

“НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Єресько Олександр В'ячеславович

УДК 621.314.632

**СПОСОБИ ПОЛПШЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ
З СИНУСОЄДАЛЬНОЮ ШІМ**

Спеціальність 05.09.12 напівпровідникові перетворювачі електроенергії

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2001

Дисертація є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Гончаров Юрій Петрович.
Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”
професор кафедри промислової і
біомедичної електроніки

Офіційні опоненти доктор технічних наук, професор
Барський Віктор Олексійович.

Міжнародний консорціум
“Енергозбереження”, голова правління

кандидат технічних наук
Бару Олександр Юрійович
Науково виробниче підприємство
“ЕОС”, технічний директор

Провідна установа **Національний технічний університет України**
“Київський політехнічний інститут”
кафедра теоретичної електротехніки,
Міністерства освіти і науки України, м. Київ

Захист відбудеться 15 листопада 2001 р. о 14: 30 год.
На засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.050.04 у Національному
технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою
61002, м. Харків – 2, вул. Фрунзе, 21

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці у Національного технічного університета
“Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розісланий 15 жовтня 2001 р.

Вчений секретар
Спеціалізованої вченої ради

Осічев О.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В останні роки досягнуті значні результати у розробці та удосконаленні автономних перетворювачів із синусоїдальною широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ), у тому числі в структурах з проміжною ланкою підвищеної частоти, з метою підвищення питомої потужності напівпровідникових перетворювачів. Однак, ряд питань, що мають важливе значення при створенні таких систем, розглянуто ще не досить. Розвиток нових схемних рішень та спрощення структур, які спрямовані на поліпшення характеристик перетворювачів з синусоїдальною ШІМ, є актуальним. Важливим є удосконалювання комутаційних процесів за рахунок комплексного рішення питань, як у структурах з некерованим інвертором, що виконує функцію генератора високочастотної напруги, і безпосереднім перетворювачем частоти (БПЧ), який формує широтно-модульований імпульсний сигнал з низькочастотною огинаючою необхідної форми, так і в елементах цих структур, насамперед, в силових ключах для статичних перетворювачів частоти. Надалі потрібен розвиток як аналогових, так і цифрових систем керування перетворювачами частоти для спрощення алгоритмів їх роботи.

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

Науково-дослідні роботи за темою дисертації проводились згідно з програмами розвитку народного господарства СРСР, УРСР і України, у тому числі: завданням 03.03.02 науково-технічної програми 0.01.08 ДКНТ СРСР, цільовою міжвузівською програмою “Оптимум”, науково-технічною програмою 04.08 “Високоєфективні енерготехнологічні та електротехнічні системи”, що входить до складу програми “Екологічно чиста енергетика та ресурсо-зберігаючі технології”, затвердженої наказом Міністерства науки України № 102 від 23.04.1997.

Мета та задачі дослідження. *Мета дисертаційної роботи* полягає у удосконаленні комутаційних характеристик і спрощенні структур систем керування напівпровідниковими перетворювачами з синусоїдальною ШІМ.

Мета вимагала рішення наступних задач:

-розробка схем інверторів та напівпровідникових ключів з однорідною комутацією, які забезпечують високі енергетичні показники в структурі інвертор-БПЧ;

-використовування принципу самозбудження на основній частоті в перетворювачі з синусоїдальною ШІМ для спрощення системи керування;

-спрощення силової схеми вузла примусової комутації для покращення масогабаритних характеристик тиристорних перетворювачів, які працюють у повторно-короткочасних режимах.

Об'єктом дослідження є напівпровідникові перетворювачі з синусоїдальною ШІМ.

Предметами дослідження в дисертаційній роботі є системи, які спрямовані на удосконалення комутаційних та регулювальних характеристик перетворювачів з синусоїдальною ШІМ

Методи дослідження. В роботі використовувались різні методи, як для теоретичних, так і експериментальних досліджень. Аналіз перетворювачів з синусоїдальною ШІМ проводився як методами основних гармонік, так і комутаційних функцій. Моделювання на ЕОМ проводилось за допомогою програм MATLAB та Elektronik Workbench.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в такому:

-виявлені властивості та отримані основні характеристики інвертора з відсікаємим дроселем, який пропонується в вигляді первинної ланки перетворювача, що дозволило розробити інженерну методику розрахунку основних параметрів, досягти зниження комутаційних втрат і спростити схеми керування;

