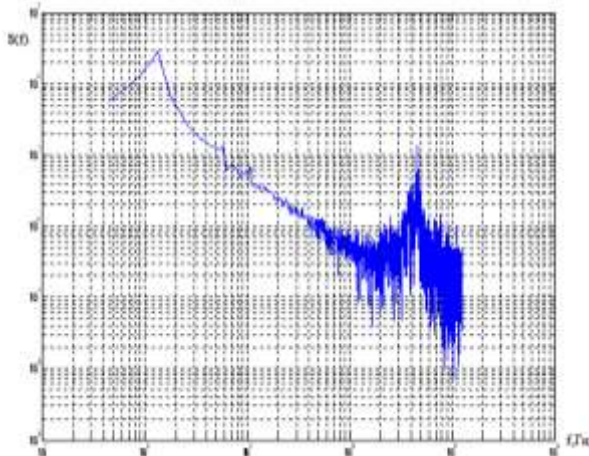


Рис. 2 – Спектр сигнала измерительной обмотки

Из анализа амплитудного спектра сигнала, приведенного на рис. 2, видно наличие в сигнале фликкер-компоненты шума, белого шума, а также наличие ярко выраженного максимума в высокочастотной части спектра, связанного с наличием, видимо, паразитной электромагнитной наводки в диапазоне частот, примерно, от 30 кГц до 60 кГц.

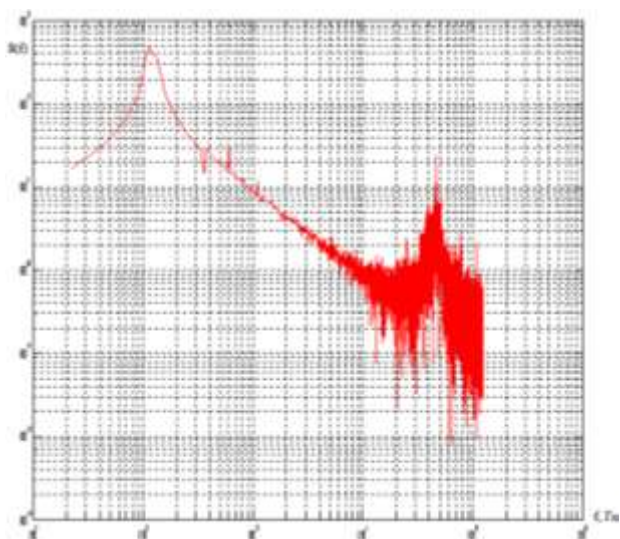


Рис. 3 – Спектр сигнала измерительной обмотки в двойном логарифмическом масштабе

На рис. 4 приведен амплитудный спектр в полулогарифмическом масштабе.

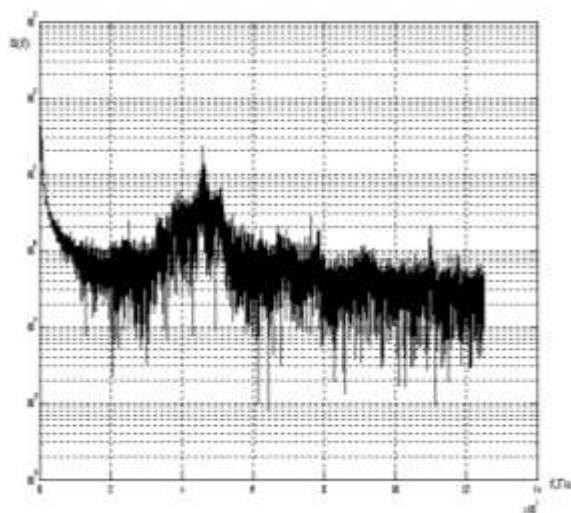


Рис. 4 – Спектр сигнала измерительной обмотки в полулогарифмическом масштабе

Шаг дискретизации, как и в предыдущем случае, составлял $4 \cdot 10^{-6}$ с. Но в данном случае несколько более выражена фликкер-компонента шума. При этом следует отметить, что частотный диапазон фликкер-компоненты шума приближается к частоте основного гармонического колебания, что может создавать дополнительные сложности при фильтрации сигналов.

График симметричный относительно частоты Найквиста, которая находится из выражения:

$$\omega_N = \frac{\pi}{\Delta t}, \quad (1)$$

где Δt – шаг выборки. При указанном выше шаге дискретизации частота Найквиста составляет $1,25 \cdot 10^5$ Гц, это – максимальное значение в массиве частот на рис. 2-4. С учетом симметричности графиков относительно частоты Найквиста, на рис. 2-4 приведена только половина спектра, имеющая самостоятельное значение и которая предоставляет исчерпывающую информацию.

Выводы. Выделены основные компоненты шума, влияющие на точность измерения сигнала измерительной обмотки трансформаторного вихретокового преобразователя. К основным компонентам шума, в данном случае, относится фликкер-компонента, компонента, обусловленная наличием белого шума, а также компонента, обусловленная наличием паразитной наводки. Наличие фликкер-компоненты шума наиболее наглядно видно при представлении спектра в двойном логарифмическом масштабе. Наличие белого шума наиболее наглядно видно при представлении спектра в полулогарифмическом масштабе. Такой анализ, в частности, целесообразно проводить при применении дифференциальной схемы трансформаторных вихретоковых преобразователей, когда полезный сигнал представляет собой разность электродвижущих сил, индуцируемых во встречно включенных измерительных обмотках.

Список литературы: 1. Герасимов В.Г. Неразрушающий контроль качества изделий электромагнитными методами В.Г. Герасимов, Ю.А. Останин, А.Д. Покровский М.: Энергия 1978 216 с. 2. Бондаренко В.Е. Бесконтактный вихретоковый преобразователь для контроля диаметра и удельного электрического сопротивления немагнитных цилиндрических изделий в полях различной ориентации электротехника и электромеханика 2003 №2 с. 5-10. 3. Егоров А.В. Измерительно-вычислительный комплекс для определения удельной электропроводности и магнитной проницаемости методом вихревых токов А.В. Егоров, В.В. Поляков, С.В. Иваков Ползуновский вестник №2 2010 с. 129-132. 4. Горкунов Б.М. Определение допустимой напряженности возбуждающего магнитного поля вихретокового преобразователя с поперечным полем / Б.М. Горкунов, А.А. Авраменко, С.Г. Львов, И.Б. Горкунова // Вісник НТУ "ХПІ". – 2012.

– № 61 (967). – С. 57-64. 5. Горкунов Б.М. Картина распределения магнитного поля внутри цилиндрического изделия находящегося в поперечном электромагнитном поле / Б.М. Горкунов, А.А. Авраменко, С.Г. Львов, И.Б. Горкунова // Вестник НТУ "ХПИ". – 2012. – № 57. – С. 87-92. 6. Себко В.П. Расчет параметрического и трансформаторного электромагнитных преобразователей / В.П. Себко, Н.Н. Юданова, Ноздрачева Е.Л. Жаркова О.С. – Харьков.: НТУ "ХПИ" 2004. – 72 с. 7. Себко В.П. Бесконтактный вихревой контроль диаметра и удельного электрического сопротивления проводов линий электропередачи / В.П. Себко, В.Е. Бондаренко // Техническая электродинамика – 2002. – № 1. – С. 69-72.

Bibliography (transliterated): 1. Gerasimov V.G., Ostanin Ju.A., Pokrovskij A.D. *Nerazrushajushhij kontrol' kachestva izdelij jelektr magnitnymi metodami*, Moscow: Jenergija Publ., 1978, 216 p. Print. 2. Bondarenko V.E. Beskontaktnyj vihretokovyy preobrazovatel' dlja kontrolja diametra i udel'nogo jelektricheskogo soprotivlenija nemagnitnyh cilindricheskikh izdelij v poljah razlichnoj orientacii. *Elektrotehnika i elektromehanika*. 2003, No. 2, 5-10. Print. 3. Egorov A.V., Poljakov, V.V., Ivakov S.V. Izmeritel'no-vychislitel'nyj kompleks dlja opredelenija udel'noj jelektrпроводности i magnitnoj pronicaemosti metodom vihrevykh tokov. *Polzunovskij vestnik*, 2010. No. 2, 129-132. Print. 4. Gorkunov B.M., Avramenko A.A., L'vov S.G., Gorkunova I.B. Opredelenie dopustimyj naprjazhennosti vzbuzhdajushhego magnitnogo polja vihretokovogo preobrazovatelja s poperechnym polem. *Visnik NTU "HPI"*, 2012. No. 61. 57-64. Print. 5. Gorkunov B.M. Avramenko A.A. L'vov S.G. Gorkunova I.B. Kartina raspredelenija magnitnogo polja vnutri cilindricheskogo izdelija nahodjashhegosja v poperechnom jelektr magnitnom pole. *Visnik NTU "HPI"*. 2012. No. 57. 87-92. Print. 6. Sebko V.P., Judanova, N.N., Nozdracheva E.L., Zharkova O.S. Raschet parametricheskogo i transformatornogo jelektr magnitnykh preobrazovatelej. Har'kov: NTU "HPI" Publ., 2004. 72. Print. 7. Sebko V.P., Bondarenko V.E. Beskontaktnyj vihretokovyy kontrol' diametra i udel'nogo jelektricheskogo soprotivlenija provodov linij jelektrопередачи. *Tehnicheskaja jelektrodinamika*, 2002. No. 1. 69-72. Print.

Поступила (received) 13.05.2014



Костюков Иван Александрович, аспирант кафедры "Электроизоляционной и кабельной техники" НТУ "ХПИ". Выпускник Национального технического университета "Харьковский политехнический институт" по специальности "Электроизоляционная и кабельная техника" (2011 г.). Научные интересы связаны с исследованиями электродинамических процессов в силовых кабельных линиях; методами математического моделирования электромагнитных полей.

Б.В. КЛИМЕНКО, д-р. техн. наук, проф., НТУ "ХПІ"

СТАНДАРТИ ДСТУ ІЕС: ХАТА БЕЗ ФУНДАМЕНТА ...

Проведено порівняння організаційних та методологічних підходів до створення стандартів Міжнародної електротехнічної комісії (ІЕС) та національних стандартів ДСТУ ІЕС. Запропоновано розпочати системну роботу з перекладу Міжнародного електротехнічного словника (ІЕВ) під егідою Технічного комітету ТК19 «Науково-технічна термінологія» замість запозиченої хибної, на погляд автора, практики видання перекладів стандартів ІЕС у вигляді стандартів ДСТУ ІЕС, а застосовувати їх в оригіналі, як це прийнято у країнах східної Європи.

Ключові слова: стандарти, ІЕС, Міжнародний електротехнічний словник, ІЕВ, ДСТУ ІЕС.

*А ну-ка проверь... Ларичева Маня...
Она же Анна Федоренко... Она же Элла Кацнельбоген...
Она же Людмила Огуренкова... Она же ... Она же
Изоolda Меньшова... Она же Валентина Панеят.*

Место встречи изменить нельзя – Викицитатник

Вступ. Міжнародний електротехнічний словник – понятійне підґрунтя сучасної електротехніки

Працюючи в технічному університеті, де 45 років викладаю дисципліну «Електричні апарати», я намагаюся застосовувати у відповідній дисципліні загальноновизнані терміни та визначення понять. До 1990-х років викладачі та студенти користувалися підручниками, виданими, переважно, у Москві й затвердженими у Міністерстві вищої освіти СРСР, зрозуміло що – російською мовою. Зараз ситуація докорінно змінилася – обов’язкових до застосування підручників вже нема, навіть скасована процедура грифування підручників та посібників, яка існувала до цього року. Отже з’явилася певна академічна свобода, але перед тими, хто отримує свободу, завжди постає питання – як діяти далі? У нашому випадку – яку понятійну основу застосовувати при викладанні. Свої думки та аргументи з цього приводу я й хочу запропонувати читачеві. Як фахівець з електричних апаратів, буду торкатися, переважно, термінологічних проблем саме цієї галузі, але ці проблеми, здається, є притаманними й суміжним галузям.

Характерною особливістю навчальної дисципліни «Електричні апарати» є надзвичайно широка номенклатура пристроїв, що відносяться до цієї галузі електротехніки, й величезна кількість

понять, визначень, характеристик. Відтак питання термінології, як у цій галузі, так і взагалі в електротехніці мають надзвичайно важливе, фундаментальне значення.

Застосування чіткої та загальноновизнаної термінології – це запорука запобігання багатьох помилок у фаховій діяльності, тому прищеплення поваги до термінології, на погляд автора, є однією з наважливіших складових вищої освіти, а з урахуванням обрання європейського вектору розвитку нашої держави, термінологія, що застосовується при викладанні, повинна бути визнаною на міжнародному рівні. Видається, що перехід на міжнародну термінологію буде дуже складним та тривалим, адже за десятиліття існування за «залізною завісою» ми дуже віддалилися від іншого світу, у розумінні й тлумаченні багатьох фундаментальних понять, у тому числі і в сфері термінології.

Так склалося, що з легкої руки видатного електротехніка П.М. Яблочкова ще у XIX столітті, а потім в СРСР, а потім на теренах всього пострадянського простору під електричними апаратами розуміють різноманітні пристрої або апарати для комутації, керування та захисту, причому – переважно електромеханічні, тобто такі, що мають контактні комутаційні елементи. Ті ж, хто користується міжнародною термінологією, знають, що за межами пострадянського простору термін «електричний апарат» («electrical apparatus») має набагато ширше тлумачення – до цього поняття відносять будь-який пристрій (або комплект пристроїв), що має відношення до електрики та може бути застосований як незалежний об'єкт (unit) для виконання певних функцій. Відтак, застосовуючи термін «електричний апарат» у нашому розумінні, необхідно додавати контекстне уточнення – *комутаційний апарат, апарат керування* тощо.

Час плине, динамічно змінюється ринок, на якому з'являються нові апарати, а деякі зникають. Відповідно змінюється контент дисципліни «Електричні апарати», змінюється її термінологічне наповнення. Наприклад, внаслідок успіхів електроніки апарати з напівпровідниковими комутаційними елементами потіснили або повністю витіснили електромеханічні апарати з деяких сегментів ринку. Ще 30 – 40 років тому майже усі телефонні станції були електромеханічними, побудованими на базі електромагнітних реле. Відповідно, потреба у таких апаратах була величезною. Зараз швидкими темпами відбувається заміна електромеханічних телефонних станцій на цифрові з мікропроцесорним керуванням. Відтак потреба в електромеханічних реле зменшилася на декілька порядків, а виробництво таких апаратів, як крокові шукачі взагалі було припинено. Така сама доля спіткала й деякі електромеханічні апарати керування,

зокрема пускові реостати та регулятори збудження для електричних машин постійного струму, інтерес споживачів до яких також стійко знижується. У той же час, при керуванні двигунами змінного струму за відсутності вимог щодо регулювання швидкості (це стосується у першу чергу найбільш поширених асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором) позиції електромеханічних апаратів лишаються непохитними.

Електромеханічні апарати майже повністю витіснені напівпровідниковою та мікропроцесорною технікою з такої сфери як автоматичне керування. Але у такій дуже важливій галузі як енергетика, позиції електромеханічних комутаційних апаратів, внаслідок їх деяких унікальних властивостей (функція роз'єднання¹, незначні втрати енергії в контактних комутаційних елементах²), не похитнулися й навіть укріпилися і не існує скільки-небудь обґрунтованих прогнозів зменшення зацікавленості споживачів у цих апаратах в енергетичній сфері. Не спостерігається також тенденцій до зниження темпів зростання ринку електромеханічних апаратів кіл керування, деякі властивості яких (гальванічне розділення електричних кіл – galvanic separation³, гарантована операція розмикання – positive opening operation⁴) не дозволяють аналогічним за призначенням пристроям з напівпровідниковими комутаційними елементами конкурувати з електромеханічними апаратами відповідного призначення.

Однією з тенденцій останніх років є збільшення зацікавленості споживачів у так званих гібридних комутаційних апаратах і системах. Зокрема, зараз широко застосовуються напівпровідникові переворювачі частоти для регулювання швидкості та плавного пуску асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором, але й у таких системах електромеханічні апарати посідають чільне місце (рис. 1), забезпечуючи функцію роз'єднання та зменшуючи втрати енергії у таких системах у сталеному режимі.

¹ Роз'єднання (isolation, isolating function) – це від'єднання обладнання від джерела живлення з міркувань безпеки, що дає можливість безпечного проведення робіт на обладнанні у такому стані.

