

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

(ХарДАЗТ)

На правах рукопису

Чумак Валерій Вікторович

УДК 629.423.3:621.3.024:621.314

БОРТОВА СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ЕЛЕКТРОВОЗІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НА
ОСНОВІ СТАТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Спеціальність: 05.22.07. Рухомий склад залізниць
та тяга поїздів

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 1997



00738149 (W)

629.4 +
629.424

Робота виконана на кафедрі " Систем електричної тяги " в Харківській державній академії залізничного транспорту (ХарДАЗТ).

Науковий керівник - доктор технічних наук
М.В. Панасенко

Офіційні опоненти - доктор технічних наук,
професор О.М. Сінчук;

кандидат технічних наук,
доцент Г.К. Гетьман.

Провідне підприємство - Харківський державний
політехнічний університет.

Захист дисертації відбудеться "27" червня 1997р. о 13 год 00 хв.
на засіданні спеціалізованої ради Д.02.15.01 при Харківській державній академії залізничного транспорту за адресою: 310050, м. Харків, площа Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці академії.

Автореферат розісланий "26" травня 1997р.

Відгуки на автореферат в двох примірниках, що завірені печаткою, просимо надсилати до спеціалізованої ради академії.

Вчений секретар спеціалізованої
ради, кандидат технічних наук, доцент

П.О. Яновський

AB-38.203

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Створення сучасного електрорухомого складу (ЕРС) для залізниць України орієнтується на найбільш сучасні енергоощадні і надійні електротехнічні системи і їх компоненти. Поява потужних високовольтих двоопераційних тиристорів GTO і транзисторів IGBT дає можливість реалізувати перетворення постійного струму контактної мережі (3000 В) у низьку напругу (нижче 100В) постійного струму для живлення систем управління заряду акумуляторної батареї і т.і., а також перетворювати цю енергію у трьохфазну напругу змінного струму для живлення асинхронних допоміжних електродвигунів. Причому окремі канали живлення в бортовій системі електропостачання повинні бути ізольовані як один від одного, так і від вхідної високовольтної мережі.

На шляху створення таких систем є ряд труднощів і обмежень, таких як необхідність урахування коефіцієнту запасу електричної міцності (не менше 3), проблематичність послідовного з'єднання навіть двох двоопераційних тиристорів через швидкотічність комутаційних процесів і т.і.

Крім того, пристрої, які забезпечують в управляємих модулях автономних перетворювачів комутацію двоопераційних тиристорів, містять у собі реактивні елементи, такі як захисні конденсатори, струмообмежні дроселі, відвід запасеної енергії від яких традиційним розсіюванням у резисторах призводить до зниження к.к.д. перетворювача. Тому при розробці високоефективної бортової системи електропостачання електровозів постійного струму необхідні нові схемотехнічні рішення як в частині загальної топології систем, так і в частині топології вентилюваних комутаторів автономних перетворювачів, реалізуючих режим однорідної комутації ключів, що дозволяє виконувати вмикання двоопераційних тиристорів при нуль-

В. В. Стефанів
1984

вій напрузі на їх снаберних (захисних) конденсаторах.

Таким чином, актуальними завданнями при створенні в Україні електровозів постійного струму, які відповідають світовому рівню, є вибір і обґрунтування раціональної структури бортової системи електропостачання, а також розробка і дослідження напівпровідникових перетворювачів її каналів живлення.

Ціль роботи - розробка і дослідження високоефективної напівпровідникової бортової системи електропостачання електровозів постійного струму.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

- вибір і обґрунтування структури напівпровідникової бортової системи;
- розробка алгоритмів управління перетворювачами і високоефективних схемних рішень напівпровідникових перетворювачів;
- розробка схеми і аналіз перехідних процесів демпфованого LC-фільтра бортової системи;
- розробка основ теорії однорідної комутації вентиляльних комутаторів перетворювачів;
- розробка структури і аналіз процесів вимкнення управляемого ключа з двоопераційним тиристором для перетворювачів з однорідною комутацією.

Методи досліджень включають математичний апарат теоретичної електротехніки, а також фізичне моделювання процесів в електричних колах, до складу яких входять вентилялі.

