

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
Інститут електродинаміки



В О Й К О
Віктор Валерійович

УДК 621.314.6(088.8)

ОСОБЛИВІ РЕЖИМИ КОМПЕНСАЦІЙНИХ ВИПРЯМЛЯЧІВ

Спеціальність 05.09.12 - напівпровідникові
перетворювачі електроенергії

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 1997

21.3.01+
21.314



00751775 (W)

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут".

- Науковий керівник доктор технічних наук, професор Сенько Віталій Іванович, Національний технічний університет України "КПІ", завідувач кафедри.
- Науковий консультант кандидат технічних наук, доцент Терновий В'ячеслав Михайлович, Національний технічний університет України "КПІ", доцент.
- Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор Чехет Едуард Михайлович, Інститут електродинаміки НАН України, завідувач відділу;
- кандидат технічних наук, доцент Кулешов Юрій Євгенович, Державна академія легкої промисловості, завідувач кафедри.
- Провідна установа Харківський державний політехнічний університет, кафедра промислової електроніки, Міністерство освіти України (м. Харків).

Захист відбудеться "17" грудня 1997 р. о 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.98.02 при Інституті електродинаміки НАН України (252680, Київ-57, пр. Перемоги, 56, тел. 446-91-15).

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотечці Інституту електродинаміки НАН України.

Автореферат розісланий "13" листопада 1997 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради

Федій В.С.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Енергетична безпека держави є однією з найважливіших складових її економічної безпеки. Основними кількісними і якісними показниками енергетичної безпеки вважаються: наявність власних енергоресурсів, обсяги їх видобутку та глибина переробки; рівні енергоспоживання в цілому та споживання електричної енергії зокрема; якість електроенергетичного забезпечення та стан з використанням альтернативних джерел енергії; доля спожитої електроенергії після попереднього перетворення та її частка, що споживається у вигляді постійного струму.

По більшості з перерахованих якісних показників наша держава не є зірцем для інших, а щодо кількісних - то фахівці вважають Україну однією з найбільш енерговитратних країн світу, посилаючись на те, що "...її частка у світовому споживанні енергії становить 1.9%, у той час як населення складає 1% людства". Основні причини такого становища - небалансована структура енергоспоживання та нерациональне використання енергії у всіх галузях економіки.

Відомо, що широке впровадження пристроїв силової електроніки позитивно впливає на структуру енергоспоживання і може забезпечити значну економію електроенергії. Зазначений напрям підвищення енергоефективності є основною сутністю дисертації.

Актуальність теми. Робота спрямована на подальше удосконалення пристроїв енергетичної електроніки, призначених для живлення постійним струмом обладнання в електротехнології, транспорті та гірничовидобувних виробництвах. В ній досліджені режими, що забезпечують якісне електропостачання споживачів за рахунок: зменшення втрат електричної енергії в процесі її перетворення, більш високого рівня відповідності характеристик перетворювача і навантаження, досягнення показників електромагнітної сумісності з електромережею за стандартами економічно розвинутих країн.

Нерациональне використання енергії та її надмірні втрати обумовлені комплексом причин і мають місце як на стадії виробництва електричної енергії, так і при її передачі, перетворенні та споживанні. Для систем з потужними перетворювальними прист-

роями виконано чимало робіт, спрямованих на підвищення їх техніко-економічних показників, що впроваджені у виробництво і добре себе там зарекомендували. Разом з тим це не означає, що проблема енергозбереження в цій галузі вже вирішена.

У дисертаційній роботі досліджується один із високоєфективних шляхів комплексного розв'язання зазначеної проблеми, пов'язаний з застосуванням компенсаційних випрямлячів. Цей напрям перетворювальної техніки, засновником якого є академік НАН України Чиженко І.М., впродовж багатьох років розвивається на кафедрі теоретичних основ електротехніки Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Однак і на сьогодні ще залишаються проблеми, що потребують ґрунтовних наукових досліджень. До них відносяться і питання стосовно особливостей комутаційних процесів, і методик вибору основного обладнання, і оптимізації режимів роботи для забезпечення вимог виробничого процесу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконала у відповідності з розділами 1.9.2.2.1.1.8. "Дослідження тиристорних компенсаторів реактивної потужності" та 1.9.2.2.1.3.3. "Розробка засобів математичного моделювання та проектування пристроїв перетворювальної техніки" Координаційного плану науково-технічних робіт по комплексній проблемі "Наукові основи електроенергетики" НАН України.

Мета і задачі дослідження - розвиток теорії електромагнітних процесів при роботі компенсаційних випрямлячів в особливих режимах і створення на цій основі економічних перетворювальних пристроїв та підвищення рівня електромагнітної сумісності системи мережа-перетворювач-споживач.