² Падіння напруги на напівпровідниковому комутаційному елементі становить приблизно 1,5 В, а на контактному – не більше 50 мВ, відтак втрати енергії у перетворювачі без шунтування контактором при струмі 200 А становитимуть 900 Вт (у трьох фазах), а з шунтуванням – менше 30 Вт.

³ Гальванічне розділення – це запобігання виникненню електричної провідності між двома електричними колами, призначеними для передачі енергії та/або сигналів.

⁴ Гарантована або жорстка чи примусова операція розмикання – це операція розмикання яка, у відповідності до визначених вимог, гарантує, що усі головні контакти будуть у розімкненому стані, коли актуатор апарата знаходиться у положенні, яке відповідає розімкненому положенню апарата.

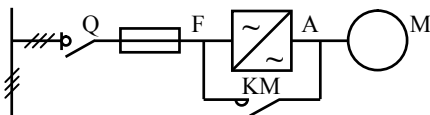


Рис. 1 – Електромеханічні апарати в системі плавного пуску та регулювання частоти обертання асинхронного двигуна М: А – напівпровідниковий перетворювач частоти, Q – вимикач-роз'єднувач (забезпечує функцію роз'єднання), F – запобіжник, КМ – контактор (вмикається в усталеному режимі й забезпечує зменшення втрат енергії в усталеному режимі)

Взаємопорозуміння фахівців неможливо без зафіксованого у певному документі однозначного, прийнятого консенсусом тлумачення понять, що відносяться до електротехніки. Тому, вже через чотири роки після заснування, Міжнародна електротехнічна комісія (International Electrotechnical Commission – IEC) у 1910 році створила спеціальний Комітет (зараз це Технічний комітет TC 1 – Terminology) для складання міжнародного переліку термінів та їх визначень. Виявилося, що це неймовірно складна й копітка робота, тому перше видання Міжнародного електротехнічного словника (International Electrotechnical Vocabulary – IEV) з'явилося лише у 1938 році. У другому виданні IEV, опублікованому в 1957 році, терміни та їх визначення наводилися французькою та англійською мовами (так само, як і в першому виданні), а ще на шести мовах: німецькій, іспанській, італійській, голландській, польській (!) та шведській – тільки терміни без визначень. Технічний комітет TC-1 доручив національним комітетам ряду країн (у тому числі СРСР, який вступив до IEC ще в 1922 році) підготувати та опублікувати словник з тлумаченнями термінів на титульних мовах відповідних країн. У 1963 році Міжнародний електротехнічний словник був опублікований російською мовою, причому як і оригінал цей Словник публікувався окремими випусками з відповідних тематичних груп, кількість яких на той час становила 22 групи.

Після виходу в світ другого видання робота над IEV активізувалася і в кінці 70-х років минулого століття почалася публікація третього видання, в якому суттєво збільшилася кількість частин, розділів і термінів, кількість яких зараз перевищила 20 000. Наприкінці 80-х років минулого століття цей словник, що отримав статус стандарту IEC 60050, складався з 74 частин (parts), кожна з яких відповідала певній галузі електротехніки, а також суміжним галузям.

Частини IEV згруповані в класи, номери та назви яких представлені нижче:

- 1 Загальні поняття (General concepts)

- 2 Матеріали (Materials)
- 3 Вимірювання, автоматичне керування (Measurement, automatic control)
- 4 Електричне обладнання (Electric equipment)
- 5 Електронне обладнання (Electronic equipment)
- 6 Генерування, передача і розподіл енергії (Generation, transmission and distribution of energy)
- 7 Телекомунікації (Telecommunications)
- 8 Специфічні застосування (Particular applications)

Кожне поняття Словника має номер, складений з розділених дефісами трьох груп: 1) номера частини (три цифри, перша з яких відповідає номеру класу – від 1 до 8), 2) номера розділу (section) в межах відповідної частини (дві цифри) та 3) номера поняття (concept) в межах відповідного розділу (дві або три цифри), наприклад, 131-11-06 – поняття № 6 розділу № 11 частини № 131, що належить до першого класу понять. Нумери понять в межах конкретного розділу є впорядкованими, тобто належать послідовності натуральних чисел, що починається з номера 01, – поняттю з номером 06 передують поняття з номером 05, а наступне поняття має номер 07 тощо. Нумери розділів у межах конкретної частини також є впорядкованими, але їх нумерація не обов'язково починається з одиниці. Нумери ж частин не є впорядкованими – частині з номером 131 передують частина 121, а не 130, а наступною частиною є частина 151, а не 132. Такий порядок нумерації був встановлений для того, щоб можна було вводити нові частини в межах існуючих класів понять.

У 70-х роках XX століття СРСР домогся визнання російської мови однією з трьох (поряд з французькою та англійською) основних мов ІЕС, в результаті чого російське назва з'явилася на логотипі ІЕС (рис. 2).



Рис. 2 – Логотип ІЕС

Ухвалення рішення про надання російській мові статусу основної мови ІЕС, крім почесного права розташовувати російську назву на логотипі цієї організації, призвело, принаймні, до двох важливих зобов'язань.

По-перше, відтоді стандарти ІЕС повинні були містити повні тексти не тільки французькою та англійською мовами, а й російською мовою.

Забезпечити такі переклади можна було тільки після завершення роботи над офіційним перекладом всіх частин ІЕВ, що до кінця так і не було зроблено. В результаті, жоден стандарт ІЕС на сьогодні не має офіційного російського перекладу, визнаного ІЕС. При цьому численні, нібито автентичні, переклади стандартів ІЕС, що виконувалися з початку 90-х років і отримали статус Державних стандартів Російської Федерації (ГОСТ Р) не слід враховувати – ці стандарти діють тільки на території Росії й тих країн, які їх визнали, але вони не вмонтовані у стандарти ІЕС, а існують нібито паралельно.

По-друге, російська мова автоматично набула статусу також і основної мови ІЕВ, а це означає, що терміни та визначення в ІЕВ повинні приводитися не тільки французькою та англійською мовами, а ще й російською мовою. До 90-х років на російську мову було переведено 49 з 74 частин ІЕВ, а потім ця робота була призупинена. На початку нинішнього століття ці 74 частини Міжнародного електро-технічного словника під назвою «Electropedia» були виставлені на сайті ІЕС. Там можна було отримати і російські переклади термінів і визначень (у 49 частинах), але тільки 9 частин з першого класу понять були у вільному доступі (з них лише дві частини – з російськими перекладами). За доступ до решти частин треба було сплатити чималі гроші.

До нового 2008 року ІЕС зробила щедрий новорічний подарунок міжнародній електротехнічній громадськості – до Електропедії був відкритий вільний доступ [1]. Оболонка Онлайн-Електропедії або Інтернет-версії ІЕВ (рис. 3) проста, зручна і дозволяє будь-кому, хто має доступ до Інтернету, легко відшукувати необхідні терміни та визначення.

Слід зазначити, що загальні питання термінології є прерогативою Міжнародної організації зі стандартизації (International Organization for Standardization – ISO), яка створила базовий термінологічний стандарт [2]. ISO та ІЕС тісно співпрацюють, зокрема в галузі термінології. Відповідно до спільної Директиви ISO / IEC [3] терміни та відповідні визначення в ІЕВ повинні наводитися французькою, англійською та російською мовами, як основними мовами ІЕВ (principal IEV languages). Ще вісім мов, а саме арабська, німецька, іспанська, італійська, японська, польська, португальська й шведська вважаються додатковими мовами ІЕВ (additional IEV languages). Цими мовами в ІЕВ повинні приводитися тільки терміни (без визначень). Зайшовши на сайт Інтернет-версії ІЕВ,

можна побачити, що на цьому ресурсі виставлено вже не 74, а понад 80 частин IEV, проте визначення разом з термінами надаються тільки французькою та англійською мовами, зроблені у попередніх версіях переклади визначень понять на російську мову були геть вилучені, а переклади термінів на російську мову можна знайти лише у деяких частинах, але без визначення понять.



Рис. 3 – Початковий фрагмент оболонки Інтернет-версії IEV

Слід відзначити, що IEV надає лише базові поняття: більш ніж 20 000 термінів з цього ресурсу – це всього лише вершина айсберга під назвою «Міжнародна електротехнічна термінологія». Підводна ж частина цього айсберга розташована в профільних стандартах ІЕС, які можна поділити на дві категорії: 1) загальнотехнічні або міжгалузеві стандарти та 2) стандарти, які стосуються конкретних груп продуктів. До першої категорії слід віднести нормативи, присвячені питанням безпеки (наприклад, коди ІР), нормативи на стандартні напруги і частоти тощо. До другої категорії слід віднести стандарти, що містять технічні вимоги до певних груп продуктів – від електропобутової техніки до турбогенераторів та апаратів високої напруги. Стандарти цих двох категорій обов'язково містять термінологічні розділи, які складаються з базових понять (представлених термінами та визначеннями), запозичених з IEV, а також з величезній кількості специфічних понять з відповідними термінами та визначеннями, офіційні переклади яких на російську мову відсутні, а переклади, що наводяться у згаданих вище ГОСТ Р, далеко не завжди можна вважати адекватними. Все це надзвичайно ускладнює розуміння вітчизняними фахівцями англомовної технічної літератури, а відтак суттєво

перешкоджає їх спілкуванню з зарубіжними колегами, адже *й досі часто-густо зберігається хибна практика формування україномовної електротехнічної термінології не шляхом безпосереднього перекладу термінів та визначень з оригіналу – стандартів ІЕС, а з російськомовних перекладів*, наприклад, з тих самих ГОСТ Р, які є доступними, але нажаль не завжди автентичними.

З наведеного на рис. 3 фрагменту оболонки Електропедії видно, що ІЕС, зберігши за російською мовою статус основної мови цієї організації (це видно по логотипу ІЕС з російськомовним назвою), в Міжнародному електротехнічному словнику, як впливає з тексту, наведеному в оболонці у першому абзаці, знизила статус російської мови до додаткової.

Мимоволі виникає питання, чому російська мова досі не тільки не стала де-факто основною мовою ІЕВ (в Інтернет-версії Електропедії немає жодної частини, де б наводилися визначення понять російською мовою), але є дуже далекою від того, щоб вважатися повноправною додатковою мовою ІЕВ (російські переклади термінів надаються менш ніж в 15 % частин Онлайн-Електропедії)? Представляється, що такий стан є наслідком відмінностей в підході і у процедурах формування термінології «у них» (в ІЕС) і «у нас» (починаючи зі структур Держстандарту СРСР й закінчуючи його наступниками в Росії та Україні). Якщо «у них» процес формування термінології в будь-якій предметній галузі підпорядковується процедурам, прописаним у спільних директивах ISO / IEC [3], то «у нас» термінологія формувалася, зазвичай, спорадично, розпорошувалася по окремих стандартах і нерідко базувалася на сформованих традиціях, які у багатьох випадках не дозволяють адекватно імплементувати міжнародну термінологію. На підтвердження цьому – ситуація з третім виданням ІЕВ, яке до радянського читача не дійшло, причому видання перекладених на російську мову 49 частин ІЕВ навіть не планувалося, про що свідчать тогочасні тематичні плани видавництва. При цьому хоча термінологічні ГОСТи, що видавалися тоді, частково й запозичували терміни і визначення з міжнародних стандартів, але переклади не завжди були якісними, а ГОСТи не містили навіть посилань на першоджерела [4-10]. В результаті, ще до початку 1990-х років склався стан, коли деякі засадничі терміни, що однозначно перекладаються як з англійської на російську (українську), так і з російської (української) на англійську, насправді позначають не зовсім однакові поняття. Такий сумний стан, як вважалося, мали докорінно змінити активні процеси гармонізації національних стандартів зі стандартами ІЕС, які розпочалися в Росії ще на початку 1990-х років і трохи пізніше – в Україні (створення

ГОСТ Р МЭК в Росії та ДСТУ ІЕС в Україні). Багато років спостерігаючи за цими процесами, маю підстави стверджувати, що стан російськомовної та україномовної «гармонізації» стандартів залишає бажати кращого, а з термінологією упорядники «гармонізованих» стандартів поведуться безсистемно, подекуди нелогічно й свавільно. А головне (якщо провести аналогію з будівництвом хмарочосу) – побудова системи стандартів розпочалася не з фундаменту (термінологічні стандарти), а з окремих приміщень (стандартів), причому на різних поверхах (профільні стандарти з різних груп стандартів). Такий спосіб «будівництва» часто-густо призводить до парадоксальних ситуацій, які заводять у глухий кут тих, хто прагне скористатися новітньою термінологією з новітніх «гармонізованих» стандартів.

Термінологічні проблеми «гармонізованих» стандартів

Родзинкою міжнародних стандартів (ІЕС та ІSO) є те, що користувач, зустрівши будь-який термін у тексті стандарту, обов'язково знайде його тлумачення (визначення поняття) якщо не у самому стандарті, то в ІЕV. Нажаль, цей принцип, який мав би бути основоположним, не знайшов втілення в «гармонізованих» стандартах ГОСТ Р та ДСТУ. А як могло бути інакше, якщо стандарти перекладали різні люди, не завжди у профільних технічних комітетах, а загальна й узгоджена термінологічна база не була створена? Декілька прикрих прикладів з сумного російського та українського «досвіду» наведемо нижче.

1. Nominal value & Rated value

Ці два різних терміни, що відносяться до двох різних понять з частково схожими характеристиками, в російськомовних джерелах зазвичай перекладають однаково: «номинальное значение». Відтак, у відповідних україномовних джерелах – «номінальне значення». Наприклад, в англomовних каталогах виробників електричних апаратів наводяться такі характеристики, як «rated current», «rated insulation voltage», «rated breaking capacity», «rated peak current», «rated impulse withstand voltage» тощо. У каталогах, перекладаних на російську мову (на українську мову каталоги перекладають дуже рідко), ці характеристики позначаються як «номинальный ток», «номинальное напряжение изоляции», «номинальная отключающая способность», «номинальный пиковый ток», «номинальное импульсное выдерживаемое напряжение» відповідно. Давайте проаналізуємо, наскільки це коректно. Якщо під коректністю розуміти відповідність стандартам, то на перший погляд тут все в порядку – в

російському перекладі [11] базового стандарту ІЕС щодо комутаційної апаратури та апаратури керування низької напруги [12] використовуються саме такі терміни, причому «rated value» перекладається як «номинальное значение» (ГОСТ Р 50030.1-2007, 2.5.3), а «nominal value» як «паспортное значение». В результаті, в тому ж стандарті з'явився дивовижний термін – «паспортное напряжение системы питания» («nominal voltage of the supply system») – це те, що повинно бути вказано, наприклад, на розетках, (~ 220 В). Важко зрозуміти, чому «nominal» – це не «номинальний», а «паспортний». Але раз в стандарті так записано, то з цим не посперечаєшся. Однак, в деяких інших стандартах «nominal» – це все ж таки «номинальний»: наприклад, в російському перекладі [13] базового стандарту з електробезпеки [14] «nominal system voltage» перекладається як «номинальное напряжение системы» (ГОСТ Р МЭК 61140-2000, 5.2.6). Але найцікавіше міститься в актуальній Інтернет-версії ІЕВ[1], яка формується виключно з ініціативи національних органів стандартизації і не могла бути створена без участі Федерального агентства з технічного регулювання і метрології. Як зазначалося вище, на російську мову були перекладені тільки терміни (без визначень) і тільки у невеликій кількості частин цього словника, зокрема у частинах 151 – Electrical and magnetic devices (Електричні та магнітні пристрої) та 442 – Electrical accessories (Електричні аксесуари). Так от, в частині 151 «nominal value» це «номинальное значение», а «rated value» – «паспортное значение», а в частині 442 все навпаки – «nominal value» це «паспортное значение», а «rated value» – «номинальное значение». Незрозуміло, як таке могло статися, але це – факт, як і те, що подібна плутанина призводить довгих ланцюжків наслідків. Наприклад, цілком очевидно, що «nominal voltage» і «rated voltage» – це різні терміни, що відповідають різним поняттям, але як їх розрізнити по-російськи (а якщо формувати українську термінологію шляхом перекладу з російської, то й по-українськи)? Яка з цих напруг є номінальною, а яка паспортною? Як розрізнити відповідні поняття, якщо і те і інше перекладати як «номинальное напряжение»? Можна, звичайно, не «мудрувати» і не звертати уваги на цю колізію (й ряд подібних!), віднести її до категорії несуттєвих, але як пояснити, чому у всіх мовах ІЕС і не тільки в мовах ІЕС (табл. 1) відповідні поняття чітко розрізняються, а по-російськи та по-українськи їх розрізнити не слід?