-отримані основні характеристики пропонованих схем напівпровідникових ключів з внутрішнім зворотнім зв'язком, який діє на вимикання, що дозволило розробити інженерну методику їх розрахунку, домогтися спрощення ланцюгів керування та підвищити точність синхронізації імпульсів керування у послідовному ланцюгу ключів;

-запропоновано структуру перетворювача з синусоїдальною ШІМ та самозбудженням на основній частоті, яка дозволила спростити систему керування, та виявлені її основні властивості і динамічні характеристики;

-запропоновано методику розрахунку вузла комутації з суміщеним дроселем для тиристорного перетворювача з ШІМ, який працює у повторно-короткочасному режимі, що дозволило покращити масогабаритні показники та спростити силову схему.

Практичне значення одержаних результатів полягає в такому:

-використання інвертора з відсікаємим дроселем, який пропонується як первинна ланка перетворювача, дозволяє знизити

комутаційні втрати та спростити алгоритми керування вторинною ланкою в структурі інвертор-БПЧ;

-запропоновані структури транзисторних ключів зі зворотним зв'язком, який діє на вимикання, що дозволяють спростити систему захисту у зв'язку з відсутністю стійкого активного режиму роботи та розширити можливості керування;

-запропоновані перетворювачі з синусоїдальною ШІМ та з самозбудженням на основній частоті, що дозволяють спростити систему керування, шляхом виключення задаючого генератора огинаючої;

-розроблено та втілено тиристорний перетворювач з синусоїдальною ШІМ, в якому використовується поєднана конструкція комутаційного дроселя та резисторів, які поглинають надмірну енергію вузла комутації; що дозволяє спростити конструкцію перетворювача.

Особистий внесок здобувача. У роботах [1,3] автором проведені дослідження перетворювача з синусоїдальною ШІМ в структурі інвертор-БПЧ. У роботах [1,3,5] автором показано доцільним використання позитивного зворотного зв'язку для формування синусоїдальної огинаючої в перетворювачах з ШІМ. У роботах [6,10] показано доцільним використання однорідної комутації для структур з БПЧ. У роботах [2,4,6,7,8,9,10] зроблені схемні реалізації транзисторних ключів зі зворотним зв'язком, який діє на вимикання, та формувачів транзисторними ключами.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати роботи доповідалися на науково-технічних конференціях: "Проблеми нелинейной электротехники" (м. Київ, 1984 г.); "Проблеми преобразовательной техники" (м. Київ, 1987 г.); "Силовая электроника в решении проблем ресурсо- и энергосбережения" (м. Алушта, 1998-2000 р.).

Публікації. Основні результати дисертації відображені у 10 друкованих працях: з них 2 авторських свідоцтва на винахід, 4 статті та 4 доповіді в збірниках праць науково-технічних конференцій. Ще 17 друкованих праць опубліковано по суміжним питанням.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації 137 сторінок з яких 124 сторінки основного тексту, 66 ілюстрацій по тексту на 54 сторінках, двох додатків на 5 сторінках, список використаних літературних джерел із 103 найменувань на 8 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У вступі подано загальну характеристику роботи, її зв'язок з науковими програмами і темами. Обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначена наукова новизна отриманих результатів та показана їх практична цінність.

У першому розділі розглядаються способи формування змінної синусоїдальної напруги від джерела постійного живлення. Показано основну тенденцію виконання таких перетворювачів спрямованих, на розвиток структур з ШІМ та проміжною ланкою підвищеної частоти, які, в основному, розглядаються в дисертації.

Сформульовано мету, основні задачі досліджень і положення, що виносяться на захист.

Другий розділ присвячений рішення проблеми поліпшення комутаційних характеристик у перетворювачах з високочастотною ланкою та формуванням вихідної напруги методом синусоїдальної ШІМ за допомогою БПЧ.

У структурах із проміжною ланкою підвищеної частоти для обмеження швидкості зростання струму як у комутаційні інтервали в БПЧ, так і в аварійних режимах, є вагомі причини мати у вхідному ланцюзі БПЧ досить велику послідовну індуктивність. По можливості цю індуктивність бажано не сполучати з трансформатором, тому що підвищена індуктивність розсіювання трансформатора приводить до збільшення втрат від вихрових струмів в обмотках, що змушує істотно ускладнювати конструкцію котушок, та й сам трансформатор має неоптимальне співвідношення розмірів і підвищену витрату міді. При цьому бажано не втрачати енергію, що накопичується у дроселі, а повертати її до джерела живлення.