Поставлена мета вимагає вирішення таких задач:

- дослідження впливу активного опору контура комутації на особливості комутаційного процесу та на величину кутів регулювання і комутації для різних співвідношень між активним та реактивним опором контура;
- дослідження багатоетапної комутації у режимі роботи компенсаційного випрямляча, що характеризується подвійним накладанням комутацій через конденсатори компенсуючого пристрою;
- розкриття фізичної сутності способу параметричної стабі-

лізації вихідної напруги компенсаційного випрямляча та дослідження особливостей роботи його основного обладнання;

- проведення математичного моделювання компенсаційного випрямляча в особливих режимах (аварійних).

Наукова новизна одержаних результатів:

- дослідження електромагнітних процесів з урахуванням активного опору R контура комутації, проведені вперше для випрямлячів з одноступеневою ємнісною комутацією, дозволили отримати невідому раніше інформацію про вплив на комутаційні процеси резонансної частоти контура комутації та меж доцільності урахування R при розрахунках режимних характеристик випрямлячів;

- за рахунок вперше проведеного дослідження режиму подвійного накладання комутацій через конденсатори компенсуючого пристрою, подальший розвиток і завершення отримала теорія комутаційних процесів в компенсаційних випрямлячах;

- розроблена оригінальна методика розрахунку багатоетапної одноступеневої ємнісної комутації, що спирається на теорію комутаційних процесів і дозволяє оптимізувати схемотехнічні рішення у відповідності з вимогами технологічного процесу;

- вперше сформульовані вимоги, сукупність яких забезпечує параметричну стабілізацію вихідної напруги компенсаційного випрямляча, що визнано винаходом і є основою пропозицій щодо схемної реалізації випрямлячів та досягнення оптимальних режимів живлення опоживачів з динамічним характером навантаження.

Практичне значення одержаних результатів.

Розроблено спосіб параметричної стабілізації вихідної напруги компенсаційного випрямляча, визнаний винаходом, що покладений в основу пропозицій п'яти схемотехнічних рішень компенсаційних випрямлячів. Запропоновані і досліджені схеми можуть бути ефективно використані у пристроях, призначених для живлення опоживачів з динамічним характером навантаження.

Розроблено комп'ютерні програми розрахунків режимних та параметричних характеристик компенсаційних випрямлячів у нормальних режимах роботи та запропонована методика досліджень в аварійних режимах.

Теоретичні положення дисертаційної роботи та методика досліджень рекомендуються для оптимізації режимів електричних мереж з потужними перетворювальними пристроями і аналізу процесів

в електротехнічному обладнанні.

Результати роботи впроваджені в учбовий процес, що підтверджено відповідною довідкою та співавторством у трьох публікаціях методичного характеру.

Особистий внесок здобувача. Самостійно виконав аналіз електромагнітних процесів у першому та другому розділах, використовуючи як традиційний метод розв'язку диференціальних рівнянь, так і запропонований оригінальний, що є сукупністю методів Гауса і Н'ютона. Останній застосований при розрахунку п'ятиетапної одноступеневої ємнісної комутації. Здобувачем складені всі програми для аналізу процесів у досліджуваних випрямлячах і всі програми, застосовані при математичному моделюванні.

Здобувачу належить ініціатива написання роботи [1], ним же складені і розв'язані рівняння. У роботі [2] склав програми розрахунку на ЕОМ даних для побудови графіків залежності кута комутації від струму навантаження та резонансної частоти контура комутації. В [3] виконав числовий аналіз критичного режиму і вивів аналітичні функції для розрахунку показників цього режиму. У роботі [4] здобувач виконав розрахунок за комутаційними співвідношеннями і зробив порівняльний аналіз результатів точного розрахунку з апроксимованим. В [5] склав і розв'язав рівняння, також підготував програми для розрахунку на ЕОМ кутів регулювання і комутації. Стосовно ідеї параметричної стабілізації вихідної напруги випрямляча та складання формули винаходу автори розподілили свою участь по 50%. В [6] сформулював вимоги, сукупність яких забезпечує режим параметричної стабілізації вихідної напруги компенсаційного випрямляча і дослідив питання про умови роботи основного обладнання у специфічних умовах цього режиму. Підготував лабораторну роботу N1 в [7], склав методичні вказівки до лабораторних робіт N22 і N23 в [8], а в [9] підготував розділи з розрахунку чотириполюсника та частотних характеристик кола.

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні положення, результати та висновки дисертаційної роботи доповідались на семінарах Наукової Ради НАН України по комплексній проблемі "Наукові основи електроенергетики" у 1995, 1996 і 1997 роках, а також на Міжнародній науково-технічній конференції "РЭС-96" (м. Алушта, Україна).