Розрізнити поняття «nominal value» та «rated value» не допоможе і перекладач Google – і те, й інше Google перекладає як «номинальное значение». Не допоможуть в цьому питанні і російськомовні переклади каталогів світових лідерів – у них (абсолютно у всіх, винятків немає!) і «nominal value», і «rated value» перекладається як «номинальное значение».

Але все ж таки, як слід розуміти термін «nominal value» і чим він відрізняється від терміну «rated value»? Відповідно до IEV, номінальне значення – це значення величини, що застосовується для позначення та ідентифікації компоненти, пристрою, обладнання або системи (nominal value – value of a quantity used to designate and identify a component, device, equipment, or system: IEV 151-16-09, 442-01-04). До вказаного визначення в IEV наводиться примітка, яка уточнює, що номінальне значення будь-чого – це зазвичай округлене значення (the nominal value is generally a rounded value).

Таблиця 1 – Терміни, що відповідають англійським термінам «nominal value» та «rated value» на різних мовах

Мова	Термін	
англійська (en)	nominal value	rated value
французька (fr)	valeur nominale	valeur assignée
німецька (de)	Nennwert	Bemessungswert
португальська (pt)	valor nominal	valor estipulado
шведська (sv)	nominellt värde	märkvärde
польська (pl)	wartość nominalna	wartość znamionowa
іспанська (es)	valor nominal	valor asignado
італійська (it)	valore nominale;	valore specificato
арабська (ar)	قيمة إسمية	جهد مقنن
японська (ja)	公称値	定格値
китайська (cn)	标称値	额定値
чеська (ch)	nominální hodnota	jmenovitá hodnota
словацька (sl)	nominálna hodnota	menovitá hodnota

Хоч різні вказані вище поняття⁵ й позначаються різними термінами, але зрозуміти різницю між ними неможливо без адекватних визначень. Відповідно до 151-й та 442-й частин IEV, rated value – це значення величини, що застосовується в технічних специфікаціях, яке встановлюється для зумовленої сукупності умов роботи компоненти, пристрою, обладнання або системи (rated value – value of a quantity used for specification purposes, established for a specified set of operating conditions of a component, device, equipment, or system: IEV 151-16-08, 442-01-01). На відміну від номінального значення, «rated value» обов'язково ставиться у залежність від деякої визначеної сукупності

⁵ Відповідно до базового термінологічного стандарту, поняття – це одиниця знання, яка утворена унікальним поєднанням характерних ознак (concept – unit of knowledge created by a unique combination of characteristics: ISO 1087-1, 3.2.1).

умов роботи (режимів роботи, категорій застосування). Наприклад, «rated breaking capacity» – це зовсім не «номінальна вимикальна здатність», оскільки це «номінальне значення» не дорівнює деякому значенню, в даному випадку струму, при якому апарат захисту від надструмів здатний виконати операцію вимикання плюс / мінус задані відхилення, а встановлена виробником гарантія, що цей апарат зобов'язаний вимкнути будь-який струм, що не перевершує вказане значення за деяких визначених умов (напруга і частота мережі, стала часу або коефіцієнт потужності струмового контуру тощо).

Аналіз зарубіжної нормативної (стандарти IEC) й технічної (каталоги, проспекти фірм) літератури свідчить, що термін «nominal value» застосовується вкрай рідко й тільки для тих величин, значення яких не ставляться в залежність від умов застосування відповідних об'єктів, наприклад «nominal voltage of the supply system» (номінальна напруга системи живлення), «nominal voltage (of an electrical installation)» (номінальна напруга електроустановки), «nominal frequency» (номінальна частота в контексті системи живлення), «nominal cross-section» (номінальний поперечний переріз, наприклад, провідників і кабелів), «nominal resistance of resistor» (номінальний опір резистора), «nominal capacitance of capacitor» (номінальна ємність конденсатора). Як бачимо, термін «номінальне значення» в контексті наведеного вище визначення застосовується до об'єктів, які можуть бути охарактеризовані одним числом. Зокрема, живильні мережі характеризують номінальною напругою, наприклад 220 В. Насправді напруга в мережі в залежності від різних факторів може істотно відрізнятись від номінального значення, однак на розетці повинно бути написано позначення цієї мережі – «220 В».

Те ж можна сказати і про резистор – його характеризують номінальним опором. Якщо на резисторі написано наприклад «10 Ом», то насправді його опір може досить суттєво відрізнятись від номінального значення – 10 Ом, яке лише позначає даний резистор і є його номіналом.

Проте для величин, що визначаються залежно від умов і режимів роботи апаратури, позначення «nominal» в англomовній технічній літературі ніде (!) не застосовується, для цих величин використовується позначення «rated». Зокрема в жодному англomовному каталозі щодо електричних апаратів ми не зустрінемо термін «nominal current» (номінальний струм) – тільки «rated current». Треба сказати, що так було не завжди, термін «nominal current» (або відповідний еквівалент) застосовували і американці, і англійці, і німці, і французи. Про це свідчить той факт, що в багатьох міжнародних стандартах щодо електричної

апаратури, перші видання яких створювалися в середині минулого століття, наприклад в [12], терміну «*rated current*» ставиться у відповідність символ I_n (літера n в індексі). У відносно нових стандартах, перші видання яких створювалися пізніше – в 1990-х роках, наприклад в [15], терміну «*rated current*» вже ставиться у відповідність символ I_r (літера r в індексі). Очевидно, що Міжнародна електротехнічна комісія протягом тривалого часу рішуче, наполегливо і послідовно впроваджувало у свідомість виробників і користувачів електротехнічної продукції розуміння необхідності чітко розрізняти поняття «*nominal value*» і «*rated value*», і треба сказати, що ці зусилля були цілком результативними, про що свідчить наведена вище таблиця (див. табл. 1). Нажаль, ці зусилля не вплинули на представників СРСР, де державною мовою була російська, відтак російськомовна термінологія й досі виявляється не спроможною розрізнити поняття «*nominal value*» та «*rated value*».

За Статутом ІЕС [16] координацією робіт технічних комітетів здійснює Бюро з управління стандартизацією (Standardization Management Bureau – SMB), робочою мовою якого (як і інших керівних органів ІЕС) є англійська. Англійською ведеться робота і в технічних комітетах (де-факто, хоча Статут цього і не вимагає). Тому, поза всякими сумнівами, терміни «*nominal value*» і «*rated value*» були розрізнені і визначені спочатку по-англійськи, а потім, оскільки «*nominal*» – це, як кажуть, і в Африці «*nominal*», була проведена робота з підбору еквівалентів терміну «*rated*» на інших мовах. В принципі, це могло бути будь-яке слово, яке хоча б приблизно підходило під визначення англійською, крім прийнятого перекладу з англійської слова «*nominal*». В результаті, з французької було підбрано слово «*assignée*» – призначуваний, приписуваний, з польської було підбрано слово «*znamięnowy*» – той, що характеризує, відрізняє когось/щось, властивий комусь/чомуś тощо. Представники Радянського Союзу в цьому процесі з якихось причин не брали участі і для слова «*rated*» російський еквівалент тоді не був підібраний⁶, а відтак виникла описана вище чехарда – то «номінальний», то «паспортний»...

Ми так багато уваги приділили проблемам російськомовної термінології, тому що до розпаду СРСР іншої *офіційної* електротех-

⁶ Разом з росіянами дуже довго не визнавали необхідності розрізняти поняття «*nominal value*» та «*rated value*» італійці – обидва поняття вони позначали терміном «*valore nominale*». Лише у поточному році бюрократам з ІЕС вдалося частково приборкати бунтівних колег з Апеннінського півострова – термін «*rated value*» в частинах 151, 442, 444, та 447 італійські упорядники онлайн-Електропедії переклали двояко – «*valore nominale/specificato*», в частині 811 – «*valore di targa*», а в частинах 426, 441 та 841 – лишили старий переклад – «*valore nominale*».

нічної термінології на теренах Союзу не існувало, а терміни національними мовами формувалися виключно шляхом перекладу з російської. Крім того, російська мова формально лишається офіційною мовою ІЕС, тому, якби існували адекватні переклади стандартів ІЕС (включаючи Міжнародний електротехнічний словник) на російську мову, то можна вважати, що ми мали би також і якісну україномовну термінологію, оскільки переважна більшість освічених людей в Україні на досить високому рівні володіє російською мовою.

Не маючи впливу на формування російськомовної термінології, ми зрештою маємо повне право запропонувати україномовні еквіваленти, зокрема, терміну «rated». Це слово має відрізнитися від слова «номінальний», але фонетично бути досить близьким до нього (надто укорінився переклад «rated» – «номінальний»). Наприклад, як у поляків: «rated/nominal» – «nominalny/znamienny» – коріння за звучанням дуже схожі. На нашу думку, для цієї мети дуже підходить слово «номінативний» – той що служить для називання, позначення (предметів, явищ, якостей, дій). Крім того, у скороченій формі це слово нічим не відрізняється від того, до якого ми звикли – «ном». У своїй педагогічній практиці автор протягом багатьох років використовує саме такі переклади: «nominal value» – «номінальне значення», а «rated value» – «номінативне значення».

Можливо, для терміну «rated» можна підібрати більш вдалий переклад, ніж «номінативний», але все ж це краще, ніж «паспортний», оскільки паспорт – це реєстраційний і технологічний документ, що містить основні відомості про яке-небудь підприємство, устаткування, прилад, предмет господарського вжитку і т. ін. (тлумачний словник української мови – онлайн версія) або документ для конкретного об'єкта, що містить докладний опис його складових частин, властивостей, особливостей тощо. (словник Ушакова онлайн – російською мовою). Конкретний об'єкт повинен мати конкретне ім'я, як в цивільному паспорті, а специфікатор «rated» відносять до різних значень деякої характеристики виробу, які залежать від певної сукупності умов роботи. Хіба в паспорті громадянина записують декілька імен, якими власник документа може користуватися в різних ситуаціях?

До чого призвело нехтування необхідністю розрізнення понять «nominal value» та «rated value» свідчать дані, наведені у табл. 2 – в українських стандартах [17-20] панує такий самий безлад, як і в російських. Крім того, що в різних ДСТУ терміни «nominal value» та «rated value» перекладені по-різному, можна навести приклади, коли в одному стандарті один термін перекладається по-різному. Наприклад, в [20] в розділі

визначень «rated value» перекладається як «розрахункове значення», а у тексті того самого стандарту – тільки як «номінальне значення».

Таблиця 2 – Терміни, що відповідають англomовним термінам «nominal value» та «rated value» у чинних російських та українських стандартах

nominal value	
Переклад терміну	Джерело
паспортное значение	ГОСТ Р 50030.1, 2.5.1
номинальное значение	151-16-09 (WEB)
паспортное значение	442-01-04 (WEB)
номінальна величина	ДСТУ 2815-94, 3.98
номінальне значення	ДСТУ ІЕС 60947-1, 2.5.1
номінальне значення	ДСТУ ІЕС 60240-3, 3.3.3
rated value	
Переклад терміну	Джерело
номинальное значение	ГОСТ Р 50030.1, 2.5.3
паспортное значение	IEV 151-16-08 (WEB)
номинальное значение	IEV 442-01-01 (WEB)
розрахункова величина	ДСТУ 2815-94, 3.100
розрахункове значення	ДСТУ ІЕС 60947-1, 2.5.3
номінальне значення	ДСТУ ІЕС 60947-1, у тексті
номінальна величина	ДСТУ ІЕС 60240-3, 3.3.2
номінальне значення	ДСТУ ІЕС 60439-1, у тексті

Викликає певні складнощі практика застосування термінів «величина» («quantity») та «значення» («value»). Ці терміни слід чітко розрізняти: «величина» – це струм, напруга, потужність тощо, а значення – 100 А, 220 В, 300 Вт. Практика застосування цих термінів свідчить про те, що при визначенні кількісних характеристик величин слово «значення» зазвичай опускають – тексти мають бути короткими, і без цього слова зрозуміло, про що йде мова. Ми разом з англomовним загалом зазвичай кажемо: «струм дорівнює 10 А» («the current is equal 10 А»), а не «*значення*⁷ струму становить 10 А» («the current value is equal 10 А»). Натомість, у визначенні терміну «nominal value» («номінальне значення») наголошується, що мова йде саме про *значення* (value) *певної величини* (quantity). Тому, коли ми кажемо «номінальна напруга становить 220 В» («nominal voltage is equal 220 V»), ми маємо на увазі – «номінальне *значення* напруги становить 220 В».

⁷ У спадок від німецької термінології, офіційна українська та російська термінології розрізняють фізичне явище (струм, ток, strom)⁷ та фізичну величину (сила струму, сила тока, stromstärke), яка може мати певне значення.

А тепер давайте подивимося на переклади з ДСТУ ІЕС 60240-3: «nominal value» – це номінальне значення, «rated value» – це «номінальна величина»! Якщо це так, то як перекласти з англійської «nominal voltage» та «rated voltage»?

З терміном «rated value» тісно пов'язаний термін «rating», який з англійської можна перекласти зокрема як «рівень». В ІЕВ цей термін визначається як сукупність або поєднання (set) номінативних значень й умов роботи (rating – set of rated values and operating conditions: ІЕВ 151-16-11). Якщо погодитися з тим, що «rated value» – це «номінативне значення», можна було б перекласти цей термін як «номінативні дані» подібно до того, як цей термін перекладається на деякі інші мови: caractéristiques assignées (fr), dane znamionowe (pl), märkdata (sv) тощо. Але в англійській технічній (у тому числі і в нормативній) літературі для позначення сукупності номінативних даних різних технічних характеристик апаратів зазвичай застосовується термін «specification». Цей термін хоча й не визначається, але неодноразово вживається в ІЕВ (наприклад, при визначенні поняття «rated value»). Слід також зазначити, що поняття «ratings» (множина), використовується в стандартах ІЕС для позначення сукупності значень або *рівнів* однієї величини при різних умовах роботи апарата, наприклад «current ratings», «voltage ratings». Враховуючи те, що терміни «rated» і «rating» мають одне коріння, можна запропонувати перекладати останній з них як «номінатив», а «ratings» – як «номінативи», зокрема, «voltage ratings» – «номінативи напруги», «current ratings» – «номінативи струму» або «струмові номінативи».

Деякі виробники навіть виносять інформацію щодо номінативів («ratings») окремих характеристик на корпуси комутаційних апаратів (рис. 4), демонструючи широкі можливості свого продукту.

Нажаль, у жодному з доступних авторові українських стандартів ми не бачимо адекватного перекладу терміну «rating(s)» – це видно з даних, наведених у табл. 3. Зокрема у стандарті ДСТУ ІЕС 60947-1 не збігаються переклади терміну «rating» в термінологічному розділі та у подальшому тексті, наприклад, у тексті є словосполучення «номінальний струм», яке відповідає словосполученню «current rating» в оригіналі – ІЕС 60947-1, відтак, за логікою авторів даного ДСТУ, «rating» – це прикметник «номінальний». Як читач цього стандарту може доміслитися, що перекладач мав на увазі визначене ним у п. 5.18 поняття «номінальний режим», хоча насправді «current rating» – це певне значення струму за певних умов роботи апарата або «номінатив струму». Як читач іншого стандарту – ДСТУ ІЕС 60439-1 – може здогадатися, що терміни «значення», «норми», «норми параметрів», «номінальні значення» є

синонімами і в англomовному оригіналі відповідають терміну «ratings», який до речі в оригіналі стандарту, а відтак і у перекладі, не визначений. Для користувача англomовного оригіналу відсутність визначення у стандарті не викликає проблем, бо визначення він знайде в ІЕВ. А як бути читачеві ДСТУ з такою купою невизначених синонімів, якщо читач – не Глеб Жеглов і перед знайомством з ДСТУ досконально не вивчив оригінал? А якщо вивчив оригінал, то навіщо йому недосконалий у змістовому аспекті переклад?