Такі умови створюються, якщо застосувати як первинну ланку схему інвертора напруги із дроселем L , що відсікається діодами $VD1$, $VD2$ (на рис. 1 приведена напівмостова схема). Схема є дуальним аналогом відомої схеми інвертора струму з відсікаючими діодами. З початком спаду струму i відбувається перехід цього струму в контур L , $VD1$, $VS1$ (де $VS1$ та $VS2$ складаються з транзистора та зворотного діода), в якому він циркулює до моменту комутації, а коли починається комутаційний інтервал, цей струм замикається в контурі L , $VD1$, u_n , $VS2$, що рівнозначно розряду дроселя на джерело живлення. У загальному випадку

відсікаючий діод перешкоджає будь-якому зменшенню струму дроселя на інтервалі провідності одного керованого ключа, а накопичена в дроселі енергія зберігається до початку комутації, після чого повертається джерелу живлення.

У двох ланках перетворювача доцільно використовувати різні види з двох видів однорідної комутації. При комутації першого роду ввімкнення відбувається під напругою (примусово) і ключ стримує зростання струму, а вимикання природне, тобто струм сам спадає до нуля без участі опору ключа, що змінюється. При комутації другого роду картина зворотна: спад струму ініціюється ключем, що розмикається, у той час як джерело напруги цьому протидіє, а при ввімкненні зміна опору приладу відбувається під час відсутності зовнішньої напруги. Введення відсікаючих діодів дозволяє домогтися збереження в інверторі у всіх режимах роботи однорідної комутації другого роду, що спрощує пристрої комутаційного захисту (снабери), яким не потрібні додаткові елементи для поглинання чи повернення енергії, що накопичується в реактивних елементах. Як показано в дисертації, накопиченого струму в дроселі не завжди досить для збереження комутації другого роду, тому в роботі розглянуто варіанти структур, які забезпечують на початку комутації струм, достатній для швидкого перезаряду ємності снабера, наприклад: введенням додаткової обмотки трансформатора в контурі з комутуючим дроселем, та структуру з замиканням на час комутації первинної обмотки трансформатора накоротко, що можна зробити за допомогою невеликого дроселя, який насичується (ДН) рис. 2. Отримані відповідні залежності та показано, що додаткова обмотка маловиткова, а дросель насичення (ДН) теж малогабаритний.

В роботі проведено дослідження, спрямоване на зниження втрат в трансформаторі проміжної ланки (рис. 1). У функції основних факторів, що впливають, отримані вирази для втрат на вихрові струми в обмотках та індуктивного опору розсіювання трансформатора

$$P_{\text{вх}}^* \sim \left(\frac{S_{\sigma}}{\tau_n} \right)^{2/3} \kappa_o^{5/3} d_{np}^2, \quad x_s^* \sim \left(\frac{S_{\sigma}}{f\tau_n} \right)^{1/3} \kappa_o^{4/3} \kappa_k^{1/3}, \quad (1)$$

де $S_{\sigma} = U_{\sigma} I_{\sigma}$ - потужність трансформатора;

κ_o і κ_k - коефіцієнти заповнення вікна котушкою і котушки провідниковим матеріалом;

d_{np} - діаметр провідника;

f - частота;

τ_n - припустимий перегрів поверхні котушки.

На рис. 3 представлені ці залежності. Як видно, радикальне зниження індуктивного опору розсіювання і втрат на вихрові струми досягається в основному, за рахунок зростання маси осердя при цілком помірному зростанні маси трансформатора. Одночасно, при неповному заповненні вікна трансформатора, знижуються додаткові втрати в деталях

конструкції і перешкоди пристроям керування, також поліпшується і електромагнітна сумісність. Другий шлях зниження індуктивного опору розсіювання полягає у секціонуванні обмоток.

При однорідній комутації другого роду, коли вимикання примусове, а ввімкнення природне, переважно мати ключ із внутрішнім зворотним зв'язком, що діє на вимикання. Внутрішній зворотний зв'язок у напівпровідниковому ключі складається в створенні залежності між керуючим сигналом, з одного боку, і напругою або струмом ключа – з іншої. Найбільш ефективний зворотний зв'язок, той що перемикається. Тобто, при розімкненому ключі одержуємо зворотний зв'язок по напрузі, а при замкнутому – по струму.