Публікації. Основний зміст дисертації опублікований в 4 статтях у наукових журналах, і доповіді на Міжнародній конференції, 3 учбово-методичних розробках, а також захищений авторським свідоцтвом СРСР на винахід.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 103 найменувань і одного додатку. Загальний обсяг складає 165 сторінок, а яких 63 рисунка і 10 таблиць на 47 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **ВСТУПІ** обгрунтована актуальність проблеми, сформульовані задачі наукового дослідження, відмічені наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, наведена інформація про особистий внесок автора і реалізацію результатів роботи, її апробацію та публікації, викладена структура дисертаційної роботи.

У **ПЕРШОМУ РОЗДІЛІ** наведені результати досліджень комутаційних процесів з урахуванням активного опору контура комутації. Це питання стосовно компенсаційних випрямлячів нулевого та каскадного типів, в яких комутація є одноступеневою, до цього часу не досліджувалось. Окрім суто наукової частини дослідження, пов'язаної з визначенням методики, складанням і розв'язком рівнянь, вивченням особливостей фізичної сутності комутаційного процесу, необхідно було визначити, якого рівня може досягати помилка при розрахунках випрямлячів, якщо не враховувати наявність активного опору в контурі комутації, та в яких випадках нехтування активним опором контура комутації неприпустиме.

Дослідження проведені стосовно звичайного нулевого шестипульсного випрямляча (рис.1) та компенсаційного нулевого шестипульсного (рис.2), користуючись загальноприйнятими припущеннями, згідно з якими трифазна система ЕРС мережі електропостачання синусоїдна і симетрична, трансформатор і вентилі ідеальні, струм на виході випрямляча не має пульсацій.

У відповідності з системою базових величин, що використовуються у дисертаційній роботі, відносне значення струму комутації $i_{\text{к}}$ в звичайному (некомпенсаційному) випрямлячі в режимі

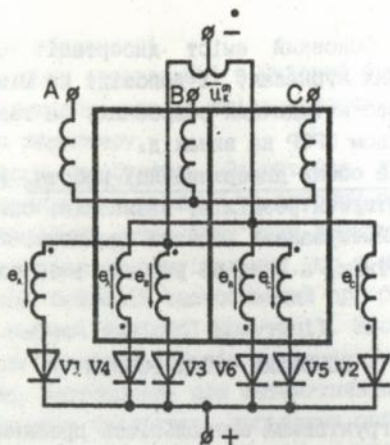


Рис. 1. Схема нулевого шестипульсного выпрямляча (некомпенсаційного)

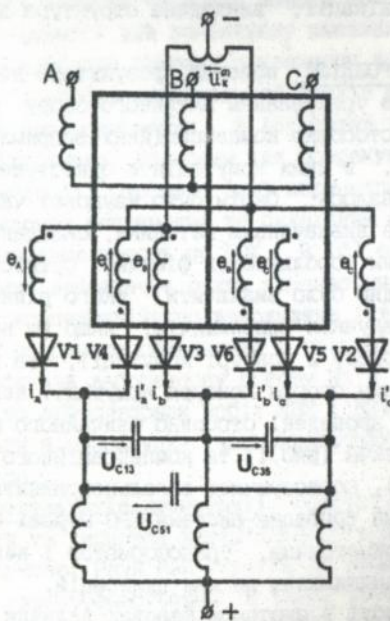


Рис. 2. Схема компенсаційного нулевого шестипульсного випрямляча

простої комутації, коли одночасно працюють 2 чи 3 вентиля, записується виразом

$$i_{K*} = \frac{\sin(\theta + \alpha_{\gamma} - \varphi) - \sin(\alpha_{\gamma} - \varphi) e^{-h\theta}}{X_{\gamma} \sqrt{1 + h^2}} + \frac{1 - e^{-h\theta}}{2}$$

де $h = R/X_{\gamma}$ - коефіцієнт, який показує співвідношення між активним (R) та реактивним (X_{γ}) опорам контура комутації, $\varphi = \arctg(1/h)$ - додатковий зсув за фазою, обумовлений параметрами контура комутації.

Аналіз останнього виразу показує, що при більших значеннях коефіцієнту h амплітуда сумарної кривої, початкова частина якої є струмом комутації, має тенденцію до зменшення. Одночасно при цьому змінюється її форма, причому так, що величина кута комутації має незначну зміну. При сумірних значеннях активного і реактивного опорів контура комутації, уточнення розрахунку кута комутації знаходиться в межах 3%. Для підтвердження цього проведений числовий розрахунок, результати якого наведені в дисертаційній роботі у вигляді таблиці.