Рис. 4 – Лицьова панель апарата захисту від коротких замикань, на якій виробник розмістив номінативи граничної вимикальної здатності цього апарата при коротких замиканнях (I_{cu}) залежно від роду струму (AC / DC) та номінативу робочої напруги (U_e)

Таблиця 3 – Терміни, що відповідають англomовному терміну «rating(s)» у чинних українських стандартах

Переклад терміну	Джерело
номінальний режим роботи електротехнічного виробу	ДСТУ 2267-93, 123
номінальний режим	ДСТУ 2815-94, 5.18
номінальний режим	ДСТУ ІЕС 60947-1, 2.5.3
параметр номінальний параметр номінальний режим номінальний (current rating)	ДСТУ ІЕС 60947-1, у тексті
номінальні характеристики	ДСТУ ІЕС 60240-3, 3.3.1
значення; норми норми параметрів номінальні значення	ДСТУ ІЕС 60439-1, у тексті

2. Switch & Circuit-breaker

Існує принципова різниця між двома різновидами комутаційних апаратів, які в англomовній технічній літературі позначаються термінами «switch» та «circuit-breaker». Перший з них – «switch» – призначений здійснювати проведення електричного струму протягом тривалого часу, а також здійснювати функціональні комутації (вмикання та вимикання) при нормальних умовах. Ці апарати можуть також здійснювати невелику кількість комутацій в умовах певних перевантажень та навіть **вмикати** струми коротких замикань, але не **здатні їх вимикати**, оскільки вони не мають відповідних засобів – потужних дугогасних пристроїв. В англomовній технічній літературі термін «switch» застосовують до широкої гами апаратів – від субмініатюрних пристроїв для різномунітних електронних приладів («electronic switch») до потужних комутаційних пристроїв з номінальним струмом до 1000 А. Їх поєднує те, що вони не призначені для розмикання кіл при ненормальних умовах у них, зокрема при коротких замиканнях.

Інший апарат – «circuit-breaker», призначений, в першу чергу, здійснювати проведення електричного струму протягом тривалого часу (години, дні, тижні, місяці й навіть роки) при нормальних умовах в електричних колах, не здійснюючи при цьому жодних комутацій, разом з тим повинен бути здатним здійснювати як функціональні комутації при нормальних умовах, так і комутації (вмикання та вимикання) струмів при ненормальних умовах в електричних колах, наприклад, при коротких замиканнях. Всі мови IEV термінологічно розрізняють ці два апарати чітко й однозначно (табл. 4), причому незалежно від того, в яких мережах (низької або високої напруги) вони працюють.

Таблиця 4 – Терміни, що відповідають англomовним термінам «switch» та «circuit-breaker» на різних мовах

Мова	Термін	
англійська (en)	switch	circuit-breaker
французька (fr)	interrupteur	disjoncteur
німецька (de)	Lastschalter	Leistungsschalter
португальська (pt)	comutador	disjuntor
шведська (sv)	lastbrytare	effektbrytare
польська (pl)	rozłącznik	wyłłącznik
арабська (ar)	مفتاح	قاطع دائرة
японська (ja)	スイッチ	回路遮断器

А як ці два поняття розрізняє російська та українська термінологія? Уявлення про це можна скласти з даних, наведених в табл. 5. Як бачимо, у чинних російських та українських стандартах, які мають відношення до апаратів низької напруги, «circuit-breaker» іменується як «автоматичний вимикач», хоча у цього апарата завжди є ручний актуатор (рукоятка або кнопка) й за сприятливого збігу обставин він за весь свій термін служби може жодного разу не спрацювати автоматично, а вручну – багато разів. Навпаки, для апаратів, які працюють при високих напругах, «circuit-breaker» завжди іменується як «вимикач» («выключатель» – [21]), а специфікатор «автоматичний» до цього терміну ніколи не додають, хоча вказаний апарат може не мати ручних актуаторів та зазвичай спрацьовує без втручання людини, тобто автоматично⁸. Натомість «switch» в одних стандартах іменують як «вимикач», в інших – як «вимикач навантаження» або як «вимикач навантаги».

Таблиця 5 – Терміни, що відповідають англomовним термінам «switch» та «circuit-breaker» у чинних російських та українських стандартах

switch	
Переклад терміну	Джерело
выключатель	ГОСТ Р 50030.1, 2.2.9
выключатель нагрузки	ГОСТ Р 50030.2, 2.2.9
переключатель, коммутатор	151-12-22 (WEB)
выключатель ((on/off) switch)	151-12-23 (WEB)
выключатель	442-04-(01...11) (WEB)
вимикач ((on/off) switch)	ДСТУ 2815-94, 4.93
вимикач навантаги	ДСТУ ІЕС 60947-1, 2.2.9
circuit-breaker	
Переклад терміну	Джерело
автоматический выключатель	ГОСТ Р 50030.1, 2.2.11
автоматический выключатель	ІЕВ 442-05-01 (WEB)
автоматичний вимикач	ДСТУ ІЕС 60947-1, 2.2.11

Тлумачні словники, які є доступними в Інтернеті, визначають слово «навантага» як таке, що вживається рідко і є синонімом слова «навантаження». Сучасна практика застосування цих слів свідчить про те, що слово «навантага» вживається для позначення об'єктів

⁸ Специфікатор «автоматичний» застосовується відповідно до ІЕВ (automatic: 351-21-40) щодо процесу або обладнання, які, за певних умов, функціонують без втручання людини (pertaining to a process or equipment that, under specified conditions, functions without human intervention).

споживання електричної енергії (двигуни, нагрівальні пристрої тощо), які приєднуються до джерел живлення та мають певні характеристики (резистивно-індуктивна навантага, нелінійна навантага тощо), а слово «навантаження» вживається для позначення певної дії або сукупності чинників, що впливають на об'єкт. Відтак можна казати про недонавантаження, нормальне навантаження або про «перевантаження» («overload») певного об'єкту і аж ніяк не про «перевантагу» (ДСТУ ІЕС 60947-1, 2.1.7) – такого слова ми не знайшли в жодному доступному в Інтернеті тлумачному словнику української мови. До речі й визначення терміну «overload» у згаданому стандарті перекладено некоректно: насправді «operating conditions in an electrically undamaged circuit which cause an over-current» – це «умови роботи в електрично непошкоджені колі, які призводять до надструму» (повтикали багато навантаг у розетку – мережа перевантажилася і у ній виник надструм). А у стандарті це визначення перекладено так: «робочий режим непошкодженого електричного кола, спричинений надструмом». У цьому перекладі переплутані причина та наслідок (спочатку невідомо звідки виник надструм, а потім – певний режим), а крім того, це визначення формує легковажне відношення до перевантаження як до відносно безпечного робочого режиму. Насправді ж перевантаження – це небезпечний ненормальний режим, наслідком якого може стати коротке замикання, відтак перевантаження у жодному колі не може вважатися робочим режимом.

Захищати мережі та обладнання від ненормальних умов у відповідних колах має апарат з назвою «circuit-breaker». Хоча при виникненні ненормальних умов в електричних колах «circuit-breaker» повинен спрацювати автоматично, ця функція не може вважатися такою, що відрізняє його від апарата, іменованого як «switch». Тому не випадково, що апарати, які позначаються термінами «switch» і «circuit-breaker», в ІЕВ розрізняються не за принципом автоматичної дії, а за призначенням («switch» – це у першу чергу комутаційний апарат, а «circuit-breaker» – захисний) і здатністю розмикати кола при ненормальних умовах в них. Наприклад, вимикач в електричному чайнику, діє автоматично, вимикаючи живлення при закипанні води, тому цей апарат цілком природно іменувати як «автоматичний вимикач» – «automatic switch», а термін «circuit-breaker» для нього зовсім не підходить, адже цей апарат не тільки не здатний вимикати струм при ненормальних умовах в колі нагрівача цього чайника, наприклад, при коротких замиканнях, але навіть не реагує на такий аварійний режим.

Для того, щоб адекватно розрізнити основні характеристики вказаних апаратів та уникати некоректного трактування їх функцій, ці апарати слід розрізнити й термінологічно. Наприклад, для терміна «switch» цілком підходить еквівалент «вимикач», адже абсолютно все населення – від мала до велика – щодня і багаторазово оперує цим апаратом, тому немає жодного сенсу його перейменувати. А от для апарата під назвою «circuit-breaker», яким оперує, в основному, вузьке коло підготовлених фахівців, зобов'язаних розуміти особливості його функціонального призначення, варто пошукати деякий інший термін – фахівців можна переконати в необхідності такого кроку. Для цієї мети цілком би підійшов якийсь специфікатор перед словом «вимикач». Проте, що специфікатор «автоматичний» не визначає головну функцію цього апарата, ми вже говорили. Не зовсім адекватним є також специфікатор «силовий»⁹, оскільки в цьому випадку дуже важко пояснити, чому, наприклад, апарат OT2000 (ABB) з номінальним струмом (rated current) 2000 А, здатний без ушкоджень протягом однієї секунди проводити струм 50 кА з піковим струмом 170 кА, і здатний декілька разів розмикати електричні кола зі струмом 10 кА (рис. 5,а) – це просто «вимикач» або «вимикач навантаження» («switch»), а апарат S200 (теж ABB) з номінальним струмом 63 А та вимикальною здатністю 6 кА (це – середньоквадратичне значення очікуваного струму, якому відповідає пікове значення 15 кА, але за рахунок високої швидкодії таких апаратів максимальне значення струму при короткому замиканні в колах з цими апаратами істотно обмежується і зазвичай не перевищує 4 кА) – це «силовий вимикач» (рис. 5,б). До речі, існують модифікації апаратів OT2000, які здатні за певних умов або за зовнішніми командами розмикати кола автоматично. Для таких модифікацій в англомовній технічній літературі застосовується назва «automatic switch», яку важко перекласти інакше, ніж «автоматичний вимикач», а не «circuit-breaker», оскільки вказані апарати не здатні розмикати кола при коротких замиканнях.

Як бачимо, дуже важко підібрати змістовні терміни українською та російською мовами, які б однозначно відповідали англійському терміну «circuit-breaker» (дослівно – «відокремлювач (розмикач) кола»). У таких ситуаціях зазвичай вдаються до запозичення іноземних

⁹ Такий специфікатор цілком відповідає німецькому перекладу терміна «circuit-breaker»: «Leistungsschalter» – «силовий вимикач» (дослівно – «потужний вимикач»). До речі, німецький термін «Lastschalter», що є еквівалентом терміну «switch», дослівно можна перекласти як «вимикач навантаження». Ось де коріння вітчизняних термінів!

слів, і в даному випадку цілком підійшло б слово «брейкер», тим більше, що в англомовній технічній літературі дуже часто замість повної форми – «circuit-breaker» використовують коротку – «breaker». Швидше за все, першою реакцією на таку пропозицію буде відторгнення – ще одне іноземне слово у вітчизняній термінології! Однак навряд чи варто ігнорувати нові іноземні термінологічні запозичення, якщо вони більш точно характеризують те чи інше поняття. Хто поставить під сумнів доцільність використання таких іноземних слів, що міцно увійшли у вітчизняну електротехнічну термінологію, як «номінальний», «режим», «автоматичний», «імпульс», «резистор», «дросель», «конденсатор», «реле», «контактор» тощо? А двічі іноземні слова «електротехніка» і «термінологія» за довгі роки перебування на нашій території (ще одне іноземне слово) повністю «натуралізувалися»! Та й слово «брейкер» є не таким вже незвичним для вуха українця чи росіянина – бокс зараз дуже популярний і слова коментатора *«боксери у клінчі і рефері командує "брейк"»* зрозумілі всім, хоча в цій фразі немає жодного неіноземного слова, крім прийменника «у» та сполучника «і».

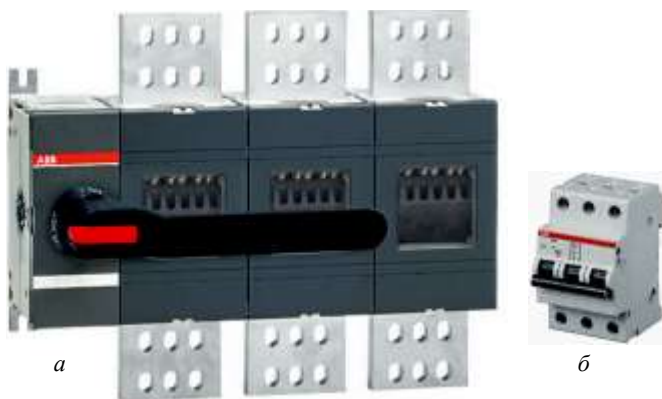


Рис. 5 – «Вимикач навантаження» («Lastsschalter») – «switch» (а) та «силовий вимикач» («Leistungsschalter») – «circuit-breaker» (б)

Можливо, для терміну «circuit-breaker» можна було б підшукати якесь не іноземне слово, наприклад, якщо «switch» – це «вимикач», то «circuit-breaker» – «відмикач» подібно до відповідної польської пари термінів: «rozłącznik» та «wyłącznik». Але можливо, що введення в науковий обіг терміна «брейкер» має кращі перспективи хоча б тому, що цей термін є абсолютно зрозумілим для фахівців в усьому світі.

3. Switchgear and Controlgear

Це дуже важливий парний термін, який є основою назв трьох груп стандартів – IEC 60947 (Low-voltage switchgear and controlgear), IEC 62271 (High-voltage switchgear and controlgear), IEC 60439 (Low-voltage switchgear and controlgear assemblies), а також низки окремих стандартів, зокрема [15]. Цілком природньо, що переклад цього парного терміну мав би бути однаковим в усіх перекладених стандартах, якби цим процесом хтось керував. Насправді ж процесом «гармонізації» цих груп стандартів ніхто не керував, тому перекладали як змогли (табл. 6).

Якщо уважно прочитати визначення з IEC 441-11-01, то можна зробити висновок, що цілком адекватним є лише переклад цього терміну, який міститься у тексті ДСТУ IEC 60947-1 (рядок у таблиці виділено). Інші ж переклади, у тому числі і у назві того ж стандарту – на титульному листі (!), м'яко кажучи не зовсім фахові, а переклад назви групи стандартів в ДСТУ IEC 60947-4-2 на титульному листі (!) виглядає просто кумедно.

Вище ми розглянули лише три пари термінів, щодо перекладу яких не тільки не існує єдності у перекладачів різних стандартів, а й часто-густо навіть в одному стандарті певний термін перекладається по-різному. Можна було б навести безліч подібних прикладів¹⁰, але, здається, що й наведених прикладів цілком достатньо, щоб зрозуміти, що у вітчизняних електротехнічних стандартах (ДСТУ IEC) панує повний термінологічний безлад.

Та і всередині далеко не все у порядку.

Спробуйте, наприклад, зрозуміти такий текст: «Вимоги цього пункту треба перевіряти випробуваннями за 8.2.4.2, 8.2.4.3 і 8.2.4.4, який застосовно» (ДСТУ IEC 60947-1, 7.1.7.1). Напевно автор перекладу вкладав якийсь зміст у словосполучення «який (як) застосовно» (саме «застосовно», а не «застосовано»), бо це словосполучення зустрічається в даному стандарті неодноразово як переклад англomовного виразу «as applicable». В оригіналі ж (IEC 60947-1, 7.1.7.1) записано таке: «The requirements of this subclause shall be verified by the tests of 8.2.4.2, 8.2.4.3

¹⁰ Деякі з таких прикладів: термін «type test» у різних стандартах перекладається як «випробування дослідного зразка» (ДСТУ IEC 60947-1, 2.6.1), як «випробування типу» (ДСТУ IEC 60439-1, найменування стандарту), «типове випробування» (ДСТУ IEC 62040-3, 3.2.39); термін «terminal» іноді перекладають як «вивід» (наприклад, ДСТУ IEC 60947-1, 2.3.22), іноді як «затискач» (наприклад, ДСТУ IEC 60947-1, 2.3.23, ДСТУ IEC 60439-1, 7.1.3), а іноді як «клема» (у тому ж ДСТУ IEC 60439-1, 2.6.3).

and 8.2.4.4, as applicable». Якщо не прочитати уважно текст всього пункту 7.1.7.1 та пункти, на які в ньому зроблено посилання, то адекватно перекласти цей текст, вирваний з контексту, буде дуже важко. Насправді ж, в п. 7.1.7.1 згаданого стандарту розглядаються вимоги до конструкцій терміналів¹¹ апаратів, а в п. 8.2.4 – відповідні умови випробувань щодо їх механічних властивостей (міцність приєднання, запобігання пошкодженням провідників тощо) терміналів в залежності від способів приєднання (затискання гвинтом, бовтом чи гайкою) різних типів приєднаних провідників (круглий чи плоский, одножильний чи багатожильний тощо). Отже в стандарті розглядається велика кількість варіантів, а у конкретному апараті може бути застосований лише один чи декілька з них. Відтак «as applicable» слід було б перекласти як «в залежності від застосування», а у перекладі згаданого вище тексту слід було б додати контекстне уточнення: «Вимоги цього пункту мають бути перевірені випробуваннями за 8.2.4.2, 8.2.4.3 і 8.2.4.4 в залежності від застосування конкретної конструкції терміналів».