Наукова новизна :

- обґрунтована раціональна структура високоефективної бортової системи електропостачання для електровозів постійного струму;
- розроблена структура силової частини і алгоритм управління вхідного напівмостового інвертора напруги, який дозволяє одержати стабільну вихідну напругу при зміні напруги живлення;

- розроблений алгоритм управління однофазно- трьохфазним перетворювачем частоти з безпосереднім зв'язком для каналів живлення асинхронних електродвигунів вентиляторів і компресорів, що дало можливість відмовитись від громіздких фазних роздільних реакторів і покращити форму вихідної напруги;

- розроблені модифіковані структури перетворювачів каналів живлення обмоток збудження тягових електродвигунів і кіл управління, які дозволяють поліпшити характеристики цих каналів;

- розроблені структури і зроблений аналіз перехідних процесів LC-фільтра з автоматичним підключенням демпфуючого контуру при повторному дотику пантографа до контактного проводу, що дозволяє обмежити величину перенапруги на конденсаторі фільтра;

- розроблена методологія теорії однорідної комутації тиристорів вентиляльних комутаторів перетворювачів, що дозволяє відмовитись від традиційних схем скидання енергії снаберних конденсаторів при вмиканні тиристорів;

- розроблені структури снаберних кіл управляемого ключа з лінійним двоопераційним тиристором в перетворювачах з однорідною комутацією.

Практична цінність дисертаційної роботи полягає в такому:

1) запропонована схема вискоелективної бортової системи електропостачання для електровоза постійного струму;

2) запропоновані алгоритми управління перетворювачами бортової системи електропостачання електровозу постійного струму;

3) запропонована схема демпфованого вхідного LC-фільтра для бортової системи електропостачання електровоза постійного струму;

4) запропоновано спосіб реалізації режиму однорідної комутації тиристорів вентиляльного комутатора вхідного напівмостового інвертора напруги для бортової системи електропостачання електровоза постійного струму;

5) запропонована схема управляемого ключа з лінійним двоопераційним тиристором і модифікованими снабберними колами для перетворювачів з однорідною комутацією.

Автором особисто розроблені і виносяться на захист:

методологія побудови структури високоєфективної бортової системи електропостачання електровозів постійного струму;

схеми і алгоритми управління напівпровідникових перетворювачів бортової системи електропостачання електровозів постійного струму;

схема вхідного демпфованого LC-фільтра бортової системи електропостачання електровозів постійного струму;

методологія нової класифікації видів комутації тиристорів вентильних комутаторів статичних перетворювачів;

схема управляемого ключа з лінійним двоопераційним тиристором і модифікованим снабберним колом для вхідного перетворювача з однорідною комутацією.

Реалізація результатів роботи здійснювалась шляхом створення лабораторного зразка і розробки технічного завдання на створення бортової системи електропостачання для вантажних електровозів постійного струму ДЕ1, переданих для застосування в дослідно-конструкторських роботах ОКБ систем електричної і інформаційної електроніки при Харківській державній академії залізничного транспорту.

Апробація роботи. Основні результати, одержані в дисертаційній роботі, доповідались на:

конференції "Умови приєднання споживачів до мережі енергосистем", Москва, 1993 р.

1У Міжнародній науково-технічній конференції "Актуальні проблеми розвитку залізничного транспорту", Москва, МІІТ, квітень 1994 р.

57-ій науково-технічній конференції кафедр Харківської державної академії залізничного транспорту і фахівців залізничного транспорту з міжнародною участю, Харків, листопад, 1995 р.

Міжнародній науково-технічній конференції "Силова електроніка в рішенні проблем ресурс- і енергозбереження", Крим, жовтень 1996 р.

IX Міжнародній конференції "Проблеми механізації залізничного транспорту", Дніпропетровськ, 1996 р.

Публікації:

За матеріалами дисертації опубліковано 12 робіт, у тому числі три у двох науково-технічних журналах.

Структура і обсяг роботи.

Дисертація складається із вступу, 5 глав, основних результатів і висновків, списку літератури.

Робота викладена на 159 сторінках машинописного тексту і містить 35 малюнків і 4 таблиці.

У вступі обґрунтована актуальність теми і сформульована мета досліджень, перелічені основні результати роботи, приведені положення, що виносяться на захист.