Відповідні розрахунки, проведені стосовно компенсаційного випрямляча, дають для режиму простої комутації вираз відносного значення струму комутації у такому вигляді

$$i_{K*} = 0.5 - \frac{\sin(\theta - \alpha - \varphi)}{X_{\gamma} \sqrt{(\omega_0^2 - 1)^2 + h^2}} + (K_{1*} \cos \omega_{1*} \theta + K_{2*} \sin \omega_{1*} \theta) e^{-0.5h \cdot \theta}$$

де $\omega_0 = \sqrt{1/3LC}$ - резонансна частота контура комутації, а

$\omega_0/\omega = \omega_{0*}$ - її відносне значення;

$\omega_{1*} = \omega_{0*} \sqrt{1 - h^2/4\omega_{0*}^2}$ - власна частота контура комутації;

K_{1*} та K_{2*} - сталі інтегрування, що розраховуються окремо для діодного і для тиристорного випрямляча методом спряженості інтервалів;

Проведене дослідження фізичної сутності комутаційного процесу і процесу формування кривої струму комутації. Незважаючи на те, що в компенсаційному випрямлячі комутаційний процес має коливний характер, тенденції впливу активного опору на нього

такі ж, як і у звичайному випрямлячі.

Кількісну оцінку впливу активного опору контура комутації на величину кутів регулювання та комутації зроблено на основі числових розрахунків, проведених для діодного нулевого шести-пульсного компенсаційного випрямляча. Як ілюстрація, нижче в табл. 1 наведені результати, отримані для відносного значення струму навантаження 0,2.

Таблиця 1

Залежність кутів регулювання і комутації від резонансної частоти контура комутації та параметру h

$\omega_{0н}$	h	0	0.01	0.10	0.25	0.50	1.00	2.00
2.0		7.577 ⁰	7.537 ⁰	7.666 ⁰	7.760 ⁰	7.813 ⁰	7.536 ⁰	—
		32.456 ⁰	32.455 ⁰	32.475 ⁰	32.655 ⁰	33.398 ⁰	37.140 ⁰	—
2.5		12.696 ⁰	12.711 ⁰	12.838 ⁰	13.024 ⁰	13.271 ⁰	13.549 ⁰	13.296 ⁰
		30.760 ⁰	30.755 ⁰	30.722 ⁰	30.718 ⁰	30.857 ⁰	31.733 ⁰	37.463 ⁰
3.0		19.575 ⁰	19.594 ⁰	19.762 ⁰	20.020 ⁰	20.396 ⁰	20.971 ⁰	21.515 ⁰
		29.184 ⁰	29.180 ⁰	29.150 ⁰	29.126 ⁰	29.158 ⁰	29.506 ⁰	31.641 ⁰
3.5		28.557 ⁰	28.581 ⁰	28.789 ⁰	29.116 ⁰	29.611 ⁰	30.431 ⁰	31.494 ⁰
		27.849 ⁰	27.847 ⁰	27.837 ⁰	27.836 ⁰	27.880 ⁰	28.145 ⁰	29.539 ⁰

В кожній клітинці нижче значення - величина кута комутації, а верхнє - вільно установлювальний випереджаючий кут регулювання.

У **ДРУГОМУ РОЗДІЛІ** також розглядаються комутаційні процеси, однак він присвячений дослідженню режиму подвійного накладання комутації через конденсатори комутаційного пристрою. Такий режим роботи може мати місце в двадцятичотирьохпульсному каскадному компенсаційному випрямлячі (рис.3), коли кути комутації перевищують $\pi/6$. У цьому випадку одноступенева змісна комутація має п'ять етапів.

На першому етапі розпочинається комутація з вентиля V_{51} на V_{11} , продовжується комутація з V_{22} на V_{42} та закінчується комутація з V_{33} на V_{53} . Досить складний розрахунок дає вираз від-