Таблиця 6 – Терміни, що відповідають англomовному терміну «switchgear and controlgear» у чинних українських стандартах

Переклад терміну	Джерело
пристрої комплектні розподільчі	ДСТУ ІЕС 60947-1, титульний лист
комутаційна апаратура та апаратура керування	ДСТУ ІЕС 60947-1 (у тексті)
пристрої комплектні розподільчі	ДСТУ ІЕС 60947-2, титульний лист
устаткування комплектних розподільчих пристроїв	ДСТУ ІЕС 60439-1, нормативні посилання
пристрої комплектні розподільчі	ДСТУ ІЕС 60947-4-1, титульний лист
перемикач і контролер	ДСТУ ІЕС 60947-4-2, титульний лист

Складність перекладу з англійської взагалі, а особливо електро-технічних стандартів, полягає в тому, що одне й те ж англійське слово

¹¹ В різних пунктах ДСТУ ІЕС 60947-1 термін «terminal» перекладається по-різному – іноді як «вивід», іноді як «затискач». Насправді ж «термінал» – це не «вивід» і не «затискач». Визначення цього терміну наведено в ІЕВ: термінал – це провідна частина пристрою, електричного кола або електричної мережі, **що забезпечує** приєднання пристрою, електричного кола, електричної мережі до одного або декількох зовнішніх провідників (terminal – conductive part of a device, electric circuit or electric network, **provided for** connecting that device, electric circuit or electric network to one or more external conductors: 151-12-12). Кожний окремо – вивід («termination») та затискний пристрій («clamping unit») **лише надають можливість приєднання** зовнішніх провідників, а **забезпечує приєднання** тільки **сукупність** виводу та затискного пристрою, якою власне і є термінал.

може мати безліч контекстних значень, відтінків та навіть відноситися до різних частин мови. Одним з таких слів, які мають дуже важливе значення в електротехніці, є слово «load». Це слово може бути іменником, що позначає певний об'єкт, який споживає електричну енергію (можна перекласти як «навантага»), може бути іменником, що позначає певний процес (можна перекласти як «навантаження»), може бути й дієсловом (можна перекласти як «навантажувати»). З цим словом пов'язана низка електротехнічних термінів: «load», «on-load», «no-load», «overload», «normal load», «working load», «special load» тощо. Переклад тексту, зроблений без урахування контекстного відтінку застосування терміну, пов'язаного зі словом «load», може виявитися просто безглуздом.

Ще один приклад. В ДСТУ ІЕС 60947-1 наводиться таке визначення: «2.1.7 перевантага (overload) – робочий режим непошкодженого електричного кола, спричинений надструмом». Дуже дивне визначення. Адже, якщо в електричному колі тече надструм, такий режим роботи кола аж ніяк не може бути робочим – це ненормальний або навіть аварійний режим. Але й це не все. Оригінал цього визначення виглядає так: «overload – operating conditions in an electrically undamaged circuit which cause an over-current» (ІЕС 60947-1, 2.1.7). Як бачимо, у наведеному вище перекладі все перевернуто: «operating conditions» – це не «робочий режим», а «умови роботи», відтак «overload» – це процесовий іменник – «перевантаження», а «надструм» («over-current»), тобто струм, який перевищує номінативне значення, є наслідком, а не причиною перевантаження. Насправді, переклад наведеного вище визначення має виглядати так: «2.1.7 перевантаження (overload) – умови роботи в електрично непошкодженому колі, що призводять до надструму». Що тут незрозумілого? Електропроводка (електричне коло) є непошкодженою, але до розетки приєднали забагато навантаг і струм в електропроводці перевищив припустиме значення – виник надструм і, власне, перевантаження.

Наведені приклади є дуже показовими і, нажаль, непоодинокими – можна навести безліч прикладів недосконалого, недбалого й навіть перевернутого перекладу у стандартах ДСТУ ІЕС. А як могло бути інакше? Стандарти ІЕС створювали й удосконалювали на протязі десятиліть великі колективи згуртованих у технічних комітетах ІЕС висококласних фахівців – представників електротехнічних компаній – світових лідерів у своїх галузях. Висока кваліфікація авторів стандартів, жорстка конкуренція виробників, представлених у технічних комітетах, суворі процедури створення стандартів, а також

підкреслене дотримання базової електротехнічної термінології, представленої в ІЕВ, стали запорукою високої якості цих стандартів, у тому числі з точки зору чіткості тлумачення вимог до конкретних продуктів та умов їх випробувань. Чи маємо ми в Україні матеріальні й людські і для створення якісних перекладів міжнародних електротехнічних стандартів? З упевненістю наголошую: сьогодні – ні! Бо нема у нас достатньої кількості потужних виробництв з великою кількістю висококваліфікованих фахівців, які б працювали на тих виробництвах як розробники та випробувальники. Прикро, але факт – Харків, який був центром радянської електротехнічної промисловості, зараз мйже повністю втратив свої позиції. Потужний науково-дослідний інститут ВНДІЕлектроапарат, дві з половиною тисячі науковців та інженерно-технічних працівників якого колись розробляли, досліджували й випробували апарати низької напруги, які потім вироблялися на багатьох підприємствах, повністю перестав існувати. Куди подівся славнозвісний ХЕМЗ? Куди поділося потужне науково-виробниче об'єднання Радіореле? Куди подівся ХЕАЗ? Перелік можна ще довго продовжувати...

Науково-технічна еліта ВНДІЕлектроапарат та харківських заводів складала основу технічного комітету ТК73 «Низьковольтна комутаційна апаратура». Зараз цей комітет не працює. А раз не працює профільний ТК, то з чийсь подачі за переклади стандартів стосовно комутаційної апаратури активно взялися представники непрофільних комітетів¹². І результат не забарився – приклади ми навели вище. Та й як могло бути інакше, якщо перекладали дуже складні й дуже специфічні документи не фахівці, а люди, які ніколи не розробляли, не досліджували, не виробляли та не випробували електричні апарати? До речі, якщо нема виробничих підприємств, то навіщо витрачати кошти на розробку або переклади стандартів, за якими має здійснюватися виробництво відповідних продуктів?

ВНДІЕлектроапарат мав потужну випробувальну базу з чисельними лабораторіями для проведення кліматичних, механічних та

¹²Зокрема, стандарт ІЕС 60439-1, присвячений комплектомним пристроям розподілення та керування низької напруги перекладали у Харківському науково-дослідному інституті метрології (ХДНДІМ) Держстандарту України, у Технічному комітеті стандартизації (ТК 63) «Загальні норми і правила державної системи забезпечення єдності вимірювань», стандарт ІЕС 60947-1 – у Відкритому акціонерному товаристві «Науково-дослідний інститут “Перетворювачі”» і Технічному комітеті стандартизації (ТК 31) «Силові перетворювачі»... Пререлік можна продовжити.

комутаційних випробувань. Обладнання усіх цих лабораторій порізали на металобрухт, а унікальну, єдину в Україні лабораторію комутаційних досліджень, яка дозволяла виконувати випробування комутаційної стійкості апаратів у трифазних колах при очікуваному піковому струмі 125 кА та напрузі 400 В, три роки тому продали у Росію (Курськ) майже за ціною металобрухту. Відтак, зараз в Україні неможливо провести випробування апаратів на здатність вмикання та вимикання струмів коротких замикань. А коли нема можливості випробувати апарати, то навіщо витрачати кошти на переклад стандартів, у яких більше половини обсягу стосується саме випробувань? До речі, хто може видати сертифікат відповідності апарата стандарту ДСТУ ІЕС? Вітчизняні лабораторії не можуть цього зробити, бо не мають відповідного обладнання, а іноземні лабораторії не можуть, бо не мають фахівців, які володіють українською мовою. До речі, якщо хтось і міг би видати сертифікат відповідності вітчизняному стандарту, то відповідність ДСТУ ІЕС геть не означає відповідності ІЕС, і з таким серифікатом міжнародний ринок не підкорити!

Якщо погодитися з тим, що не треба перекладати міжнародні стандарти, то як підійти до виробництва апаратів, яке незабаром (хочеться у це вірити) відновиться в Україні? Тут доречно послатися на досвід Польщі, де зуміли зберегти виробництво електричних апаратів та не розбазарили випробувальне обладнання. Так от, в Польщі не витрачають кошти на переклад міжнародних стандартів, хоча Польща набагато заможніша за Україну, а при виробництві та випробуваннях апаратів користуються англomовними оригіналами стандартів ІЕС. При цьому для кращого розуміння термінів в англomовних стандартах польськомовними користувачами, у Польщі здійснили переклад термінів *абсолютно з усіх* частин Міжнародного електротехнічного словника – від частини 101 «Математика» до частини 903 «Оцінка ризиків». Коли випробування неможливо здійснити в Польщі, залучають іноземні органи сертифікації – лабораторії, які користуються винятково англomовними оригіналами стандартів ІЕС. То ж польські виробники мають повне право промаркувати свої апарати номерами стандартів ІЕС, наприклад на корпусі нанести позначення «ІЕС 60947-2» або «ІЕС 60898-1». Таке маркування, підтверджене сертифікатом відповідності, виданим авторитетною й незалежною лабораторією, яка провела випробування певного апарата, є гарантією високої якості цього апарата й відкриває йому двері успіху на міжнародному ринку.

Повний імпеданс!

Стандарти ІЕС містять значний масив загальних понять, деякі з яких нібито є цілком зрозумілими, а деякі – не зовсім. Наприклад, терміни «струм» («current») або «густина струму» («current density») нібито не викликають складнощів, але у вітчизняних стандартах розрізняють «(електричний) струм» як фізичне явище та «сила струму» як фізичну величину. Якщо спробувати зробити зворотній переклад: «сила струму» – «force of current» або «current force», то англофони навряд чи зрозуміють, про що йде мова. До цього слід додати, що визначаються поняття струму та густини струму в ІЕВ не зовсім так, як у радянських, російських та вітчизняних стандартах. В ГОСТ [4], ГОСТ Р [22] та ДСТУ [23] первинним є визначення струму (насправді – сили струму), а визначення густини струму є похідною від визначення сили струму. В ІЕВ все навпаки – спочатку визначається густина струму, а через неї – струм.

А ось ще кілька прикладів як по-різному тлумачать «у нас» (в країнах, що вийшли з СРСР) та «у них» (у решті світу) деякі основоположні поняття.

Що таке «повний опір» у нас знають усі, як і те, що «повний» (себто «загальний») по-англійськи це «total», а «опір» – це «resistance». Чому ж тоді «повний опір» – це не «total resistance», а «impedance»? А річ в тому, що за сформованою у нас термінологією [4, 23] і за ІЕВ «опір» і «resistance» – це зовсім не одне і те ж. Більш того, термін «опір» в [4] та [23] взагалі не визначений, зате визначені терміни «активний опір», «реактивний опір», «індуктивний опір», «ємнісний опір», «повний опір». В ІЕВ же термін «resistance» визначається, і це визначення дає підставу вважати, що «resistance» не може бути ані реактивним, ані індуктивним, ані ємнісним, ані повним, але може бути тільки активним в нашому розумінні. Тому те, що у нас називають активним опором, це не «active resistance», а просто «resistance» (причому у визначенні підкреслюється, що «resistance» не може бути від'ємним), «реактивний опір» – це не «reactive resistance», а «reactance», «індуктивний опір» – не «inductive resistance», а «inductance», «ємнісний опір» – не «capacitive resistance», а «capacitance» і, нарешті, «повний опір» – не «total resistance», а «impedance».

Ще один приклад. Діюче значення струму в [4] і [23] визначається як середньоквадратичне значення періодичного електричного струму за період, і це визначення поширюється на напругу, магнітний потік тощо. Чому ж ці значення називають «діючими»? Зі струмом ще якось зрозуміло: змінний струм з діючим значенням I , який тече через

резистор з опором R , нагріває цей резистор так само, як і постійний струм I , тобто в тепловому відношенні ці струми діють однаково. Але масивний провідник, через який тече змінний струм з «діючим» значенням I нагріватиметься сильніше, ніж у випадку, коли через нього тече постійний струм I . Як бачимо, «діюче значення струму» виявляється діючим як би і не зовсім. А пояснити фізичну природу «діючого значення магнітного потоку» навіть і намагатися не варто.

В IEV замість терміну «діюче значення» (струму, напруги, магнітного потоку тощо) застосовується термін «середньоквадратичне значення» – «root mean square» або скорочено – rms.

Здається, що розглянутих прикладів цілком достатньо, щоб усвідомити існування серйозних проблем у вітчизняній електротехнічній термінології, що сформувалася. Ці проблеми, на думку автора, значною мірою можуть будуть подолані, якщо в науковий і дидактичний обіг ввести зрозумілі в усьому світі терміни, такі як «брейкер», «імпеданс», «реактанс», «актуатор», «термінал» тощо, деякі з яких використовувалися у нас раніше, але були безпідставно «репресовані» в епоху боротьби з космополітизмом (до речі, «космополітизм» – це теж іноземне слово, причому двічі) і не цуратися використання англомовних аббревіатур (DC, AC, LV, HV, IEC, IEV, rms тощо), які в усьому світі використовуються як потужний засіб міжкультурних комунікацій.

На останок потішимо читача, який дочитав до цього місця і остаточно не заплутався у хитросплетіннях колізій вітчизняної та міжнародної електротехнічної термінології, двома повідомленнями, перше з яких є приємним, а друге – не дуже.

Першому (приємному) повідомленню, безумовно, порадіють прихильники терміну «повний опір», бо термін «total resistance» у міжнародній термінології все ж таки існує. Більш того, існує також і термін «повний імпеданс» (оцініть – як звучить!) – «total impedance». Щоб переконалися в цьому, досить зазирнути в технічну публікацію IEC [24], присвячену опису дії електричного струму на людей та свійських тварин. У цій публікації показано, що внутрішні імпеданси (internal impedance) Z_i тіла людини на шляху рука-рука, рука-нога тощо мають як резистивні, так і ємнісні складові (паралельно з'єднані). Аналогічні складові має також імпеданс ділянок шкіри (impedance of the skin) Z_s . А повний імпеданс Z_T на відповідному шляху утворюється послідовним з'єднанням імпедансів Z_i та Z_s і являє собою їх геометричну суму.

При постійному струмі ємнісні складові не впливають на струм в стаціонарному режимі, а повний опір R_T тіла людини на відповідному шляху складається з внутрішнього опору R_i та опору R_s ділянок шкіри.

Таким чином, оскільки паралельні гілки ємнісних складових відключені, значення повного опору виявляється більшим, ніж значення повного імпедансу, вираженому в Омах, на тому ж шляху. При низьких напругах порядку 20 ... 30 В різниця між Z_T та R_T може досягати 20 ... 30%, а при напругах 100 В й більше ця різниця нівелюється.

Незважаючи на те, що термін «повний опір» («total resistance») присутній як у вітчизняній, так і в міжнародній електротехнічній термінології, поняття, що відповідають цим термінам «у нас» і «у них» докорінно різняться. У нас «повний опір» – це сумарний, результуючий опір ділянки електричного кола з резистивною, індуктивною та ємнісною складовими при змінному синусоїдальному струмі, а у них «total resistance» – це певна резистивна характеристика тіла людини при постійному струмі.

Друге (не дуже приємне) повідомлення полягає в тому, що імпедансів в міжнародній термінології дуже багато. Зокрема, термін «total impedance» в міжнародній термінології застосовується не тільки як електрична характеристика тіла людини, а й для позначення підсумкової характеристики декількох імпедансів, з'єднаних послідовно чи паралельно. А ще є «apparent impedance», «terminating impedance», «image impedance», «iterative impedance» і ще з десяток інших імпедансів. Але сподіваємося, що фахівці з теоретичної електротехніки з цією іноземною навалюю впораються, адже фахівців у нас набагато більше, ніж імпедансів у них.

Замість висновку. Що робити?

Чинна програма гармонізації міжнародних стандартів у нашій країні, в її нинішньому стані, навряд чи може бути реалізована через брак професійних та матеріальних ресурсів. Цю тезу ми вже згадували, оперуючи якісними, й навіть дещо емоційними аргументами, з якими безумовно можна сперечатися. Попереджуючи можливу дискусію з цього приводу, наведемо декілька кількісних показників на підтримку згаданої тези.