Перша глава присвячена аналізу основних типів бортових систем електропостачання електровозів постійного струму, задачам, які вирішуються перспективними системами електропостачання, їх складу і принципу дії.

Низька ефективність серійних електромашинних систем бортового електропостачання електровозів постійного струму в основному обумовлена застосуванням для приводу допоміжного устаткування (компресорів, вентиляторів, генераторів) високовольтичних колекторних електродвигунів, розрахованих на роботу безпосередньо від контактної мережі. При цьому, у зв'язку з широким діапазоном зміни напруги у контактній мережі (від 2,2 до 4 кВ) потужність

цих електродвигунів збільшується у $1,5 \div 2$ рази порівняно з розрахунковим номінальним режимом, в результаті чого і одержуємо низькі масо-габаритні, енергетичні і надійносні показники таких бортових систем електропостачання.

Крім того, електромашинні системи бортового електропостачання характеризуються підвищеними рівнями шуму і вібрації, що знижує комфортабельність робочого місця машиніста.

У міру розвитку силової напівпровідникової техніки розробниками електровозів постійного струму були зроблені спроби заміни електромашинних перетворювачів окремих каналів живлення бортових систем електропостачання напівпровідниковими перетворювачами. Так, на електровозі ВЛ15 підсистема каналу живлення обмоток збудження тягових електродвигунів в режимі рекуперації виконана на базі високовольтного однофазного інвертора напруги на одноопераційних тиристорах. Однак, такий підхід не вирішує повністю проблеми підвищення ефективності бортової системи електропостачання електровозів постійного струму, тому що допоміжний електропривід залишається колекторним.

Досягнення сучасної силової напівпровідникової техніки дозволяють перевести в русло практичної реалізації створення бортової системи електропостачання електровозів постійного струму повністю на базі статичних перетворювачів. Це дозволяє вирішити завдання по поліпшенню масо-габаритних, енергетичних і надійносних показників як бортових систем електропостачання, так і допоміжних електроприводів мотор-вентиляторів і мотор-компресорів за рахунок використання асинхронних електродвигунів з короткозамкнутим ротором.

Крім того, такий підхід дозволить знизити витрати електроенергії на вентиляцію тягового електроустаткування за рахунок переходу на автоматичне регулювання подачі охолоджуючого повітря в

залежності від навантаження і температури навколишнього середовища. В свою чергу, застосування асинхронних електродвигунів, не дивлячись на цілий ряд переваг, як-то менші габарити, маса, вартість, підвищена надійність, менші витрати на обслуговування, ставить ряд нових важливих вимог до бортової системи електропостачання: пофазній симетрії і синусоїдальності напруги, стабільності її величини в робочому режимі, можливості регулювання величини і частоти при пусках. Крім того, бортова система електропостачання повинна забезпечувати як узгодження напруги контактної мережі і порівняно низької напруги споживачів, так і гальванічне відокремлення споживачів між собою і контактною мережею.

Для вирішення завдання електромагнітного суміщення бортової напівпровідникової системи електропостачання електровозу постійного струму з контактною мережею на вході бортової системи електропостачання необхідно використання фільтруючого устаткування, яке забезпечувало б споживання із контактної мережі постійного струму з заданим рівнем пульсацій, а також забезпечувало б заданий рівень пульсацій напруги на вході напівпровідникового перетворювача бортової системи електропостачання.

Відповідно з вимогами і завданням, яке потрібно вирішити, і була прийнята базова структура напівпровідникової бортової системи електропостачання електровоза постійного струму.

Вона містить у собі: вхідний напівмостовий інвертор напруги підвищеної частоти на двоопераційних тиристорах з фіксуючими діодами, який приєднується до контактної мережі через LC-фільтр; силовий однофазний трансформатор з 8-ма вторинними обмотками; два управляемі тиристорних однофазних випрямляча для живлення двох пар обмоток збудження тягових електродвигунів при рекуперації; управляемий тиристорний випрямляч для заряду акумуляторної батареї; неуправляемий діодний випрямляч для живлення кіл управління,

сигналізації і зв'язку; три перетворювача частоти з безпосереднім зв'язком для живлення асинхронних двигунів для вентиляторів і компресора; перетворювача частоти для живлення електродвигуна кондиціонера.

