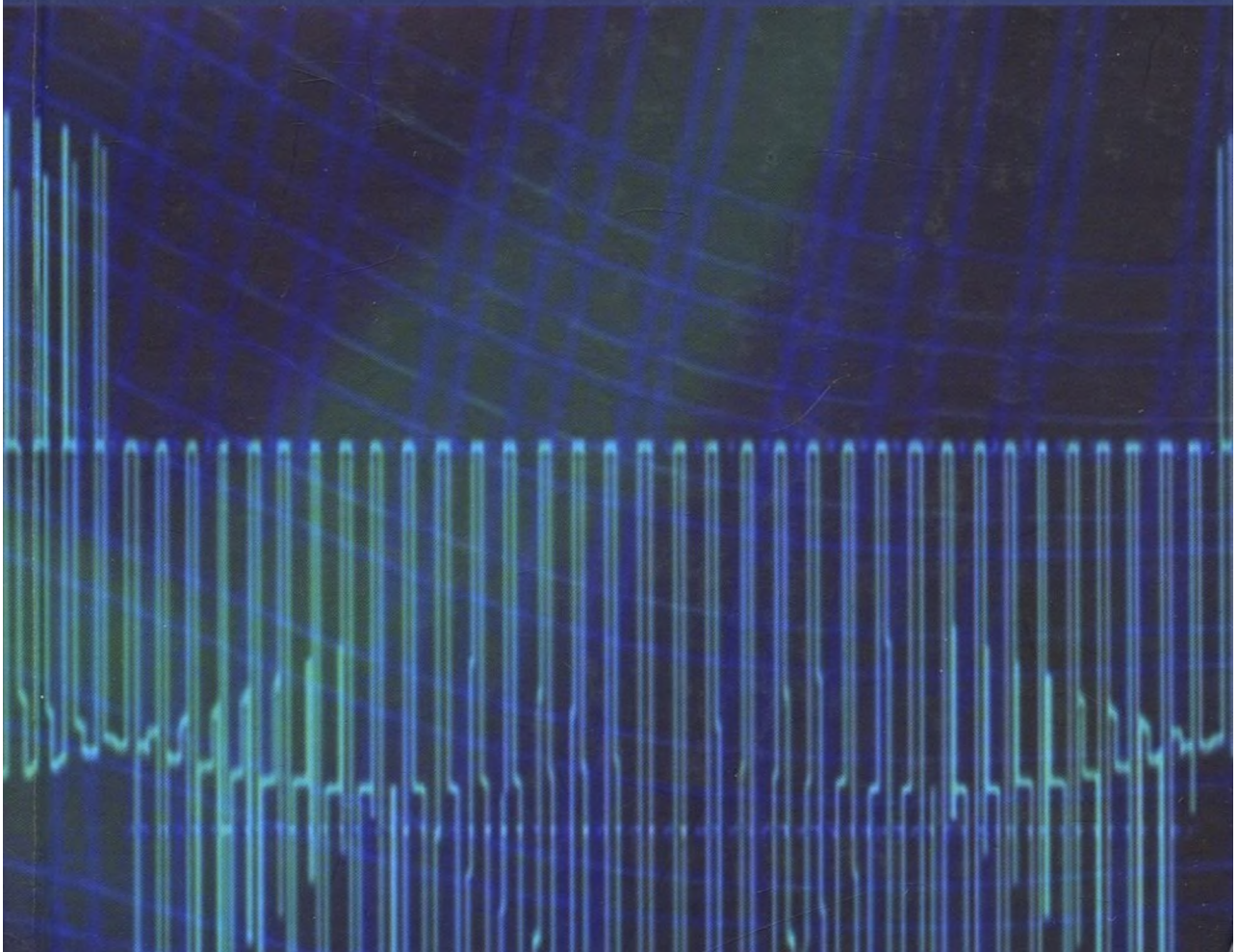


621.314.5
М 69

В.М. МИХАЛЬСЬКИЙ

**ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ВХОДІ І ВИХОДІ
ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ ТА
НАПРУГИ
З ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОЮ
МОДУЛЯЦІЄЮ**



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ

В. М. МИХАЛЬСЬКИЙ

**ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ВХОДІ І ВИХОДІ
ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ
ТА НАПРУГИ
З ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОЮ
МОДУЛЯЦІЄЮ**