Хоча інформації про цю програму у всесвітньому павутинні дуже мало, але навіть в одному документі – Державній програмі стандартизації на 2006-2010 роки [25] містяться дуже вагомі аргументи. Так от, ця програма передбачала розробити впродовж вказаного п'ятиріччя аж 850 гармонізованих стандартів у галузі енергетики та електротехніки і ще 840 стандартів – у галузі електроніки та телекомунікацій. Оскільки енергетикою, електротехнікою, електронікою та телекомунікаціями опікується ІЕС, то, скоріше за все, мова у Постанові йшла саме про розробку стандартів ДСТУ ІЕС. Відтак, передбачалося, що за п'ятиріччя

2006-2010 років буде гармонізована значна частина потрібних Україні стандартів ІЕС. Нажаль, цього не сталося. На початок жовтня 2014 року було перекладено лише 550 стандартів ІЕС, враховуючи й ті, що були перекладені до 2006 року [26]. При таких темпах для реалізації тої Програми знадобиться ще десятки років. Це – оптимістичний прогноз, а песимістичний – ця Програма взагалі ніколи не буде реалізована, бо на розробку 1690 (840 + 850) стандартів Постановою був окреслений обсяг фінансування аж 15 465 тис. грн. – приблизно 9,1 тис. грн. на один стандарт (!). Що можна зробити за такі гроші (наголос – на і), якщо врахувати, що до цієї суми мають входити накладні витрати, відррахування до соцфондів, ПДВ, прибуток підприємства тощо, а на оплату висококваліфікованої праці лишається трохи більше (а може й менше) чотирьох тисяч?

Отже, програма захлинулася і навряд чи буде реанімована найближчим часом – наразі видатки бюджету слід спрямовувати на більш нагальні потреби. Втім, хіба перехід на міжнародні стандарти – це не нагальна потреба нашого часу? Безумовно, нагальна! Але якщо певне підприємство виробляє високоякісний продукт і має намір вийти з ним на міжнародний ринок, воно вимушено буде витратити чималі кошти на випробування в акредитованій лабораторії з метою отримати сертифікат відповідності міжнародному стандарту, а не стандарту ДСТУ ІЕС. Можливо, при цьому підприємству знадобиться мати якийсь переклад того стандарту (необов'язково офіційний), а витрати на такий переклад будуть нехтовно малими порівняно з витратами на випробування.

Серед 550 перекладених на українську мову стандартів ІЕС звернімо увагу на нечисленну групу з шести перекладів.

1. ДСТУ ІЕС 60050-161: Словник електротехнічних термінів. Глава 161. Електромагнітна сумісність (368,64)

2. ДСТУ ІЕС 60050-212: Електротехнічний словник термінів. Частина 212. Ізоляційні тверді тіла, рідини та гази (Документ ще не виданий)

3. ДСТУ ІЕС 60050-300-312: Електротехнічний словник термінів. Електричні та електронні вимірювання і засоби вимірювальної техніки. Частина 312. Загальні терміни щодо електричного вимірювання (161,28)

4. ДСТУ ІЕС 60050-300-313: Електротехнічний словник термінів. Електричні та електронні вимірювання і засоби вимірювальної техніки. Частина 313. Типи електричних засобів вимірювальної техніки (161,28)

5. ДСТУ ІЕС 60050-551: Електротехнічний словник термінів. Частина 551. Силова електроніка (668,16)

6. ДСТУ ІЕС 60050-604: Словник електротехнічних термінів. Глава 604. Виробляння, передавання та розподіляння електричної енергії. Експлуатація електроустановок (345,60)

Ми даємо перелік, але не наводимо посилання на ці джерела, тому що не мали можливості їх придбати – їх розповсюджує певна комерційна структура [26], ціни у гривнях зазначені у дужках. Здається, це несправедливо – англломовні оригінали, над якими багато років працювали висококласні фахівці, можна отримати безкоштовно, а переклади на державну мову – за чималі гроші. До того ж навряд чи є багато замовлень на придбання цих стандартів, а якщо і є, то дуже сумнівно, що автори перекладів мають з цього будь-який зиск.

Аналізуючи лише назви цих стандартів, можна зробити висновок, що переклади здійснювалися без жодної координації, інакше як пояснити, чому Міжнародний електротехнічний словник (International Electrotechnical Vocabulary – IEV) в одних стандартах називається Словником електротехнічних термінів, а у інших – Електротехнічним словником термінів, чому автори перекладів ігнорували слово «Міжнародний» («International») у назвах, чому деякі частини (parts) IEV називаються частинами, а інші – главами, чому автори перекладів частин 312 та 313 свавільно змінили номери та назви цих частин, чому «Виробляння, передавання та розподіляння...», а не «Виробництво, передача й розподіл...» нарешті, за яким принципом здійснювався відбір саме цих частин Міжнародного електротехнічного словника з наявних 81?

Вище ми вже згадували польський досвід застосування міжнародних стандартів, який на наш погляд є дуже ефективним та не потребує значних витрат. Запозичуючи цей досвід, все ж таки слід враховувати, що Польща завжди була значно ближчою до світового контексту ніж Радянський Союз, а процес запровадження міжнародної електротехнічної термінології розпочався багато десятиліть тому – ще у шістдесяті роки минулого століття. Як вже зазначалося, абсолютно усі терміни з міжнародного електротехнічного словника були перекладені на польську мову і ці переклади в ІЕС були визнані як офіційні. Міжнародна електротехнічна термінологія вже багато років тому була запущена у науковий, технічний та дидактичний обіг – у цьому автор мав змогу особисто пересвідчитися ще у 1975 році, коли почав спілкуватися з польськими фахівцями. Ми ж і досі перебуваємо під потужним впливом термінологічних особливостей, сформованих ще за радянських часів. Європейський вектор розвитку України потребує подолання цього впливу – інакше перейти на міжнародні стандарти ми не спроможемося. До того ж, нам конче потрібно перекласти не тільки

терміни, а й визначення, тобто перекласти повністю Міжнародний електротехнічний словник. Ця дуже складна робота, до якої треба залучити авторитетних фахівців-ентузіастів, повинна здійснюватися під егідою певного органу, який має забезпечувати технічну та лінгвістичну координацію перекладів. Таким координуючим органом може бути, наприклад, Технічний комітет ТК19 «Науково-технічна термінологія» або певна структура Національної академії наук України.

Список літератури: 1. Electropedia. Web: electropedia.org. 2. ISO 1087-1. Terminology work – Vocabulary – Part 1: Theory and application. – 52 p. 3. ISO/IEC Directives. Supplement – Procedures specific to IEC: Second edition, 2004. – 62 p. 4. ГОСТ 19880-74. Электротехника. Основные понятия. Термины и определения. – 32 с. 5. ГОСТ 1494-77. Электротехника. Буквенные обозначения основных величин. – 20 с. 6. ГОСТ 14312-79. Контакты электрические. Термины и определения. – 7 с. 7. ГОСТ 18311-80. Изделия электротехнические. Термины и определения основных понятий. – 23 с. 8. ГОСТ 17703-81. Аппараты коммутационные низковольтные. Термины и определения. – 79 с. 9. ГОСТ 16022-83. Реле электрические. Термины и определения. – 37 с. 10. ГОСТ 19431-85. Энергетика и электрификация. Термины и определения. – 12 с. 11. ГОСТ Р 50030.1-2007. Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 1. Общие требования и методы испытаний. – 143 с. 12. IEC 60947-1: Fourth edition 2004-03. Low-voltage switchgear and controlgear – Part 1: General rules. – 184 p. 13. ГОСТ Р МЭК 61140-2000. Защита от поражения электрическим током. Общие положения по безопасности, обеспечиваемой электрооборудованием и электроустановками в их взаимосвязи. – 32 с. 14. IEC 61140. Protection against electric shock. Common aspects for installation and equipment. – 92 p. 15. IEC 60694: Ed. 2.2, 2002-01. Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards. – 224 p. 16. Международная электротехническая комиссия. Устав и Правила процедуры (редакция 2001 года, включающая поправки, одобренные Советом, от 2004-01-02, 2005-01-07, 2005-09-02, 2006-06-23, 2008-01-18, 2009-02-13 и 2011-07-01). Web: www.iec.ch. 17. ДСТУ 2815-94. Електричні й магнітні кола та пристрої. Терміни та визначення. – 105 с. 18. ДСТУ ІЕС 60240-3. Системи гарантованого електропостачання. Агрегати безперебійного живлення. Загальні технічні вимоги. Методи випробування. – 71 с. 19. ДСТУ ІЕС 60439-1. Устаткування комплектних розподільчих пристроїв низьковольтне. Частина 1. Устаткування, що пройшло випробовування типу повністю чи частково. – 84 с. 20. ДСТУ ІЕС 60947-1. Пристрої комплектні розподільчі низьковольтні. Частина 1. Загальні правила. – 248 с. 21. ГОСТ 687-78. Выключатели переменного тока на напряжение свыше 1000 В. Общие технические условия. – 99 с. 22. ГОСТ Р 52002-2003. Электротехника. Термины и определения основных понятий. – 27 с. 23. ДСТУ 2843-94. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення. – 68 с. 24. IEC TS 60479-1. Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects. – 126 p. 25. Постанова КМ України. Web: zakon4.rada.gov.ua. 26. Web: lindex.net.ua

Bibliography (transliterated): 1. Electropedia. Web: electropedia.org. 2. ISO 1087-1. Terminology work – Vocabulary – Part 1: Theory and application. 52 p. Print. 3. ISO/IEC Directives. Supplement – Procedures specific to IEC: Second edition. 2004. 62 p. Print. 4. GOST 19880-74. Elektrotehnika. Osnovnye ponyatiya. Terminy i opredeleniya. Moscow. 32 p. Print. 5. GOST 1494-77. Elektrotehnika. Bukvennye oboznacheniya osnovnykh velichin. Moscow. 20 p. Print. 6. GOST 14312-79. Kontakty elektricheskije. Terminy i opredeleniya. Moscow. 7 p. Print. 7. GOST 18311-80. Izdeliya elektrotehnicheskije. Terminy i

определения основных понятий. Moscow. 23 p. Print. **8.** GOST 17703-81. Apparaty kommutacionnye nizkovol'nyye. Terminy i opredelenija. Moscow. 79 p. Print. **9.** GOST 16022-83. Rele elektricheskie. Terminy i opredelenija. Moscow. 37 p. Print. **10.** GOST 19431-85. Jenergetika i jelektrifikacija. Terminy i opredelenija. Moscow. 12 p. Print. **11.** GOST R 50030.1-2007. Apparatura raspredelenija i upravlenija nizkovol'nojaja. Chast' 1. Obshhie trebovanija i metody ispytanj. Moscow. 143 p. Print. **12.** IEC 60947-1: Fourth edition 2004-03. Low-voltage switchgear and controlgear – Part 1: General rules. 184 p. Print. **13.** GOST R MEK 61140-2000. Zashhita ot porazhenija elektricheskim tokom. Obshhie polozenija po bezopasnosti, obespechivaemoj elektrooborudovaniem i jelectroustanovkami v ih vzaimosvjazi. Moscow. 32 p. Print. **14.** IEC 61140. Protection against electric shock. Common aspects for installation and equipment. 92 p. Print. **15.** IEC 60694: Ed. 2.2, 2002-01. Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards. 224 p. Print. **16.** Mezhdunarodnaja elektrotehnicheskaja komissija. Ustav i Pravila procedury (redakcija 2001 goda, vkluchajushhaja popravki, odobrennye Sovetom, ot 2004-01-02, 2005-01-07, 2005-09-02, 2006-06-23, 2008-01-18, 2009-02-13 i 2011-07-01). Web. <<http://www.iec.ch>>. **17.** DSTU 2815-94. Elektrichni y mahnitni kola ta prystroji. Terminy ta vyznachennja. Kyiv: Derzhstandart Ukraïny. 105 p. Print. **18.** DSTU IEC 60240-3. Systemy harantovanoho elektropostachannja. Ahrehaty bezperebijnogo zhyvlennja. Zahal'ni tehničnii vymohy. Metody vyprobuvannja. Kyiv: Derzhstandart Ukraïny. 71 p. Print. **19.** DSTU IEC 60439-1. Ustatkovannja kompleknykh rozpodil'nykh prystrojiv nyz'kovol'ne. Chastyna 1. Ustatkovannja, shcho proyshlo vyprobuvannja typu povnistju chy chastkovo. Kyiv: Derzhstandart Ukraïny. 84 p. Print. **20.** DSTU IEC 60947-1. Prystroji komplektni rozpodil'chi nyz'kovol'ni. Chastyna 1. Zahal'ni pravyla. Kyiv: Derzhstandart Ukraïny. 248 p. Print. **21.** GOST 687-78. Vyklyuchatel' peremennogo toka na naprjazhenie svyshe 1000 V. Obshhie tehničeskije uslovija. Moscow. 99 p. Print. **22.** GOST R 52002-2003. Elektrotehnika. Terminy i opredelenija osnovnyh ponjatij. Moscow. 27 p. Print. **23.** DSTU 2843-94. Elektrotehnika. Osnovni ponyattja. Terminy ta vyznachennja. Kyiv: Derzhstandart Ukraïny. 68 p. Print. **24.** IEC TS 60479-1. Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects. 126 p. Print. **25.** Postanova KM Ukrainy. Web. <<http://zakon4.rada.gov.ua>>. **26.** Lindex. Web. <<http://lindex.net.ua>>.

Надійшла (received) 09.10.2014



Клименко Борис Володимирович, професор, доктор технічних наук. Захистив диплом інженера-електромеханіка за спеціальністю "Електричні машини та апарати" у 1964 р., дисертації кандидата та доктора технічних наук в Харківському політехнічному інституті за спеціальністю "Електричні машини та апарати" відповідно у 1971 та 1994 рр. Завідувач кафедри "Електричні апарати" Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" з 1995 р. Наукові інтереси пов'язані з електромагнітними системами електричних апаратів (нейтральні та форсовані електромагніти, моностабільні та бістабільні поляризовані електромагніти на базі високо-корецитувних постійних магнітів), з вакуумними комутаційними апаратами середніх напруг, а також з питаннями міжнародної електротехнічної термінології. Автор підручника "Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс", багатьох наукових статей, патентів та двох термінологічних посібників. Головний редактор журналу "Електротехніка і електромеханіка".

РЕФЕРАТИ

УДК 621.3.04: 621.316

Мультифізична модель розрахунку граничного току зварювання контактів вакуумного вимикача / С.І.Байда // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 3-9. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-3944.

Розглянуто мультифізичну модель зміни площі контакту навантажених тіл у функції температури контактної поверхні. Описано математичну постановку задачі й наведено приклад розрахунку та наведено приклад розрахунку граничного струму зварювання. Розроблена модель базується на комплексних розрахунках теорії пружності і теплопередачі. Показана залежність контактних тисків розмірів контактної площадки у функції температури. Встановлено, що значення температури контактної площадки істотно залежить від температури віддалених точок при протіканні аварійних надструмів. Розроблена методика може застосовуватися для оцінки і розрахунку термічної стійкості електричних апаратів.

Ключові слова: вакуумний вимикач, струм зварювання, поверхня контакту.

УДК 621.797: 621.664

До питання про підвищення ефективності роботи шунтуючих реакторів великої потужності / Л.Б. Жорняк, В.І. Осинська, А.С. Пальцун // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 10-15. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-3944.

Досліджено шляхи підвищення якості напруги в мережах енергоємних споживачів електроенергії. Наявність в електромережах реактивної потужності значно знижує якість споживаної електроенергії, що призводить до втрат потужності, осіданням і перепадам напруги в лінях електропередач, змушеному завищенню потужності силових трансформаторів і перетину кабелів у цих мережах. Запропоновано технічне рішення для зниження додаткових втрат шунтуючих реакторів великої потужності, та проведений аналіз впливу різних типів намотувального дроту на такі втрати.

Ключові слова: шунтуючий реактор, активні та додаткові втрати, трансформований та розділений намотувальний дріт, реактивна потужність, економічність.

УДК 621.3

Методика комп'ютерного моделювання методом скінчених елементів розподілу електромагнітного поля індукційної кухонної плити // М.Г. Пантелєв, Ю.В. Гуренцов // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 16-24. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-3944.