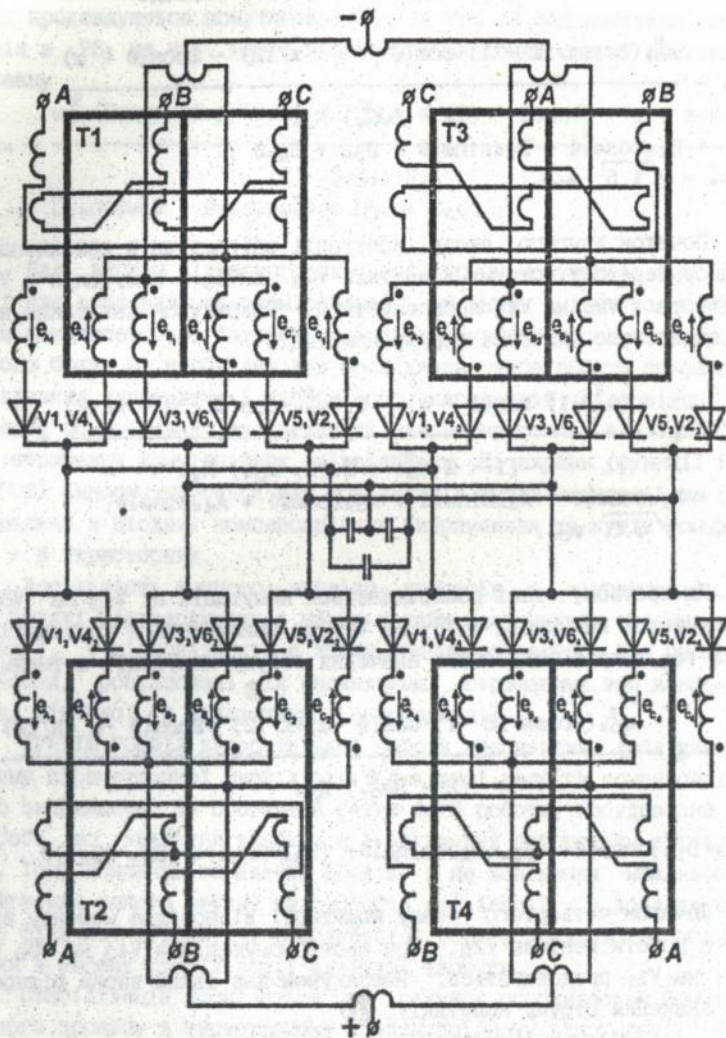


Рис. 3. Схема двадцятичотирьохпульсного каскадного компенсаційного випрямляча

носного значення струму комутації у такому вигляді

$$i_{k1*} = \frac{\omega_{0*}^2 (2\cos\pi/12 - 1) \cdot \cos(\theta - \alpha + \pi/12) - 2\cos(\theta - \alpha)}{(2 - 3\omega_{0*}^2) \cdot X_{\gamma*}} +$$

$$+ B_{1*} \cos \omega_{0*}' \theta + B_{2*} \sin \omega_{0*}' \theta + B_{3*} + B_{4*} \theta,$$

де $\omega_{0*}' = \sqrt{1.5} \cdot \omega_{0*}$.

Початок другого етапу комутації збігається з припиненням процесу переходу струму з вентиля V3з на V5з. Комутація в V51 на V11 та в V22 на V42 продовжується. Розрахунок дає такий вираз відносного значення струму комутації

$$i_{k2*} = 1 + \frac{(\omega_{0*}^2 - 1) \cdot \cos(\theta - \alpha) - 0.5\omega_{0*}^2 \cdot \cos(\theta - \alpha + \pi/12)}{(1 - 2 \cdot \omega_{0*}^2 + 0.75 \cdot \omega_{0*}^4) \cdot X_{\gamma*}} +$$

$$+ A_{1*} \cos \omega_{0*}' \theta + A_{2*} \sin \omega_{0*}' \theta + A_{3*} \cos \omega_{0*}'' \theta + A_{4*} \sin \omega_{0*}'' \theta,$$

де $\omega_{0*}' = \sqrt{0.5} \cdot \omega_{0*}$.

На третьому етапі розпочинається комутація з V4з на V6з, продовжується комутація з V51 на V11 та припиняється комутація з V22 на V42. Вираз відносного значення струму комутації в такому

$$i_{k3*} = 1 - \frac{\omega_{0*}^2 (2\cos\pi/12 - 1) \cdot \cos(\theta - \alpha + \pi/12) + 2\cos(\theta - \alpha + \pi/12)}{(2 - 3\omega_{0*}^2) \cdot X_{\gamma*}} +$$

$$+ (B_{1*} + D_{1*}) \cos \omega_{0*}' \theta + (B_{2*} + D_{2*}) \sin \omega_{0*}' \theta + (D_{3*} - 2B_{3*}) + (D_{4*} - 2B_{4*}) \theta.$$

Початок четвертого етапу комутації відповідає моменту виходу з роботи вентиля V22. При цьому комутація з V4з на V6з та з V51 на V11 продовжується. Розрахунок дає такий вираз відносного значення струму комутації

$$i_{k4*} = \frac{(\omega_{0*}^2 - 1) \cdot \cos(\theta - \alpha + \pi/12) - 0.5\omega_{0*}^2 \cdot \cos(\theta - \alpha)}{(1 - 2 \cdot \omega_{0*}^2 + 0.75 \cdot \omega_{0*}^4) \cdot X_{\gamma*}} -$$

$$- A_{1*} \cos \omega_{0*}' \theta - A_{2*} \sin \omega_{0*}' \theta + A_{3*} \cos \omega_{0*}'' \theta + A_{4*} \sin \omega_{0*}'' \theta.$$