Київ 2013

УДК 621.314.58
ББК 31.2

В. М. Михальський. Засоби підвищення якості електроенергії на вході і виході перетворювачів частоти та напруги з широтно-імпульсною модуляцією. – Київ, Інститут електродинаміки НАН України. 2013. – 340 с.
ISBN 978-966-02-6727-5

Р е ц е н з е н т и : Г. Г. Жемеров, доктор технічних наук, професор
К. О. Липківський, доктор технічних наук, професор

Друкується
за постановою
вченої ради Інституту електродинаміки НАН України
(Протокол № 11 від 25 жовтня 2012 року)

У монографії представлено результати досліджень засобів підвищення якості вихідної напруги і вхідного струму напівпровідникових перетворювачів частоти та напруги. Розроблено систему зв'язаних показників несинусоїдальності та обґрунтовано доцільність її застосування з урахуванням дискретного характеру формування напруг і струмів у перетворювачах з широтно-імпульсною модуляцією. Досліджено нові методи модуляції, що полягають у системному визначенні стаціонарних станів ключів перетворювачів, черговості та відносних тривалостей їх застосування при побудові модуляційних циклів для підвищення якості електроенергії на вході та виході цих перетворювачів. Запропоновано стратегію формування модуляційних функцій для керування автономними інверторами напруги та матричними перетворювачами, яка забезпечує покращення показників несинусоїдальності напруг та струмів у повному діапазоні регулювання вихідних параметрів. Представлено результати експериментальних досліджень та впровадження перетворювачів частоти та напруги.

Для фахівців, які займаються розробкою і дослідженням силових напівпровідникових перетворювачів електроенергії, аспірантів і студентів відповідних спеціальностей.

В монографии представлены результаты исследований средств повышения качества выходного напряжения и входного тока полупроводниковых преобразователей частоты и напряжения. Разработана система взвешенных показателей несинусоидальности и обоснована целесообразность ее применения с учетом дискретного характера формирования напряжений и токов в преобразователях с широтно-импульсной модуляцией. Исследованы новые методы модуляции, которые заключаются в системном определении стационарных состояний ключей преобразователей, очередности и относительных длительностей их применения при построении модуляционных циклов для повышения качества электроэнергии на входе и выходе этих преобразователей. Предложена стратегия формирования модуляционных функций для управления автономными инверторами напряжения и матричными преобразователями, которая обеспечивает улучшение показателей несинусоидальности токов и напряжений в полном диапазоне регулирования выходных параметров. Представлены результаты экспериментальных исследований и внедрения преобразователей частоты и напряжения.

Для специалистов, которые занимаются разработкой и исследованием силовых полупроводниковых преобразователей электроэнергии, аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

ISBN 978-966-02-6727-5

© Інститут електродинаміки НАН України, 2013

Зміст

Перелік скорочень.....	3
Передмова.....	5
Розділ 1 ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ І ВХІДНОГО СТРУМУ В ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ ЧАСТОТИ ТА НАПРУГИ.....	10
1.1. Основні вимоги до напівпровідникових перетворювачів частоти і напруги.....	11
1.2. Методи підвищення якості електроенергії на вході та виході напівпровідникових перетворювачів.....	17
1.2.1. Пасивна фільтрація.....	17
1.2.2. Збільшення числа рівнів вхідного джерела живлення (еквівалентного числа фаз у матричному перетворювачі).....	17
1.2.3. Застосування широтно-імпульсної модуляції.....	20
1.2.4. Застосування активних фільтрів.....	22
1.3. Визначення основних показників для оцінки несинусоїдальності напруг і струмів на вході та виході напівпровідникових перетворювачів.....	24
1.3.1. Зважені (інтегральні та диференціальні) коефіцієнти гармонічних спотворень.....	27
1.3.2. Вимоги нормативних документів до показників якості електроенергії на вході та виході напівпровідникових перетворювачів.....	32
1.3.3. Особливості застосування вимог нормативних документів щодо гармонічного складу вихідної напруги та вхідного струму з урахуванням дискретного характеру їх формування.....	40
1.4. Проблеми формування високоякісної вихідної напруги АІН з широтно-імпульсною модуляцією при забезпеченні максимально можливого коефіцієнта використання напруги джерела живлення.....	43
1.5. Особливості керування матричними перетворювачами для підвищення якості вихідної напруги та вхідного струму при забезпеченні умов для безаварійної комутації силових ключів і глибокому регулюванні вихідних параметрів.....	52
Розділ 2 ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ АВТОНОМНИХ ІНВЕРТОРІВ НАПРУГИ ЗАСОБАМИ ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОЇ МОДУЛЯЦІЇ.....	59
2.1. Перервні модуляційні функції ПШІМ.....	65