В статті запропонована методика чисельного аналізу розподілу електромагнітного поля побутової індукційної плити. Математична модель електромагнітних процесів в конструкціях, що розглядаються, представляє собою підсистему рівнянь Максвелла в диференційній формі без урахування струмів зсуву. Розрахунок електромагнітного поля виконується у двовимірній постановці методом скінчених елементів з використанням векторного магнітного потенціалу. У загальному випадку, враховуються магнітні властивості феромагнітних матеріалів магнітопроводу індукційної плити та посуду, що нагрівається. Чисельні дослідження планується виконувати з використанням пакета програм EleFAnT2D, розробленого в Інституті основ та теорії електротехніки Технічного університету м. Грац, Австрія.

Ключові слова: індукційна кухонна плита, електромагнітне поле, комп'ютерне моделювання, метод скінчених елементів.

УДК 621.316

До питання класифікації реле напруги для захисту побутових однофазних споживачів від неприпустимих відхилень напруги в мережі живлення / О.О. Чепелюк // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 25-36. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-3944.

Приведена класифікація реле напруги для захисту побутових однофазних споживачів електричної енергії від недопустимих відхилень напруги в мережі живлення. Виділено основні ознаки класифікації реле напруги: призначення, конструктивне виконання, номінальна потужність і номінальний струм реле, спосіб технічної реалізації, вид вихідного комутуючого елемента, пороги спрацьовування по напрузі, час затримки повторного включення, сигналізація стану реле, наявність внутрішніх захистів, наявність додаткових функцій і інші ознаки. Проведена класифікація систематизує інформацію щодо конструктивних, технічних і функціональних особливостей таких реле, а також демонструє сучасний рівень технічного розвитку цих реле.

Ключові слова: реле контролю напруги, побутове електричне обладнання, захист від перенапруг та провалів напруги.

УДК 621.313.001.4

Вибір раціональної кількості джерел потужності системи взаємного навантаження тягових електромашин / А.М. Афанасов // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 37-43. – Бібліогр.: 3 назв. – ISSN 2079-3944.

Розглянуто питання вибору раціональних варіантів схем взаємного навантаження тягових електромашин для проведення їх приймально-здавальних випробувань. Обґрунтовано, що розбіжність магнітних характеристик випробовуваних шляхом взаємного навантажування тягових електромашин на стенді з двома джерелами живлення вимагає істотного запасу сумарною наведеною потужності цих джерел. Показано, що з точки зору мінімуму сумааруммарной приведенной мощности источников питания испытательного стенда наиболее рациональными являются схемы взаимного нагружения с одним источником.

Ключові слова: тягова електромашина, випробування, взаємне навантаження, джерела живлення, потужність, втрати потужності.

УДК 621.313

Вплив дисбалансу ротора на електромагнітний момент вентильного реактивного двигуна / А.В. Калініченко // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 44-54. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-3944.

Запропоновано метод моделювання електромагнітного моменту вентильного реактивного двигуна (ВРД), враховуючи нерівномірність повітряного проміжку, яка обумовлена дисбалансом ротора. Проведено моделювання кривих фазного струму та електромагнітного моменту ВРД як при збалансованому роторі, так і при наявності дисбалансу. Зроблено висновки про вплив величини відхилення ротора від збалансованого стану та типу дисбалансу на параметри кривої електромагнітного моменту.

Ключові слова: вентильний реактивний двигун, дисбаланс ротора, електромагнітний момент.

УДК 621.255.2001.24

Оцінка характеристик електропривода дросельний пристрій / Г.В. Кулінченко, П.В. Леоніг'єв, А.Г. Коробов, Д.С. Свинаренко // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 55-63. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2079-3944.

Проводиться оцінка характеристик модуля, що забезпечує керування режимами дроселювання природного газу. На математичної моделі модуля керування дросельною заслінкою на базі асинхронного двигуна проаналізовані перехідні процеси переміщення дросельної заслінки, що дозволяє сформулювати вимоги до параметрів системи електроприводу з урахуванням експлуатаційних характеристик досліджуваного об'єкта.

Ключові слова: запірна арматура, асинхронний двигун, обертальний момент, точність позиціонування.

УДК 621.315.2

До визначення розподілу температури в високовольтних силових кабелях з пластмасовою ізоляцією / Л.А. Щепенюк, Т.Ю. Антоненко // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 64–70. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-3944.

Робота спрямована на створення методу розрахунку допустимого струму кабелів високої напруги з вулканізованою поліетиленовою ізоляцією. Запропоновано і експериментально перевірено модель, що враховує наявність елементів конструкції кабелю з різним питомим тепловим опором, у тому числі за наявності водоблокуючих стрічок. Виконано аналіз розподілу температури в ізоляції і захисних покриттях високовольтних силових кабелів із зшитю поліетиленовою ізоляцією на номінальну напругу 64/110 кВ. Розглянутий метод може бути застосованим тільки для одиночного ізольованого кабелю чи лінії.

Ключові слова: високовольтний силовий кабель, зшита поліетиленова ізоляція, температура ізоляції, водоблокуючі стрічки.

УДК 621.311

Автоматизована система телеуправління енергооб'єктом при низькій якості електроенергії / О.Г. Гриб, М.С. Бєлов, Д.А. Гапон, Т.С. Ієрусалімова, О.В. Лелека // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 71-77. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-3944.

У розвитку науки і техніки, створенні новітніх технологій, підвищенню енергетичної безпеки України, і підвищенні точності передачі параметрів електричної енергії (ЕЕ) основну роль грає забезпечення телемеханізації енергетичних об'єктів (ЕО). Енергетична безпека України – це одне з важливих питань незалежності держави. Однією з істотних складових цієї проблеми є повна телемеханізація ЕО України. Завдяки каналам зв'язку і протоколам телемеханіки забезпечується автоматична передача параметрів ЕЕ телевимірювань (ТІ), стану положення комутуючого устаткування (ТС) в межах внутрішніх енергетичних систем, об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України, а також на межі балансової належності з державами, з якими Україна має загальні електричні мережі: (Російська Федерація, республіка Білорусь, Республіка Молдова, Угорщина, Польща, Румунія, Словаччина) – найважливіший фактор її незалежності [1, 2].

Ключові слова: телемеханіка, електроенергія, енергооб'єкт, підстанція, вимірювання, якість.

УДК 621.311

Робота засобів захисту від перенапруги в енергосистемах при наявності вищих гармонік / О.Г. Гриб, С.Ю. Шевченко, Д.А. Гапон, Т.С. Ієрусалімова, Р.В. Жданов // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 78-86. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2079-3944.

Обмежувачі перенапруг ОПН є засобами захисту і використовуються на високовольтних підстанціях. Ці апарати є основним захистом обладнання підстанції від перенапруг. Вихід з ладу ОПН призводить до важких аварій з втратою харчування на підстанціях. Одним з основних показників ОПН є його пропускну здатність. Нормальна робота обмежувачів перенапруги визначається його здатністю поглинати теплову енергію в певних діапазонах. Пропускна здатність обмежувачів перенапруги визначають за їх можливості витримувати вплив імпульсів струму без втрат робочих якостей.

Ключові слова: обмежувач, перенапруження, якість, електроенергія, напруга, гармоніки, пропускну здатність.

УДК 620.179.14

Аналіз спектрів напруго на вимірювальній обмотці трансформаторного вихрострумowego перетворювача / І.О. Костюков // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Харків: НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 87-91. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-3944.

Проведено спектральний аналіз сигналів вимірювальної обмотки трансформаторного електромагнітного перетворювача при наявності паразитних перешкод у схемі вимірювання. Виділено основні компоненти паразитних шумів, що роблять вплив на точність вимірювання корисного сигналу. До таких компонентів тут відноситься флікер-компонента, білий шум, а також паразитна наводка. Результати роботи дозволяють підвищити точність вимірювань сигналів електромагнітними, в тому числі вихрострумowymi перетворювачами.

Ключові слова: перетворення Фур'є, трансформаторний електромагнітний перетворювач, шум, частота Найквіста.

УДК 621.318

Стандарти ДСТУ ІЕС: Хата без фундамента ... / Б.В. Клименко // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Харків: НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 92-125. – Бібліогр.: 26 назв. – ISSN 2079-3944.

Проведено порівняння організаційних та методологічних підходів до створення стандартів Міжнародної електротехнічної комісії (ІЕС) та національних стандартів ДСТУ ІЕС. Запропоновано розпочати системну роботу з перекладу Міжнародного електротехнічного словника (ІЕВ) під егідою Технічного комітету ТК19 «Науково-технічна термінологія» замість запозиченої хибної, на погляд автора, практики видання перекладів стандартів ІЕС у вигляді стандартів ДСТУ ІЕС, а застосовувати їх в оригіналі, як це прийнято у країнах східної Європи.

Ключові слова: стандарти, ІЕС, Міжнародний електротехнічний словник, ІЕВ, ДСТУ ІЕС.

РЕФЕРАТЫ

УДК 621.3.04: 621.316

Мультифизическая модель расчета граничного тока сваривания контактов вакуумного выключателя / Е.И.Байда // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 3-9. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-3944.

Рассмотрена мультифизическая модель изменения площади контакта нагруженных тел в функции температуры контактной поверхности. Описана математическая постановка задачи и приведен пример расчета граничного тока сваривания. Разработанная модель базируется на комплексных расчетах теории упругости и теплопередачи. Показана зависимость контактных давлений размеров контактной площадки в функции температуры. Установлено, что значение температуры контактной площадки существенно зависит от температуры удаленных точек при протекании аварийных сверхтоков. Разработанная методика может применяться для оценки и расчета термической стойкости электрических аппаратов.

Ключевые слова: вакуумный выключатель, ток сваривания, площадь контакта.

УДК 621.797: 621.664

К вопросу о повышении эффективности работы шунтирующих реакторов большой мощности / Л.Б. Жорняк, В.И. Осинская, А.С. Пальцун // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Харків : НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 10-15. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-3944.

Исследованы пути повышения качества напряжения в сетях энергоемких потребителей электроэнергии. Наличие в электросетях реактивной мощности значительно снижает качество потребляемой электроэнергии, что приводит к потерям мощности, просадкам и перепадам напряжения в линиях электропередач, вынужденному завышению мощности силовых трансформаторов и сечения кабелей в этих сетях. Предложено техническое решение для снижения добавочных потерь шунтирующих реакторов большой мощности и проведен анализ влияния различных типов обмоточного провода на эти потери.

Ключевые слова: шунтирующий реактор, активные и добавочные потери, транспонированный и подразделенный обмоточный провод, реактивная мощность, экономичность.

УДК 621.3

Методика компьютерного моделирования методом конечных элементов распределения электромагнитного поля индукционной кухонной плиты // М.Г. Пантелят, Ю.В. Гуленцов // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 16-24. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-3944.

В статье предложена методика численного анализа распределения электромагнитного поля бытовой индукционной кухонной плиты. Математическая модель электромагнитных процессов в рассматриваемых конструкциях представляет собой подсистему уравнений Максвелла в дифференциальной форме без учета токов смещения. Расчет электромагнитного поля выполняется в двухмерной постановке методом конечных элементов с использованием векторного магнитного потенциала. В общем случае, учитываются магнитные свойства ферромагнитных материалов магнитопровода индукционной плиты и нагреваемой посуды. Численные исследования предполагается выполнять с использованием пакета программ EleFAnT2D, разработанного в Институте основ и теории электротехники Технического университета г. Грац, Австрия.

Ключевые слова: индукционная кухонная плита, электромагнитное поле, компьютерное моделирование, метод конечных элементов.

УДК 621.316

К вопросу классификации реле напряжения для защиты бытовых однофазных потребителей от недопустимых отклонений напряжения в питающей сети / Чепелюк А.А. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 25-36. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-3944.

Приведена классификация реле напряжения для защиты бытовых однофазных потребителей электрической энергии от недопустимых отклонений напряжения в питающей сети. Выделены основные признаки классификации реле напряжения: назначение, конструктивное исполнение, номинальная мощность и номинальный ток реле, способ технической реализации, вид выходного коммутирующего элемента, пороги срабатывания по напряжению, время задержки повторного включения, сигнализация состояния реле, наличие внутренних защит, наличие дополнительных функций и другие признаки. Проведенная классификация систематизирует информацию относительно конструктивных, технических и функциональных особенностей таких реле, а также демонстрирует современный уровень технического развития этих реле.

Ключевые слова: реле контроля напряжения, бытовое электрическое оборудование, защита от перенапряжения и провалов напряжения.

УДК 621.313.001.4

Выбор рационального количества источников мощности системы взаимного нагружения тяговых электромашин / А.М. Афанасов // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 37-43. – Бібліогр.: 3 назв. – ISSN 2079-3944.

Рассмотрены вопросы выбора рациональных вариантов схем взаимного нагружения тяговых электромашин для проведения их приемо-сдаточных испытаний. Обосновано, что расхождение магнитных характеристик испытуемых путем взаимного нагружения тяговых электромашин на стенде с двумя источниками питания требует существенного запаса суммарной приведенной мощности этих источников. Показано, что с точки зрения минимума суммарной приведенной мощности источников питания испытательного стенда наиболее рациональными являются схемы взаимного нагружения с одним источником.

Ключевые слова: тяговая электромашина, испытание, взаимное нагружение, источники питания, мощность, потери мощности.

УДК 621.313

Влияние дисбаланса ротора на электромагнитный момент вентильного реактивного двигателя / А.В. Калинин // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 44-54. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-3944.

Предложено метод моделирования электромагнитного момента вентильного реактивного двигателя (ВРД), учитывая неравномерность воздушного зазора, обусловленного дисбалансом ротора. Проведено моделирование кривых фазного тока и электромагнитного момента ВРД как при сбалансированном роторе, так и при наличии дисбаланса. Сделаны выводы о влиянии отклонения ротора от сбалансированного состояния и типа дисбаланса на параметры кривой электромагнитного момента.

Ключевые слова: вентильный реактивный двигатель, дисбаланс ротора, электромагнитный момент.

УДК 621.255.2001.24

Оценка характеристик электропривода дроссельного устройства / Г.В. Кулиниченко, П.В. Леонтьев, А.Г. Коробов, Д.С. Свиначенко // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 55-63. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2079-3944.

Производится оценка характеристик модуля, обеспечивающего управление режимами дросселирования природного газа. На математической модели модуля управления дроссельной заслонкой на базе асинхронного двигателя проанализированы переходные процессы перемещения дросселирующей заслонки, что позволяет сформулировать требования к параметрам системы электропривода с учетом эксплуатационных характеристик исследуемого объекта.

Ключевые слова: запорная арматура, асинхронный двигатель, крутящий момент, точность позиционирования.

УДК 621.315.2

К определению распределения температуры в высоковольтных силовых кабелях с пластмассовой изоляцией / Л.А. Щепенюк, Т.Ю. Антоненц // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 64-70. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-3944.

Работа направлена на создание метода расчета допустимого тока кабелей высокого напряжения с вулканизированной полиэтиленовой изоляцией. Предложена и экспериментально проверена модель, учитывающая наличие элементов конструкции кабеля с разным удельным тепловым сопротивлением, в том числе при наличии водоблокирующих лент. Выполнен анализ распределения температуры в изоляции и защитных покровах высоковольтных силовых кабелей со сшитой полиэтиленовой изоляцией на номинальное напряжение 64/110 кВ. Рассмотренный метод может быть применен только для одиночного изолированного кабеля или линии.

Ключевые слова: высоковольтный силовой кабель, сшитая полиэтиленовая изоляция, температура изоляции, водоблокирующая лента.

УДК 621.311

Автоматизированная система телеуправления энергообъектом при низком качестве электроэнергии / О.Г. Гриб, Н.С. Белов, Д.А. Гапон, Т.С. Иерусалимова, А.В. Лелека // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 71-77. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-3944.

В развитии науки и техники, создании новейших технологий, повышению энергетической безопасности Украины, и повышении точности передачи параметров электрической энергии (ЭЭ) основную роль играет обеспечение телемеханизации энергетических объектов (ЭО). Энергетическая безопасность Украины – это один из важных вопросов независимости государства. Одной из существенных составляющих этой проблемы является полная телемеханизация ЭО Украины. Благодаря каналам связи и протоколам телемеханики обеспечивается автоматическая передача параметров ЭЭ телеизмерений (ТИ), состояния положения коммутирующего оборудования (ТС) в пределах внутренних энергетических систем, объединенной энергетической системе (ОЭС) Украины, а также на границе балансовой принадлежности с государствами, с которыми Украина имеет общие электрические сети: (Российская Федерация, республика Беларусь, Республика Молдова, Венгрия, Польша, Румыния, Словакия) – важнейший фактор ее независимости [1, 2].