Друга глава присвячена розробці алгоритмів управління і схемотехнічних рішень, які поліпшують характеристики перетворювачів бортової системи електропостачання. Для вхідного перетворювача бортової системи електропостачання запропонований напівпровідниковий тиристорний інвертор напруги з фіксуючими діодами, який дозволяє обмежити напругу на його тиристорах на рівні половини напруги контактної мережі і тим самим без послідовного з'єднання напівпровідникових приладів забезпечити для цих елементів потрібний коефіцієнт запасу електричної тривкості. Розроблений алгоритм управління вхідним перетворювачем, при якому регулюється величина паузи між позитивною і негативною півхвилями вихідної напруги інвертора в залежності від величини напруги у контактній мережі, дає можливість при незмінній частоті інвертора одержати незмінну по вольтсекундам у півперіодах змінну напругу, яка прикладається до первинної обмотки вихідного трансформатора. При такому підході у каналі живлення кіл управління, сигналізації і зв'язку для одержання стабілізованої напруги застосовується найпростіша схема однофазного діодного випрямляча, в каналах живлення обмоток збудження і заряду акумуляторної батареї - найпростіші схеми однофазних управляємих тиристорних випрямлячів, які дозволяють здійснювати незалежне поканальне регулювання струму шляхом зміни моменту вмикання тиристорів.

Аналіз впливу частоти інвертування f на такі характеристики вихідного трансформатора з магнітопроводом із холоднокатаної сталі товщиною $\Delta_n = 0.08 \cdot 10^{-3}$ м, як маса і втрати, показує, що робоча частота інвертора повинна вибиратися із умови:

$$600 \text{ Гц} \leq f \leq 900 \text{ Гц}$$

При однаковій потужності це дає зменшення маси трансформатора у 4-5 разів порівняно з частотою 50 Гц.

Для управління низьковольтними асинхронними електродвигунами з короткозамкнутим ротором промислової частоти мотор-компресорів і мотор-вентиляторів найбільш доцільним з точки зору масо-габаритних показників є застосування однофазно-трьохфазних перетворювачів частоти з безпосереднім зв'язком (БПЧ) на основі нульових струмозбірних груп на базі одноопераційних тиристорів з їх циклічним перемиканням по сигналу датчика струму навантаження. При такому управлінні із силової схеми БПЧ виключаються струмообмежні реактори, маса яких порівняна з масою рештої частини силової схеми БПЧ.

Суть запропонованого циклічного способу управління БПЧ полягає в тому, що крім робочої серії управляючих імпульсів, під час яких обмотки електродвигуна через відповідні тиристори струмозбірних груп БПЧ приєднуються до шин джерела живлення підвищеної частоти, на певному інтервалі модулючої напруги на тиристори подаються додаткові управляючі імпульси таким чином, щоб обмотки підмикалися через них тільки до однієї з шин джерела живлення. Тим самим в півхвилях кривої вихідної напруги виключаються проти-полярні викиди напруги, що сприяє поліпшенню гармонічного складу напруги живлення асинхронних двигунів.

Розроблений алгоритм управління тиристорами БПЧ в роботі описаний за допомогою апарату алгебри логіки, який добре поєднується з операціями логічних елементів системи управління.

Порівняний аналіз гармонічного складу вихідної напруги БПЧ при традиційному фазовому способі управління і при запропонованому способі циклічного управління показав, що при співвідношенні частот на вході і виході БПЧ рівному 6, перша гармоніка при

циклічному управлінні збільшується на 50%, а п'ята знижується на 40% порівняно з фазовим управлінням.

Для живлення малопотужного асинхронного електродвигуна кондiціонера рекомендована схема трьохфазного перетворювача частоти із ступенем постійного струму і автономного інвертора напруги на основі неуправляємих (діодних) і управляємих оборотних (транзисторних або тиристорних) модулів.

Одним з найбільш раціональних схемних рішень по поліпшенню характеристик каналів живлення обмоток збудження тягових електродвигунів в режимі рекуперації є схема живлення чотирьох послідовно з'єднаних обмоток збудження від однієї вторинної обмотки трансформатора із середньою точкою через управляємий тиристорний випрямляч. При цьому, для забезпечення регулювання струму в окремих парах обмоток збудження їх спільна точка через дві пари зустрічно-паралельно увімкнених тиристорів приєднується до виводів півобмоток вторинної обмотки трансформатора. В цій схемі швидкість зміни різниці струмів в парах обмоток збудження в 3 рази більше, ніж у базовій схемі бортової системи електропостачання з роздільними каналами живлення пар обмоток збудження.