Зміст

2.1.1.	Перервна модуляційна функція ПШМ1.....	65
2.1.2.	Перервна модуляційна функція ПШМ3.....	69
2.1.3.	Перервна модуляційна функція ПШМ0.....	71
2.1.4.	Перервна модуляційна функція ПШМ2.....	75
2.1.5.	Перервна модуляційна функція ПШММАКС.....	78
2.1.6.	Перервна модуляційна функція ПШММІН.....	80
2.1.7.	Критерії подібності у формуванні перервних підмодуючих функцій.....	83
2.1.8.	Перервна модуляційна функція ВШМ.....	84
2.2.	Неперервні модуляційні функції НШМ.....	87
2.2.1	Порівняльний аналіз модуляційних функцій з введенням третьої гармонічної залежно від заданого значення її амплітуди.....	90
2.3.	Визначення коефіцієнтів гармонічних спотворень вихідних напруг ЛІН, сформованих із застосуванням неперервних та перервних модуляційних функцій для порівняльного аналізу.....	96
2.4.	Гармонічний аналіз основних модуляційних функцій з введенням складових нульової послідовності перервного характеру (ПШМ).....	102
2.5.	Визначення коефіцієнта гармонічних спотворень для функції ВШМ при її синтезуванні з використанням різної кількості членів гармонічного ряду.....	108
2.6.	Широтно-імпульсна модуляція при керуванні АІН з використанням векторних підходів до формування напруг і струмів.....	110
2.7.	Визначення гармонічного складу та показників якості вихідної напруги АІН при застосуванні для ШІМ перервних модуляційних функцій.....	119
2.7.1.	Оцінка якості вихідної напруги АІН з використанням незважених та зважених показників для різних методів ШІМ.....	149
2.8.	Режим перемодуляції в АІН.....	152
2.8.1.	Спотворення вихідної напруги в режимі перемодуляції для методу СИНШІМ.....	155
2.8.2.	Спотворення вихідної напруги в режимі перемодуляції для методу ВШІМ.....	158
2.8.3.	Векторний підхід до визначення тривалостей стаціонарних станів ключів інвертора в режимі перемодуляції.....	162
2.9.	Порівняння показників якості вхідного струму АІН залежно від вибору методу ШІМ.....	170
2.10.	Пульсації електромагнітного моменту асинхронного двигуна при керуванні від АІН з різними варіантами ШІМ.....	178

Розділ 3	
АЛГОРИТМИ ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОЇ МОДУЛЯЦІЇ	
В МАТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ. ФОРМУВАННЯ СТРУМІВ	
У СИСТЕМІ "МЕРЕЖА ЖИВЛЕННЯ З НЕСИМЕТРИЧНИМИ	
НАПРУГАМИ – МАТРИЧНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ"	
	183
3.1.	Топологія і методи формування напруги та струму МП.....
	183
3.1.1.	Керування МП.....
	183
3.1.2.	Побудова циклів ШІМ в МП для здійснення безпечних кому- тацій змінного струму.....
	186
3.2.	Визначення основних показників якості вихідних напруг та вхідних струмів МП при застосуванні різних методів ШІМ.....
	194
3.2.1.	Визначення показників якості вихідних напруг та вхідних струмів МП при керуванні за методом Вентуріні.....
	194
3.2.2.	Визначення показників якості вихідних напруг та вхідних струмів МП при застосуванні векторної ШІМ у поєднанні зі стратегією побудови циклів модуляції для безпечної кому- тації змінного струму.....
	198
3.3.	Особливості формування струмів у системі "мережа живлення з несиметричними напругами — матричний перетворювач".....
	207
3.3.1.	Проблеми формування вхідних струмів МП в умовах несим- етрії напруг живлення.....
	209
3.3.2.	Стратегія забезпечення нульового фазового зсуву між вхід- ним струмом та відповідною фазною напругою.....
	211
3.3.3.	Стратегія динамічної модуляції фазового зсуву між вхідними струмом та напругою.....
	212
3.3.4.	Застосування напівпровідникового компенсатора в сполучен- ні з використанням різних стратегій керування МП.....
	214
Розділ 4	
КОМПЕНСАЦІЯ "МЕРТВОГО ЧАСУ" ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ	
ЧАСТОТИ І НАПРУГИ З ШІМ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ	
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В НИЖНІЙ ЧАСТИНІ ДІАПАЗОНУ	
РЕГУЛЮВАННЯ ВИХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ.....	
	223
4.1.	Особливості застосування ВШІМ в умовах дії обмежень на тривалість використання стаціонарних векторів.....
	223
4.2.	Стратегія формування просторового вектора вихідної напруги МП у нижній частині діапазону регулювання електропривода змінного струму.....
	229
4.3.	Геометричний аспект вирішення проблеми "мертвого часу" у перетворювачах частоти з векторною ШІМ.....
	236
4.3.1.	Стратегія формування просторового вектора вихідної напруги ПЧ.....
	236
4.3.2.	Методи компенсації обмеження.....
	239