Ключевые слова: Телемеханика, электроэнергия, энергообъект, подстанция, измерения, качество.

УДК 621.311

Работа средств защиты от перенапряжения в энергосистемах при наличии высших гармоник / О.Г. Гриб, С.Ю. Шевченко, Д.А. Гапон, Т.С. Иерусалимова, Р.В. Жданов // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Х.: НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 78-86. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2079-3944.

Ограничители перенапряжений ОПН являются средствами защиты и используются на высоковольтных подстанциях. Эти аппараты являются основной защитой оборудования подстанции от перенапряжений. Выход из строя ОПН приводит к тяжелым авариям с потерей питания на подстанциях. Одним из основных показателей ОПН является его пропускная способность. Нормальная работа ограничителей перенапряжения определяется его способностью поглощать тепловую энергию в определенных диапазонах. Пропускную способность ограничителей перенапряжения определяют по их возможности выдерживать влияние импульсов тока без потерь рабочих качеств.

Ключевые слова: Ограничитель, перенапряжение, качество, электроэнергия, напряжение, гармоники, пропускная способность.

УДК 620.179.14

Анализ спектров напряжения на измерительной обмотке трансформаторного вихретокового преобразователя / И.А. Костюков // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Харків: НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 87-91. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-3944.

Проведен спектральный анализ сигналов измерительной обмотки трансформаторного электромагнитного преобразователя при наличии паразитных помех в схеме измерения. Выделены основные компоненты паразитных шумов, оказывающие влияние на точность измерения полезного сигнала. К таким компонентам здесь относится фликкер-компонента, белый шум, а также паразитная наводка. Результаты работы позволяют повысить точность измерений сигналов электромагнитными, в том числе вихретоковыми преобразователями.

Ключевые слова: преобразование Фурье, трансформаторный электромагнитный преобразователь, шум, частота Найквиста.

УДК 621.318

Стандарты ДСТУ ІЕС: Дом без фундамента ... / Б.В. Клименко // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Харків: НТУ "ХПІ", 2014. – № 41 (1084). – С. 92-125. – Бібліогр.: 26 назв. – ISSN 2079-3944.

Проведено сравнение организационных и методологических подходов к созданию стандартов Международной электротехнической комиссии (МЭК) и национальных стандартов ДСТУ ІЕС. Предложено начать системную работу по переводу Международного электротехнического словаря (IEV) под эгидой Технического комитета ТК19 "Научно-техническая терминология" вместо заимствованной ошибочной, по мнению автора, практики издания в виде стандартов ДСТУ ІЕС переводов международных стандартов, а применять их в оригинале, как это принято в странах восточной Европы.

Ключевые слова: стандарты, ІЕС, Международный электротехнический словарь, ІЕВ, ДСТУ ІЕС

ABSTRACTS

Multiphysical model calculation of boundary current welding contact vacuum circuit breakers / E.I. Baida // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems and Improvement elektricheski machines and aids. Theory and Practice. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014. – № 41 (1084). – P. 3-9. – Bibliogr.: 7. – ISSN 2079-3944.

A multiphysical model of alteration of the strength bodies' contact area as a function of the contact surface temperature is considered. Mathematical formulation of the problem is described, an example of the welding sustaining current is presented. The developed model is based on the complex calculation by the theory of elasticity and thermal conductivity. A dependence of contact pressures and contact area dimensions as a function of temperature is shown. It is determined that the contact area temperature depends essentially on the temperature of distant points at emergency over-currents. The developed technique can be used to assess and calculate the electrical apparatus thermal resistance.

Key words: the vacuum circuit breaker, welding current, the contact area.

About the operation efficiency increase of high-power shunt reactors / L.B. Zhorniak, V.I. Osinskaia, A.S. Paltsun // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection. The Theory and Practice. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014. – № 41 (1084). – P. 10-15. – Bibliogr.: 7. – ISSN 2079-3944.

Ways to increase the voltage quality in energy-intensive customers' networks are investigated. Presence of the reactive power in transmission networks decreases essentially quality of electric energy input that results in power losses, voltage subsidences and drops in power transmission lines, enforced increase of power transformers' power and cable sections in such networks. An engineering solution to decrease additional losses of a shunt reactor is proposed, analysis of different types of winding wire influence on this losses is carried out.

Key words: shunt reactor, Joule's & eddy-current losses, transposed & subdivided magnet wires, reactive power, economical operation.

Method of computer simulation by finite element method of electromagnetic field distribution of the induction cooker / M.G. Pantelyat, Ju.V. Gurentsov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems and Improvement elektricheski machines and aids. Theory and Practice. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014. – № 41 (1084). – P. 16-24. – Bibliogr.: 14. – ISSN 2079-3944.

In the paper a technique for the numerical analysis of the induction cooker electromagnetic field distribution is proposed. The mathematical model of electromagnetic processes in structures under consideration represents a sub-system of Maxwell equations in the differential form with displacement currents neglected. Electromagnetic field calculation is carried out in 2D formulation by the Finite Element Method using a magnetic vector potential. In the general case, magnetic properties of ferromagnetic materials of the induction cooker yoke and heated dishes are taken into account. It is intended to carry out numerical investigations by using EleFAnT2D code developed at the Institute for Fundamentals and Theory in Electrical Engineering, Graz University of Technology, Graz, Austria.

Key words: induction cooker, electromagnetic field, computer simulation, the Finite Element Method.

On the question of the classification of the voltage relay for the protection of domestic single-phase consumers from unacceptable voltage fluctuations in the mains / A.A. Chepelyuk // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems and Improvement elektrichesk machines and aids. Theory and Practice. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014. – № 41 (1084). – P. 25-36. – Bibliogr.: 12. – ISSN 2079-3944.

A classification of voltage-sensitive relays for protection of one-phase residential electrical customers against prohibitive voltage deviation in the supply main is presented. Main indications of voltage-sensitive relays' classification are selected: purpose, design, relay's nominal capacity and design current, way of technical implementation, type of output commutation element, voltage operating levels, time delay of reclosing, signalization of the relay's state, presence of internal protections, presence of additional functions, etc. The presented classification ranges information regarding structural, technical and functional peculiarities of such relays as well as demonstrates state-of-the-art of them.

Key words: over under voltage relay, household electrical equipment, over-voltage and under-voltage protector.

The choice of a rational number of sources of power system load mutual traction electrical machines / A.M. Afanasov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems and Improvement elektrichesk machines and aids. Theory and Practice. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014. – № 41 (1084). – P. 37-43. – Bibliogr.: 3. – ISSN 2079-3944.

Problems of selection of rational variants of traction electric machines mutual loading schemes to carry out their acceptance test are considered. It is substantiated that discrepancy of magnetic characteristics of traction electric machines tested by mutual loading at the stand with two feed sources requires essential margin of total normalized power of this sources. It is shown that from the point of view of test stand feed sources total normalized power, mutual loading schemes with one source are the most rational.

Key words: traction electric machine, test, mutual loading, power supplies, power, power loss.

The influence of rotor imbalance on electromagnetic torque of switched reluctance motor / A.V. Kalinichenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems and Improvement elektrichesk machines and aids. Theory and Practice. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014. – № 41 (1084). – P. 44-54. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2079-3944.

There have been considered the basic types of rotor imbalance and the causes of its appearance. After have been analyzed of last investigations and the literatures it was inferred that there is a need to replace the investigated electrical machine by an equivalent with the air gap which is distributed along the machine evenly, and the value of the rotor imbalance has been proposed to replace by the average value of imbalance of elementary machines. The objective of this article is to investigate the effect of different types of rotor imbalance and the amount of displacement on change of the parameters of electromagnetic torque curves of switched reluctance motors (SRM). There has been proposed the method of modeling the electromagnetic torque of SRM which is considered as an uneven of the air gap through rotor imbalance. There has been proved that the asymmetry of the magnetic system through the rotor imbalance effect on the phase current curves. In this article has been modeled the phase current and electromagnetic torque curves of SRM with balanced and imbalanced rotor. The conclusions about the effect of the value of rotor deviation from balanced state, and the type of imbalance on the parameters of electromagnetic torque curve, have been made.

Key words: switched reluctance motor, rotor unbalance, the electromagnetic torque.

Evaluation of the actuator throttle device / G.V. Kulichenko, P.V. Leontiev, A.G. Korobov, D.S. Swinarenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems and Improvement elektricheskii machines and aids. Theory and Practice. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014. – № 41 (1084). – P. 55-63. – Bibliogr.: 8. – ISSN 2079-3944.

Performed to evaluate the performance of the module, providing mode control throttling of natural gas. On a mathematical model of the module throttle control based on an induction motor analyzed transients move throttling valve that allows us to formulate requirements to parameters of the drive system to the operational characteristics of the object.

Key words: valves, induction motor, torque, positioning accuracy.

The analysis of datas of temperature calculation of high-voltage cables with cross-linked polyethylene insulation / L.A. Scebenjuk, T.J. Antonec // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection. The Theory and Practice. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014. – № 41 (1084). – P. 64-70. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2079-3944.

World tendencies in the development of high voltage energy distribution systems for the last decades have been focused on implementing of cables with heat-resistant extruded insulation. This cables have a range of advantage consist of increased operating temperature of 90 °C. The analysis of datas of temperature calculation on power cables with cross-linked polyethylene (XLPE) insulation at for rated voltage of 64/ 110 kV AC. The work is devoted to creation of a method for calculation of the current rating of high-voltage cables. The temperature of insulation are calculated for the following conditions: conductor temperature 90 °C; ambient temperature 15 °C at in air.

Key words: high voltage energy of cable, cross-linked polyethylene (XLPE) insulation, temperature of insulation, water swelling tape.

Automated system for remote control of power facilities with a low quality of electricity / O. Gryb, N. Belov, D. Gapon, T. Ierusalimova, A. Leleka // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection. The Theory and Practice. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014. – № 41 (1084). – P. 71-77. – Bibliogr.: 5. – ISSN 2079-3944.

In the development of science and technology, development of novel technologies, increase of energy security of Ukraine and increase of precision of parameters of transmission of electrical energy, the telemechanization of energy objects plays the main role. The energy security of Ukraine is one of important problems of the independence of the country. One of essential components of its problem is full telemechanization of energy objects of Ukraine. By using communication channels and protocols of telemechanics, automatic transfer of parameters of electrical energy of telemetering, state of position of commutation equipment inside internal power systems, consolidated power system of Ukraine, as well as at the boundary of the balance belonging to state with which Ukraine has common power networks (Russian Federation, Republic of Belarus, Republic of Moldova, Hungary, Poland, Romania, Slovakia) are guaranteed – this is a main factor of its independence [1, 2].

Key words: telemetry, electricity, energy facility, substation, measurements, quality.

Bot protection surge in power in the presence of higher harmonics / Gryb O., Shevchenko S., Gapon D., Ierusalimova T., Zhdanov R. // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection. The Theory and Practice. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014. – № 41 (1084). – P. 78-86. – Bibliogr.: 8. – ISSN 2079-3944.

Overvoltage suppressors are protection devices used at high-voltage substations. These apparatus are main substation equipment protection against overvoltage. Overvoltage suppressor breakdown results in heavy accidents with power supply loss at substations. One of main overvoltage suppressor's characteristic is its capability. Overvoltage suppressor's normal operation is determined by its ability to absorb thermal energy in determined bands. Overvoltage suppressors' capacity is determined by their ability to stand current pulses influence without loss of operation characteristics.

Key words: speed limiter, overvoltage, quality, power, voltage, harmonics, bandwidth.

Spectral analysis of measured voltage on pick-up coil of eddy current sensor / I.O. Kostyukov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection. The Theory and Practice. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014. – № 41 (1084). – P. 87-91. – Bibliogr.: 7. – ISSN 2079-3944.

Spectral analysis of measured voltage on pick-up coil of eddy current sensor in case of noise presence in a signal is made. Main components of noise that influence the measured voltage are found. Here such components are: white noise component, flicker noise component and a component which appears because of induced by some source electromotive force. The influence of noise on measured signal should always be considered in case of small values of signal that is true for example during control of electromagnetic properties of spiral ferromagnetic wire.

Key words: fourier transform, noise, Nyquist frequency, eddy-current sensor.

DSTU IEC Standards: house without foundation ... / B.V. Klymenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection. The Theory and Practice. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014. – № 41 (1084). – P. 92-125. – Bibliogr.: 26. – ISSN 2079-3944.

A comparison of organizational and methodological approaches to the creation of the standards of the International Electrotechnical Commission (IEC) and national standards DSTU IEC. It is proposed to begin systematic work on the translation of the International Electrotechnical Vocabulary (IEV), under the auspices of the Technical Committee TC19 "Scientific and technical terminology" instead of false, according to the author's opinion borrowed the practice of issuing a DSTU standards IEC translations of international standards, and to apply them in the original, as it made in Eastern Europe.

Key words: standards, IEC, International Electrotechnical Vocabulary, IEV, DSTU IEC

ЗМІСТ

ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

БАЙДА Е.И.

Мультифизическая модель расчета граничного тока сваривания контактов вакуумного выключателя.....3

ЖОРНЯК Л.Б., ОСИНСКАЯ В.И., ПАЛЬЦУН А.С.

К вопросу о повышении эффективности работы шунтирующих реакторов большой мощности.....10

ПАНТЕЛЯТ М.Г., ГУРЕНЦОВ Ю.В.

Методика комп'ютерного моделювання методом скінчених елементів розподілу електромагнітного поля індукційної кухонної плити16

ЧЕПЕЛЮК А.А.

К вопросу классификации реле напряжения для защиты бытовых однофазных потребителей от недопустимых отклонений напряжения в питающей сети25

ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ

АФАНАСОВ А.М.

Выбор рационального количества источников мощности системы взаимного нагружения тяговых электромашин37

КАЛІНІЧЕНКО А.В.

Вплив дисбалансу ротора на електромагнітний момент вентильного реактивного двигуна44

КУЛИНЧЕНКО Г.В., ЛЕОНТЬЕВ П.В., КОРОБОВ А.Г., СВИНАРЕНКО Д.С.

Оценка характеристик электропривода дроссельного устройства.....55

СИЛЬНІ ЕЛЕКТРИЧНІ ТА МАГНІТНІ ПОЛЯ

ЩЕБЕНЮК Л.А., АНТОНЕЦЬ Т.Ю.

До визначення розподілу температури в високовольтних силових кабелях із пластмасовою ізоляцією.....64

ЕЛЕКТРИЧНІ СТАНЦІЇ І МЕРЕЖІ

ГРИБ О.Г., БЕЛОВ Н.С., ГАПОН Д.А., ИЕРУСАЛИМОВА Т.С., ЛЕЛЕКА А.В.

Автоматизированная система телеуправления энергообъектами при низком качестве электроэнергии71

**ГРИБ О.Г., ШЕВЧЕНКО С.Ю., ГАПОН Д.А., ИЕРУСАЛИМОВА Т.С.,
ЖДАНОВ Р.В.**

Работа средств защиты от перенапряжений в энергосистемах
при наличии высших гармоник78

ПРИСТРОЇ ТА МЕТОДИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

КОСТЮКОВ И.А.

Анализ спектров напряжения на измерительной обмотке
трансформаторного вихретокового преобразователя.....87

ІНФОРМАЦІЯ, ГІПОТЕЗИ, ДУМКИ

КЛИМЕНКО Б.В.

Стандарты ДСТУ ІЕС: хата без фундамента... ..92

РЕФЕРАТИ.....126

РЕФЕРАТЫ.....130

ABSTRACTS.....134

Наукове видання

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХПІ"**

Збірник наукових праць

Серія

**Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів.
Теорія і практика**

№ 41 (1084) 2014

Відповідальний редактор д.т.н., проф. *Б.В. Клименко*

Технічний редактор: *Н.В. Себякіна*

Відповідальний за випуск к.т.н. *І.Б. Обухова*

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ:

61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21. НТУ "ХПІ"

Кафедра "Електричні апарати". Тел. (057) 707-69-76

E-mail: varshamova_i@rambler.ru

Підп. до друку 17.10.2014 р. Формат 60×84 1/16. Папір офісний. Riso-друк.

Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 8,75. Наклад 300 прим., 1-й з-д 1-80.

Зам. № 100. Ціна договірна.

Видавець і виконавець
Видавничий центр НТУ "ХПІ",
вул. Фрунзе, 21, м. Харків-2, 61002

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3657 від 24.12.2009 р.