Тиристор, який при досягненні напруги перемкнення замикається, а при досягненні струму утримання розмикається, одержав найбільш широке поширення в схемах перетворювачів із природним вимиканням: випрямлячах, ведених інверторах і БПЧ. Застосування тиристора в схемах із примусовим вимиканням утрудняється протидією з боку внутрішнього зворотного зв'язку, що вимагає великого керуючого сигналу і знижує швидкодію. Ключ із внутрішнім зворотним зв'язком, що розмикається при досягненні струму перемкнення і замикається при досягненні напруги утримання, дуальний структурі тиристора, тому прискорення примусової комутації, за рахунок уповільнення природної, сприяє зниженню комутаційних втрат, а також для реалізації природного ввімкнення не потрібно подачі зовнішнього керуючого сигналу.

У роботі аналізуються напівпровідникові ключі на основі польових структур із внутрішнім зворотним зв'язком, що діє на вимикання. Можливий варіант ключа (рис. 4) на n -канальних польових транзисторах містить силовий транзистор $VT1$ і керуючий транзистор $VT3$, який є підсилювачем, що інвертує, та одночасно служить межовим елементом. Процес вимикання носить лавинний (релейний) характер, оскільки підхоплюється внутрішнім зворотним зв'язком. Тому є можливість застосування імпульсних сигналів керування різної тривалості. Нарешті, автоматичне вимикання ключа при досягненні заданого струму перемкнення позбавляє від необхідності установки датчиків струму для організації захисту на стороні високої напруги, їх функції виконує активний опір силового транзистора у стані провідності.

Запропоновано модифікації ключа, наявність внутрішнього зворотного зв'язку в якому дає можливість керування по фронтах керуючого сигналу i_y , з одновитковими обмотками розв'язуючого трансформатора, що дозволяє спростити вихідні каскади системи керування. Активна провідність провідного каналу керуючого транзистора на фронті керування залежить від часу і являє собою об'єкт з змінними параметрами. Розроблена методика аналізу процесів у цих ключах на основі заміни провідності керуючого транзистора еквівалентною

індуктивністю, а також з урахуванням впливу паразитних ємностей та ланок навантаження під час формування фронту керуючого імпульсу. Експериментальні дослідження напівпровідникових ключів на основі польових структур з внутрішнім зворотним зв'язком, що діє на вимикання у складі інвертора напруги з відсікаємим дроселем, показали доцільність запропонованих заходів, а, наприклад, нульовий автогенератор на цих ключах буде простіше ніж мультівібратор Ройера.

У третьому розділі дисертаційної роботи розглянуті перетворювачі, вихідна напруга яких формується в результаті самозбудження перетворювача на основній частоті синусоїдальної ШІМ.

Як правило, перетворювачі із ШІМ містять канал формування несучої частоти і канал формування основної частоти. У роботі розглянуто варіант побудови перетворювальної системи, що дозволяє спростити канал формування основної частоти. На рис. 5 зображена структурна схема перетворювача, у якій силова частина (СЧ) перетворювача діє як *RC*-генератор із самозбудженням. Позитивний частотно-залежний зворотний зв'язок (ЧЗЗ) служить для формування синусоїдальної вихідної напруги перетворювача, а регулятор напруги (РН) є негативним зворотним зв'язком.

Здатність широтно-імпульсного модулятора виконувати функції множинного пристрою використовується для стабілізації і регулювання вихідної напруги. При цьому сигнал з регулятора (РН) впливає на нахил пілкоподібної напруги генератора несучої (ЗГМ). В сталому режимі коефіцієнт підсилення кола позитивного зворотного зв'язку дорівнює одиниці, що дозволяє одержати у ідеальному перетворювачі синусоїдальну низькочастотну складову вихідної напруги (огиначаючу). У дисертації виконаний аналіз впливу реальних факторів на частоту та форму огиначаючої. Тому що силова частина перетворювача входить у контур формування огиначаючої, то зміна струму навантаження може приводити до відхилення частоти. Дослідження, які проведені з використанням лінеаризованої моделі перетворювача, дозволили визначити величину відхилення частоти самозбудження, викликану зміною струму навантаження,

$$\Delta\omega^* = \frac{1}{2k_{\nu}} |z_n^*| |\Delta y_n^*| \sin(\varphi_n + \varphi_n), \quad (2)$$

де k_{ν} - коефіцієнт передачі ЧЗЗ на частоті генерації;

z_n^* - відносне значення опору послідовної ланки вихідного фільтра перетворювача;

Δy_n^* - відносне значення зміни провідності навантаження;

φ_n - фазний кут навантаження;

φ_n - фазний кут послідовної ланки вихідного фільтра.