На п'ятому етапі розпочинається комутація з вентиля V14 на V34, продовжується комутація з V43 на V63 та закінчується комутація з V51 на V11. Вираз відносного значення струму комутації в таким

$$i_{K5*} = \frac{\omega_{C*}^2 (2\cos\pi/12 - 1) \cos(\theta - \alpha + \pi/12) - 2\cos(\theta - \alpha + \pi/6)}{(2 - 3\omega_{C*}^2) \cdot X_{\gamma*}} + D_{1*} \cos\omega_{*}\theta + D_{2*} \sin\omega_{*}\theta + D_{3*} + D_{4*}\theta .$$

Далі вирази відносного значення струму комутації використані для отримання закономірностей, за якими змінюються струми фази конденсаторної батареї та розрахунку комутуючої напруги. З одного боку це необхідне для дослідження умов роботи основного обладнання випрямляча і вибору його параметрів відповідно до наперед обумовлених енергетичних характеристик, а з іншого - для отримання комутаційних співвідношень. Ці вирази (функції FU1 та FU2) використовуються для розрахунків кутів комутації та регулювання в діодних компенсаційних випрямлячах та кутів комутації - в тиристорних.

Доцільність точного аналізу процесів в компенсаційному випрямлячі підтверджуються результатами розрахунків струму комутації, у відповідності з якими точний розрахунок дає числові значення, розташовані між значеннями, отриманими при використанні лінійної та квадратичної апроксимації.

ТРЕТІЙ РОЗДІЛ дисертаційної роботи присвячений дослідженню режиму параметричної стабілізації вихідної напруги компенсаційного випрямляча. Це особливий режим його роботи, побудований на способі, що визнаний винаходом і захищений авторським свідоцтвом. Тому основним завданням розділу є не доведення можливості досягнення такого режиму та способів реалізації, а дослідження його фізичної сутності і особливостей роботи основного обладнання в умовах стабілізації вихідної напруги.

Стабілізація досягається за рахунок особливостей комутаційного процесу в тиристорному компенсаційному випрямлячі. Він суттєво відрізняється від комутації у звичайних і в діодних компенсаційних випрямлячах, де збільшення струму навантаження призводить до зростання кута комутації. Дослідженнями стосовно тиристорних компенсаційних випрямлячів доведено, що в залежності

ті від кута керування, при збільшенні струму навантаження кут комутації може або зростати, або зменшуватись, або не змінюватись. В останньому випадку якраз і досягається параметрична стабілізація вихідної напруги, оскільки за умови незмінності напруги мережі електропостачання, вихідна напруга випрямляча залежить тільки від кутів керування та комутації.

Довівши, що кожній власній частоті контура комутації відповідає лише одне значення кута керування, при якому має місце стабілізуючий ефект, в роботі досліджується динаміка зміни комутуючої напруги в залежності від ступеня навантаження. Це дозволило дійти таких висновків стосовно фізичних особливостей режиму параметричної стабілізації:

- амплітудне і діюче значення комутуючої напруги пропорціональне струму навантаження;
- форма комутуючої напруги не змінюється;
- кут комутації удвічі більший за кут керування;
- положення максимуму кривої комутуючої напруги відповідає моменту переходу через нульове значення лінійної напруги вентильної обмотки перетворювального трансформатора.

Стосовно умов роботи основного обладнання у розділі доведено, що в режимі параметричної стабілізації не спостерігається суттєвого росту його потужності.

ЧЕТВЕРТИЙ РОЗДІЛ присвячений аварійним режимам випрямлячів та результатам математичного і фізичного моделювання процесів.

Науково обгрунтовані рекомендації щодо конструювання нового перетворювального трансформатора і вибору основного обладнання випрямляча мають спиратись не тільки на результати досліджень у номінальному режимі, а й на дані декількох аварійних режимів, серед яких коротке замикання на шинах між трансформатором і перетворювальною секцією, коротке замикання на вихідних ватискачах перетворювача, пробій вентиля перетворювальної секції. Останній аварійний режим є найбільш важким для силового обладнання випрямляча, і особливо, якщо останній має діодну реалізацію. У разі пробую діода, динаміка розвитку аварійного процесу є найбільш несприятливою і загрозливою для динамічної стійкості перетворювального трансформатора.

Тому одним з базових положень дисертаційної роботи є те, що дослідження та розрахунок нормальних режимів роботи компен-

саційних випрямлячів слід виконувати, використовуючи методики, що спираються на результати точного аналізу. Прикладом цього є дослідження, результати яких викладені у попередніх розділах роботи.

Що ж стосується аварійних режимів, то їх краще досліджувати, користуючись методами математичного моделювання.