Для каналу живлення кіл управління, сигналізації і зв'язку рекомендована схема неуправляемого однофазного випрямляча з середньою точкою з шунтуванням його діодів зустрічно-паралельними тиристорами. Таке схемотехнічне рішення дозволяє вимкнути режим переривчастих струмів при малих навантаженнях і забезпечує повернення енергії із навантажень цього каналу у мережу.

Третя глава присвячена дослідженню режимів роботи вхідного кола бортової системи електропостачання електровоза постійного струму, пов'язаних з короткочасними відривами пантографа від контактного провoda.

Встановлено, що при використанні у вхідному колі чисто

емкісного фільтру при відриві і повторному торканні пантографа до контактного провoda збути́ся від великих (близьких до подвійної напруги у контактній мережі) перенапруги на конденсаторі фільтра без додаткових схемотехнічних рішень неможливо при будь-яких практично реалізуємих значеннях ємкості фільтрового конденсатора C_f . Якщо ж у момент повторного торкання пантографа до контактного провoda послідовно з конденсатором фільтра увімкнути резистор, то величина перенапруги $\Delta U = \frac{U_{cm} - E}{E}$ (де U_{cm} - максимальна напруга на конденсаторі фільтра; E - напруга в контактній мережі) буде залежати як від величини ємкості фільтра, так і від величини опору резистора R_d .

Аналіз виразу для величини перенапруги на конденсаторі фільтра при його заряді, через резистор у самому несприятливому випадку, коли електровоз знаходиться посередині ділянки між двома підстанціями

$$\Delta U = \exp \left[\frac{1}{\sqrt{\frac{16\tau\rho\ell}{C_f(\rho\ell + 4R_d)^2} - 1}} \right],$$

де ℓ - відстань між двома підстанціями;

ρ - питомий опір контактної мережі;

τ - постійна часу контактної мережі,

показує, що для обмеження величини перенапруги на рівні $\Delta U = 0,2$ при ємкості фільтра близько 100 мкФ необхідно вмкнути резистор опором 8 - 10 Ом.

На практиці, у вхідному колі бортової системи електропостачання установлюється LC-фільтр, в якому конденсатор C_f забезпечує заданий рівень пульсацій напруги на вході напівмостового інвертора, а індуктивність L_f - заданий рівень пульсацій струму в контактній мережі.

Вмикання резистора R_d в коло заряду конденсатора фільтра не-

обхідно тільки при подачі на вхід бортової системи електропостачання напруги живлення E , а при наявності постійного контакту пантографа з контактним проводом резистор R_d лиш погіршує енергетичні характеристики бортової системи електропостачання. Щоб цьому запобігти, у роботі запропонована і проаналізована схема демпфованого LC-фільтра, в якому демпферне коло із послідовно з'єднаних резистора R_d і дроселя насичення D_n приєднано паралельно індуктивності L_f . При малих пульсаціях напруги на індуктивності L_f , які мають місце у нормальних режимах роботи, дросель насичення D_n не насичений, і резистор R_d практично відімкнутий від індуктивності фільтра L_f . При відриві пантографа з послідуочною подачею напруги на вхід бортової системи електропостачання напруга на індуктивності фільтра L_f стрибком зростає до напруги контактної мережі E , що призводить до насичення дроселя D_n , і резистор R_d приєднується до індуктивності L_f . Тим самим забезпечується зниження величини перенапруги на конденсаторі фільтра. Виконані розрахунки показали, що для значень потокощеплення насичення дроселя D_n в межах $0.044 \text{ Вс} \leq \Psi \leq 0.44 \text{ Вс}$ обмеження перенапруги на конденсаторі C_f на рівні $U = 0.2$ досягається при величині опору резистора R_d близько 10 Ом .

Четверта глава присвячена аналізу режимів комутації двоопераційних тиристорів, розробці основ теорії і реалізації в схемі вхідного напівмостового інвертора напруги бортової системи електропостачання електровоза постійного струму режиму однорідної комутації.