При використанні у Γ -подібному вихідному фільтрі перетворювача послідовного

резонансного контуру, який налагоджено на основну гармоніку, максимальне відхилення частоти складає близько 3%. Якщо ж використовувати окремий фільтр модуляційної складової для ланцюга частотно-залежного зворотного зв'язку, то практично цілком виключається вплив навантаження на частоту вихідної напруги.

Дослідження перетворювальної системи із самозбудженням на основній частоті показало, що наявність на виході регулятора пульсацій сигналу, який пропорційний напрузі навантаження, приводить до відхилення форми огинаючої вихідної напруги перетворювача відносно заданих. Ці пульсації містять гармоніки з частотами кратними частоті основної гармоніки огинаючої і є наслідком недосконалості регулятора напруги. Вихідний фільтр не може придушити гармоніки регулятора тому, що він призначений для фільтрації гармонік з високою частотою ШІМ. У результаті аналізу отримано, що пульсація вихідної напруги регулятора по старшій гармоніці (друга) не повинна перевищувати 7%, при цьому перекручування вихідної напруги перетворювача буде у рамках діючого стандарту.

Задача регулятора вихідної напруги складається в підтримці коефіцієнта підсилення, рівного одиниці, що забезпечує самозбудження на основній частоті. У роботі проведені дослідження, спрямовані на одержання необхідних регульовальних характеристик. Аналіз проводився на лінеаризованій моделі перетворювальної системи, в результаті чого отримано передатну функцію перетворювача як керованого об'єкта

$$W_n = \frac{1}{\pi} \frac{u_d k_T k_T' u_{ном}}{x_m} \frac{1}{j\omega} = \frac{k_n}{j\omega^*}, \quad (3)$$

де k_T та k_T' – коефіцієнти передачі ланок на входах ЧЗЗ та РН;

$\omega^* = \omega/\omega_0$ – відносне значення частоти;

u_d – напруга живлення;

x_m – амплітуда опорної напруги;

З цієї залежності видно, що стосовно регулятора перетворювач поводить себе як інтегруюча ланка, а k_n відіграє роль коефіцієнта підсилення. Показано, що для стабілізації вихідної напруги перетворювача з необхідною точністю, досить регулятор вихідної напруги використовувати як інтегруючу ланку.

У четвертому розділі розглянуті тиристорні перетворювачі із синусоїдальною ШІМ, що працюють у повторно-короткочасному режимі. Такі перетворювачі мають досить широке застосування в промисловості, наприклад, як пристрої для розмагнічування магнітних систем, пристрої для пуску синхронних машин, асинхронні частотно-регульовані електроприводи короткочасного підключення і ін. Унаслідок повторно-короткочасного режиму роботи такі перетворювачі мають, як правило, невисокі вимоги до ККД, а вимоги до массо-габаритних показників і простоти конструкції виходять на перше місце.

В основу силової схеми перетворювача покладений інвертор напруги з одноступінчастою комутацією (схема Мак-Муррі), і розсіюванням енергії комутуючого контуру у баластовому резисторі. Простота і досить висока надійність комутації дозволила застосувати двополярну ШІМ і одержати синусоїдальну вихідну напругу, яка регулюється як по амплітуді, так і по частоті. Основна увага була приділена розгляду енергетичних характеристик вузла примусової комутації, а також особливостей, що впливають з наявності синусоїдальної ШІМ (змінний коефіцієнт заповнення і мінливе від однієї комутації до іншої значення комутуючого струму). Аналіз процесів у вузлі комутації показав, що доцільно розсіювати в резисторах тільки надлишкову енергію, яка запасасться дроселем у перебігу комутаційного інтервалу, для чого індуктивність дроселя повинна бути досить великою. Якщо припустити індуктивність комутуючого дроселя великою настільки, що пульсаціями струму в дроселі на періоді ШІМ можна зневажити, то середні втрати у двох резисторах при зміні струму навантаження за синусоїдальним законом будуть рівні

$$P_R = \frac{4t_e^*(\kappa_{im}^2 - 0.5)I_{em}u_d}{(\kappa_{im} - 1)}, \quad (4)$$

де t_e^* - відносна величина часу вимикання тиристорів;

I_{em} - максимальне значення струму навантаження

κ_{im} - відношення середнього струму в комутуючому дроселі до амплітудного значення струму навантаження.