Автором розроблена методика дослідження нормальних та аварійних режимів роботи звичайних та компенсаційних випрямлячів в використанні пакету програм PSpice. Як приклад, наведені результати моделювання шестипульсних нулевих випрямлячів.

Докладно описана математична модель і досліджене питання про точність моделювання, яке показало, що для інтегральних характеристик вона досить висока (результати моделювання і точного розрахунку практично збігаються), а для миттєвих значень розбіжність може бути більшою за 10%, що є результатом різних припущень теоретичних і модельних досліджень.

Завершується розділ описом фізичної моделі компенсаційного випрямляча і серією осцилограм, віднятих на моделі двадцятичотирьохпульсного перетворювача, що працює у компенсованому режимі та у режимі з генерацією реактивної потужності.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розроблені положення теорії компенсаційних перетворювачів з одноступеневою ємнісною комутацією, що дозволяють реалізовувати у випрямлячах нулевого і каскадного типів режими роботи, оптимальні відносно вимог технологічного процесу. Отримані результати у сукупності складають суттєвий внесок у подальший розвиток теорії напівпровідникових перетворювачів та розробку шляхів її практичного застосування.

1. Проведений аналіз довів доцільність використання для живлення пристроїв електротехнології і транспорту компенсаційних випрямлячів, які дозволяють реалізувати особливі режими роботи, не досяжні для інших перетворювачів.

2. Доведено меншу залежність комутаційного процесу від активного опору контура комутації в контурах з більшою резонансною частотою, також те, що вплив активного опору на розрахунок процесів в компенсаційних випрямлячах менший, ніж у звичайних і що

враховувати активний опір має сенс лише тоді, коли коефіцієнт h перевищує значення 0.5.

3. Подальший розвиток і завершення отримала теорія комутаційних процесів в нормальних режимах роботи компенсаційних випрямлячів. Доведено, що режим подвійного накладання комутацій через конденсатори, якому передують режим накладання комутацій та режим простої комутації, є найбільш глибоким, характерним для багатопульсних компенсаційних пристроїв.

4. Сформульовані вимоги, сукупність яких забезпечує режим параметричної стабілізації вихідної напруги нулевих та каскадних компенсаційних випрямлячів. Досліджене питання про умови роботи основного обладнання випрямлячів і критерії його вибору при практичній реалізації.

5. Розроблені математична та фізична моделі компенсаційного випрямляча. Створене математичне забезпечення розрахунку нормальних режимів роботи компенсаційних перетворювачів на EOM. Розроблена методика дослідження аварійних режимів.

6. Теоретичні висновки і положення спираються на використання загальної теорії електричних кіл, теорії диференціальних рівнянь, методів гармонічного аналізу, методів розв'язку систем нелінійних рівнянь, результатів математичного та фізичного моделювання. Поруч з традиційними підходами у роботі використаний запропонований автором оригінальний метод розв'язку рівнянь, що є сукупністю методів Гауса і Н'ютона.

7. Результати дисертаційної роботи знайшли застосування в навчальному процесі і рекомендуються для використання науковими і промисловими установами, що працюють над проблемами енергозбереження, якості електропостачання, оптимізації режимів електричних мереж з потужними перетворювальними пристроями і займаються розробкою пристроїв енергетичної електроніки (НДІ "Перетворювач", м.Запоріжжя, Харківський державний політехнічний університет, НДІ ВО ХЕМЗ, м.Харків).

8. Вірогідність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечена розробкою обґрунтованих математичних моделей, експериментальними дослідженнями на фізичній моделі та узгодженням отриманих результатів з висновками інших авторів.

ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Войко В.С., Войко В.В., Сенько В.И. Влияние активного сопротивления на коммутационный процесс в компенсационных выпрямителях //Техн. электродинамика. - 1995.- №2. - С. 15-19.

2. Войко В.С., Войко В.В., Юрченко Н.Н. Параметрическая стабилизация выпрямленного напряжения в преобразователях компенсационного типа //Техн. электродинамика.-1995.- №3.-С.12-16.

3. Войко В.С., Войко В.В., Потяженко И.А. Юрченко Н.Н. Определение условий перехода диодного компенсационного выпрямителя в режим повторной работы вентилей //Техн. электродинамика. - 1996. - №2. - С. 35-38.

4. Байко В.С., Войко В.В., Потяженко И.А. Сенько В.И. О расчете углов регулирования и коммутации в компенсационных преобразовательных системах каскадного типа //Техн. электродинамика. - 1996.- №3. - С. 24-30.

Б. А.с. 1670682 СССР, МКИ J 05 F 3/08. Способ параметрической стабилизации выходного напряжения управляемого компенсационного выпрямителя / В.С.Войко, В.В.Войко (СССР). - N 4666841/07; Заявлено 27.03.89; Опубл.15.08.91, Выд. N 30. - 7 с.