Зміст

4.4.	Компенсація "мертвого часу" у перетворювачах частоти.....	246	
4.4.1.	Стратегія формування просторового вектора вихідної напруги при малих значеннях його складових.....	247	
4.4.2.	Способи компенсації "мертвого часу" при відомому напрямку струму навантаження.....	248	
4.5.	Результати моделювання кривих вхідного та вихідного струмів МП при використанні класичних і альтернативних комплексів стаціонарних векторів напруги та експериментальна перевірка методу перерозподілу тривалостей.....	256	
4.5.1.	Експериментальна перевірка методу перерозподілу тривалостей застосування стаціонарних векторів.....	257	
Розділ 5			
СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ ЧАСТОТИ ТА НАПРУГИ НА БАЗІ ЦИФРОВИХ СИГНАЛЬНИХ КОНТРОЛЕРІВ. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ НА ЇХ ОСНОВІ.....			260
5.1.	Реалізація алгоритму керування МП за допомогою цифрового сигнального контролера з фіксованою комою.....	261	
5.2.	Розробка програмного забезпечення для цифрового сигнального контролера з фіксованою комою.....	266	
5.3.	Результати експериментального дослідження алгоритму керування МП за допомогою цифрового сигнального контролера з фіксованою комою.....	270	
5.4.	Особливості реалізації алгоритму керування МП за допомогою цифрового сигнального контролера з плаваючою комою.....	272	
5.4.1.	Модуль підтримки обчислень з плаваючою комою.....	275	
5.4.2.	Модуль розширеного ШІМ генератора.....	276	
5.4.3.	Обчислення періоду і частоти ШІМ.....	279	
5.4.4.	Контролер прямого доступу до пам'яті.....	281	
5.5.	Застосування програмованих логічних інтегральних схем у системах керування МП.....	282	
Розділ 6			
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ ТА НАПРУГИ З ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ.....			287
6.1.	Принципи побудови та функціонування станції швидкого прототипного тестування електромеханічних систем з матричним перетворювачем.....	287	
6.1.1.	Структура СШПТ.....	287	
6.1.2.	Пристрій керування СШПТ на основі системи швидкого макетування dSPACE.....	289	
6.1.3.	Керування навантажувальною машиною.....	291	
6.2.	Експериментальне дослідження асинхронної машини, що живиться від МП.....	292	

Зміст

6.2.1.	Реалізація і налагодження контролера.....	292
6.2.2.	Результати дослідження.....	294
6.3.	Експериментальна перевірка енергетичних співвідношень у МП.....	297
6.3.1.	Предмет і методика досліджень.....	297
6.3.2.	Результати вимірювання та їх аналіз.....	297
6.4.	Побудова перетворювачів частоти (вхідна 50 Гц – вихідна 400 Гц) для використання у спеціальних системах і комплексах.....	303
6.5.	Експериментальна перевірка та впровадження у виробництво перетворювачів частоти з ШІМ для різних застосувань.....	308
	Список використаної літератури.....	311
	Зміст.....	336