На рис. 6 показана зміна втрат у резисторах $f(\kappa_{im})$ при зміні κ_{im} від 1 до 3. Як видно мінімум втрат у резисторах відповідає $\kappa_{im} = 1,7$.

Показано, що конструктивне сполучення резистора, що розсіює надлишкову енергію, з струмообмежуючим дроселем дозволяє спростити конструкцію вузла примусової комутації, а також зменшити масу й об'єм перетворювального пристрою. Розроблено методику розрахунку комутуючого дроселя, який об'єднаний з резистором, де цей дросель повинен забезпечувати задану індуктивність двох послідовно з'єднаних обмоток і заданий сумарний їхній активний опір. Отримано залежність необхідного питомого опору провідникового матеріалу обмотки ρ дроселя від основних конструктивних і електричних параметрів.

$$\rho \approx \frac{F_c^{*2}}{(F_{ок}^* \kappa_o)^{2/3} l_e^*} \frac{(\kappa_{im} - 1)^2}{\kappa_{im}^2} \left(\frac{\kappa_{im}^2 - 0.5}{l_e^* (\kappa_{im} - 1) \tau_n} \right)^{5/3}, \quad (5)$$

де F_c^* і $F_{ок}^*$ - відносне значення перетину осердя і вікна;

κ_o - коефіцієнт заповнення вікна;

τ_n - припустимий перегрів поверхні котушки;

l_e^* - відносне значення середньої довжини витка.

Найбільший вплив на величину питомого опору мають зміна κ_{im} і конструктивні

параметри дроселя, що дозволяє в кожному конкретному випадку підібрати необхідний тип провідникового матеріалу при заданому перегріві обмотки.

У роботі приведені дослідження впливу вузла примусової комутації на гармонійний склад вихідної напруги перетворювача, та була розроблена методика розрахунку вузла примусової комутації тиристорного інвертора, що працює із синусоїдальною ШІМ у повторно-короткочасному режимі.

ВИСНОВКИ

Виконана дисертаційна робота представляє собою рішення комплексу задач, які мають наукове та практичне значення.

1. Запропоновані структури перетворювачів з однорідною комутацією на основі інвертора напруги, з комутуючим відсікаємим дроселем, які дозволяють забезпечити режим примусового вимикання у вторинній ланці, а також переривання струмів, обумовлених зарядом відновлення, без поглинання енергії, що накопичується в комутуючому дроселі.

2. Отримано основні характеристики інверторних схем з відсікаємим дроселем, і надані рекомендації з вибору їх параметрів.

3. Запропоновано варіанти схем з підзарядом комутуючого дроселя та отримані співвідношення для їхнього розрахунку.

4. Запропоновано схеми напівпровідникових ключів із внутрішнім зворотним зв'язком, що діє на вимикання, які мають пороги спрацьовування по напрузі і струму, та нечутливі до параметрів керуючого сигналу по його тривалості і швидкості зміни на фронтах, що дозволяє спростити системи керування і захисту перетворювачів з однорідною комутацією.

5. Розроблено методику розрахунку характеристик напівпровідникових ключів із внутрішнім зворотним зв'язком, що використовує, зокрема, заміну керуючого транзистора, що переключається, еквівалентною індуктивністю.

6. Запропоновано структури перетворювачів з синусоїдальною ШІМ, охоплені позитивним частотно-залежним зворотним зв'язком по основній частоті. Проаналізовано роботу перетворювача з самозбудженням на основній частоті, визначені основні характеристики систем керування.

7. Розроблено методику розрахунку вузлів комутації тиристорного інвертора напруги з розсіюванням у резисторах надлишкової енергії комутації, що працює з синусоїдальною ШІМ та призначений для роботи у повторно-короткочасному режимі. Показано можливість сполучення комутуючого дроселя і резистора, що розсіює надлишкову енергію, з метою спрощення конструкції цього вузла.