6. Сенько В.И., Войко В.С., Войко В.В., Юрченко Н.Н. Источник питания с параметрической стабилизацией выходного напряжения // Труды Междунар. конф. РЭС-96. Харьков: ОСНОВА. - 1996. С. 103-104.

7. Методичні вказівки до лабораторних робіт в теоретичних основ електротехніки. Цикл 1./Укладачі: Войко В.С., Войко В.В., Курило І.А., Кудря Є.А., Третьякова Л.Д., Шуляк А.А. - Київ: ВІПОЛ. - 1997. - 40с.

8. Методичні вказівки до лабораторних робіт в теоретичних основ електротехніки. Цикл 2./Укладачі: Войко В.С., Войко В.В., Терновий В.М., Третьякова Л.Д., Шуляк А.А. - Київ: ВІПОЛ. - 1997. - 48с.

9. Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму. Методичні вказівки та розрахунково-графічні завдання в теоретичних основ електротехніки для самостійної роботи студентів електроенергетичного та електротехнічного профілів всіх форм навчання / Укладачі: Войко В.С., Войко В.В., Кудря Є.А., Салегін А.П., Шуляк А.А. - Київ: ВІПОЛ. - 1997. - 44с.

Бойко В.В. Особливі режими компенсаційних випрямлячів.-Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.12 - напівпровідникові перетворювачі електроенергії.- Інститут електродинаміки НАН України, Київ, 1997.

Дисертацію присвячено проблемі енергозбереження, що реалізується впровадженням режимів якісного електропостачання постійним струмом потужних споживачів. В дисертації вперше стосовно компенсаційних випрямлячів з одноступеневсю ємнісною комутацією проведено дослідження: комутаційних процесів з урахуванням активного опору контура комутації, процесів при подвійному накладанні комутацій через конденсатори компенсуючого пристрою, режиму параметричної стабілізації вихідної напруги. Останнє, сформульоване як спосіб, є винаходом, на основі якого запропоновані схеми економічних перетворювачів. Результати роботи знайшли застосування в учбовому процесі, використані при математичному моделюванні аварійних режимів і рекомендуються для оптимізації режимів системи мережа-перетворювач-споживач, а також для подальшого удосконалення пристроїв енергетичної електроніки.

Ключові слова: випрямляч, електрична енергія, компенсація, комутація, математичне моделювання, режим.

Бойко В.В. Особые режимы компенсационных выпрямителей.- Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.12 - полупроводниковые преобразователи электроэнергии.- Институт электродинамики НАН Украины, Киев, 1997.

Диссертация посвящена проблеме энергосбережения, реализуемой за счет внедрения режимов качественного электроснабжения постоянным током мощных потребителей. В диссертации впервые относительно компенсационных выпрямителей с одноступенчатой емкостной коммутацией проведены исследования: коммутационных процессов с учетом активного сопротивления контура коммутации, процессов при двойном наложении коммутаций через коммутирующие конденсаторы, режима параметрической стабилизации выходного

напряжения. Последнее, сформулированное как способ, признано изобретением, на основе которого предложены схемы экономичных преобразователей. Результаты работы применены в учебном процессе, использованы при математическом моделировании аварийных режимов и рекомендуются для оптимизации режимов системы сеть-преобразователь-нагрузка, а также для дальнейшего усовершенствования устройств энергетической электроники.

Ключевые слова: выпрямитель, электрическая энергия, компенсация, математическое моделирование, режим.

Boiko V.V. The special modes compensatory rectifiers. - Manuscript.

The thesis for the candidate of science degree on 05.09.12 speciality - semiconductor converters of electric energy. - The Institute of Electrodynamics of National Academy of Science of Ukraine, Kyiv, 1997.

The dissertation is devoted to a power saving problem, solved by the promoting modes of qualitative supply of the powerful consumers by the direct current. Researches for compensatory rectifiers with one-step capacitor switching have been made in the dissertation for the first time: switching processes with taking into account active resistance of switching contour, processes at double imposing commutation through switching capacitors, parametrical stabilization of the output voltage mode. The last is declared as the invention, on the basis of which circuits of economic converters are offered. The results of work have been applied in educational process. They have been used at the mathematical modeling of emergency operation and are recommended for optimization of the system power supply-converter-consumer modes, as well as for further improvement of power electronics devises.

Key words: a rectifier, electrical energy, compensation, mathematical modeling, mode.

Підписано до друку 14.11.97р . Формат 60x90/16
Папір офсетний, Формат видання 145x215 мм.
Умовн.-друк.аркуш 10 . Об.-вид.аркуш 10 .
Тираж 100 . Замовл.294.