8. Результати дисертаційної роботи втілені на п/я М-5740 Мінелектротехпром, а також в учбовому процесі кафедри "Промислової і біомедичної електроніки"

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Греул М.Г., Ересько А.В., Кривошеев С.Ю., Рябенский В.И. Автономный преобразователь с промежуточным звеном высокой частоты для АБП // Вестник ХПИ.-Харьков:ХПИ.-1981.-№206.-С.59-62.

2. Гончаров Ю.П., Греул М.Г., Ересько А.В. Формирователь импульсов для управления силовыми транзисторами // Электротехника.- 1982.-№10. -С.25-29.

3. Гончаров Ю.П., Ересько А.В., Кривошеев С.Ю. Преобразователь с широтно-импульсной модуляцией и зависимым формированием низкочастотной огибающей // Вопросы преобразовательной техники и частотного электропривода. - Саратов: СП. - 1987 -С.56-59.

4. Формирователь импульсов для управления транзисторным преобразователем: А.с. 1089727 СССР, МКИ Н 02 М 1/08 /Ю.П.Гончаров, Э.И.Заика А.В.Ересько, С.Ю.Кривошеев Е.А. Педан (СССР).- №3540106/24-07; Заявлено 17.01.83.;Опубл. 30.04.84, Бюл. №16-3с.

5. Способ управления преобразователем с ШИМ // А.с. 1737674, СССР, МКИ Н 02 М 7/48 / Ю.П.Гончаров, М.Г.Греул., А.В.Ересько, В.С.Фетюхин Э.И.Заика. (СССР).- №4626679/07; Заявлено 27.12.88.; Опубл. 30.05.92. Бюл. №20-3с.

6. Панасенко Н.В. Гончаров Ю.П., Сакара Ю.Д., Ересько А.В., Кривошеев С.Ю., Войтенко А.А. Управление полупроводниковым ключом с внутренней обратной связью, действующей на выключение. //Технічна електродинаміка. Тематичний вип.: Силова електроніка та енергоефективність.- К.: 2000.- Ч.2.-С.56-59.

7. Шидловский А.К., Гончаров Ю.П., Панасенко Н.В., Ересько А.В., Войтенко А.А. Новый силовой полупроводниковый прибор с дуальными свойствами по отношению к тиристоры //Технічна електродинаміка. Тематичний вип.: Проблеми сучасної електротехніки.- К.: 2000.-Ч.1.-С.25-28.

8. Панасенко Н.В., Гончаров Ю.П., Сакара Ю.Д., Ересько А.В., Родин Н.Ю., Свищов А.А. Нетрадиционные схемы преобразователей на базе нового полупроводникового прибора с дуальными свойствами по отношению к тиристоры // Технічна електродинаміка. Тематичний вип.: Проблеми сучасної електротехніки.-К.: 2000. Ч.5.-С.26-31.

9. Гончаров Ю.П., Панасенко Н.В., Ересько А.В., Ивахно В.В., Семененко А.И. Силовые полупроводниковые ключи с внутренней обратной связью, действующей на выключение //Вестник ХГПУ.-Харьков: ХГПУ. -2000.-№106-С.67-74.

10. Гончаров Ю.П., Панасенко Н.В., Семененко А.И. Ересько А.В., Родин Н.Ю. Новая полупроводниковая структура для исполнения однородной коммутации // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті.-Харьков: 2000. -№3.-С.28-31.

АНОТАЦІЇ

Єресько Олександр В'ячеславович. Способи поліпшення характеристик перетворювачів з синусоїдальною ШІМ. -Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.12. – напівпровідникові перетворювачі електроенергії. Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”. Харків, 2001 р.

Розглядаються перетворювачі постійного струму в змінний із ШІМ по синусоїдальному закону, у яких як первинну ланку пропонується використовувати інвертор напруги з відсікаємим комутуючим дроселем. При цьому забезпечується о, комутації в інверторній ланці і зниження втрат у захисних ланцюгах ключів. Запропоновано схеми напівпровідникових ключів із внутрішнім зворотним зв'язком, який діє на вимикання, що робить їх більш пристосованими для виконання однорідної комутації другого роду в інверторній ланці. Розроблено методику вибору параметрів інвертора напруги з відсікаємим комутуючим дроселем, а також розрахунку напівпровідникових ключів із внутрішнім зворотним зв'язком, що діє на вимикання.

Запропоновано структури перетворювачів із синусоїдальною ШІМ, охоплені позитивним частотно-залежним зворотним зв'язком по основній частоті і методику вибору основних параметрів перетворювача.

Розглянуто тиристорний перетворювач постійного струму в перемінний з ШІМ по синусоїдальному закону, що працює в повторно-короткочасному режимі. Розроблено методику вибору параметрів вузла комутації, яка спрямована на спрощення конструкції.

Ключові слова: синусоїдальна ШІМ, однорідна комутація, високочастотна ланка, відсікаємий комутуючий дросель, напівпровідниковий ключ із внутрішнім зворотнім зв'язком, частотно-залежний зворотний зв'язок.

Єресько Александр Вячеславович. Способы улучшения характеристик преобразователей с синусоидальной ШИМ. -Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.12 - полупроводниковые преобразователи электроэнергии. Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”. Харьков, 2001 г.

Рассматриваются преобразователи постоянного тока в переменный с ШИМ по синусоидальному закону. Для структуры с непосредственным преобразователем частоты предлагается использовать инвертор напряжения с отсекаемым коммутирующим дроселем в качестве первичного звена, который является дуальным аналогом известной схемы инвертора тока с отсекающими диодами. Коммутирующий дросель оказывается при этом в цепи приведенного

тока вторичного звена преобразователя, что позволяет ограничивать перегрузки по току, возникающие при коммутациях в непосредственном преобразователе частоты и снизить индуктивность рассеяния трансформатора, которую, как правило, завышают для ограничения перегрузок по току. При этом обеспечивается однородность коммутации в инверторном звене, а также есть возможность использовать однородную коммутацию во вторичном звене, что упрощает устройства коммутационной защиты, повышает КПД и создаёт ряд преимуществ для самого полупроводникового прибора. Предложены схемы полупроводниковых ключей с внутренней обратной связью, действующей на выключение, которые делают их более приспособленными для исполнения однородной коммутации второго рода в инверторном звене. Разработана методика выбора параметров инвертора напряжения с отсекаемым коммутирующим дросселем и расчета полупроводниковых ключей с внутренней обратной связью, действующей на выключение.

Предложена структура преобразователя с синусоидальной ШИМ, охваченная положительной частотно-зависимой обратной связью по основной частоте. В результате всю систему можно рассматривать, как автогенератор с самовозбуждением на этой частоте, что позволяет упростить систему управления. Разработана методика выбора основных параметров структуры.

Проведен анализ тиристорного преобразователя постоянного тока в переменный с ШИМ по синусоидальному закону, работающего в повторно-кратковременном режиме. Разработана методика выбора параметров узла коммутации, направленная на упрощение конструкции.

Ключевые слова: синусоидальная ШИМ, однородная коммутация, высокочастотное звено, отсекаемый коммутирующий дроссель, полупроводниковый ключ с внутренней обратной связью, частотно-зависимая обратная связь.

A.V. Eresko. Methods of improvement of characteristics of converters with sinusoidal PWM.-Manuscript.

Thesis for a candidate of technical science degree on speciality 05.09.12 – semiconductor converters of electric energy. National technical university “Kharkov polytechnic institute”. Kharkov, 2001.

DC/AC converters with sinusoidal PWM are considered, in which it is proposed to use voltage-source inverter with cut-off commutation reactor as a primary stage. In that case the uniform commutation in inverter circuit and reduction of losses in protection circuits of switches are provided. Circuits of semiconductor switches are proposed with internal feedback which works for turn-off, which makes them more suitable for uniform commutation of the second type in the inverter circuit. The methodology of selection of parameters of voltage-source inverter with cut-off

commutation reactor and calculation of semiconductor switches with internal feedback, which works for turn-off, has been developed.

Structures of converters with sinusoidal PWM with positive frequency-dependent feedback by the main frequency and the methodology of their parameters selection are proposed.

The analysis of AC/DC thyristor converter with sinusoidal PWM, which works in short-term repeated mode, has been carried out. The methodology of selection of parameters of commutation circuit has been developed, which simplifies the design.

Key words: sinusoidal PWM, uniform commutation, high-frequency circuit, cut-off commutation reactor, semiconductor switch with internal feedback, frequency-dependent feedback.