Стосовно до двоопераційного тиристора, його комутація є природною, або пасивною, якщо в ході перемикання прилад не потрапляє в активний режим, який характеризується ненульовими значеннями струму i і напруги u на його структурі одночасно.

Якщо ж активний режим в ході перемикання тиристора виникає,

то комутація двоопераційного тиристора є примусовою, або активною. Енергетичний бік комутаційного процесу двоопераційного тиристора пов'язаний із швидкістю зміни миттєвого опору $r = u/i$ його напівпровідникової структури, мірою якого є потужність S . При природній комутації двоопераційного тиристора зміна опору прилада протікає при відсутності струму і напруги, і, таким чином, потужність комутації дорівнює нулю. При примусовій комутації знак потужності S змінюється в залежності від того вмикається ($S < 0$), або вимикається ($S > 0$) двоопераційний тиристор. Якщо процес комутації розглядати узагальнено як процес зміни миттєвого опору елемента схеми, то властивістю примусової комутації будуть володіти і реактивні елементи снаберного кола двоопераційного тиристора, тобто дроселі генерують комутаційну потужність вмикання ($S < 0$), а конденсатори - комутаційну потужність вимикання ($S > 0$).

Потужність комутації підлягає закону збереження.

$$\sum_{m=1}^n S_m = 0,$$

тобто, якщо одним елементом ключа в даний момент часу генерується потужність комутації одного знаку, то іншими елементами ключа в цей же момент часу повинна створюватись потужність іншого знаку, причому в рівній кількості. При заданому значенні потужності комутації S , енергоспоживання елемента управляемого ключа тим менше, чим менше час знаходження комутуючого елемента в активному режимі, тобто чим більше його швидкодія.

Якщо розглядати вентильний комутатор інвертора як сукупність управляемих тиристорних ключів, виконуючих перемикаючі функції, то в схемі комутатора можливі два види комутації:

- першого роду, тобто шляхом збільшення опору ключа, який закінчує проводити струм ($S > 0$);

- другого роду, тобто шляхом зменшення опору ключа, вступаючого в дію ($S < 0$).

Відсутність примусового вмикання ключа при комутації першого роду означає неможливість розряду конденсаторів снаббера на двоопераційні тиристори. Тому відпадає необхідність в обладнанні обмежень розрядного струму конденсаторів снабберних кіл. Енергія, запасена в конденсаторах снабберних кіл ключа, який вмикається, переходить в конденсатори снабберних кіл ключів, які вимикаються. При комутації другого роду в індуктивних снабберах досить використати лише дроселі, тому що при цій комутації не виникає примусове вимкнення ключів із швидким перериванням струму в дроселях, що призводило б до визволення запасеної в них енергії. Тому, якщо у вентильному комутаторі послідовно відбувається комутація ключів тільки першого або тільки другого родів, то в схемі інвертора реалізується однорідна комутація. Якщо ж вони чергуються, то комутація буде неоднорідною.

Отже, реалізуючи однорідну комутацію у вхідному напівмостовому інверторі напруги бортової системи електропостачання за рахунок тільки першого роду комутації ключів, нам не потрібно розсіювати або повертати енергію, запасену в ємкісних снабберах двоопераційних тиристорів. Тим самим ми спростуємо схему управління ключа і підвищуємо к.к.д. інвертора. В роботі розглянуто також спосіб забезпечення режиму однорідної комутації у вентильному комутаторі вхідного напівмостового інвертора напруги, який дозволяє реалізувати цей режим при широкому діапазоні зміни струму навантажень бортової системи електропостачання.

Цей спосіб заснований на забезпеченні режиму перезаряду конденсаторів снабберних кіл за рахунок намагнічуючого струму вихідного трансформатора при малих струмах навантаження.

П'ята глава присвячена розробці схем снабберних кіл управ-

ляємих ключів вхідного напівмостового інвертора напруги, реалізуючого режим однорідної комутації, їх особливостям роботи, а також аналізу процесів у силовій схемі управляємих ключів при примусовому вимкненні лінійного двоопераційного тиристора.

Застосування чисто емкісних снабберних кіл в ключах для вентиляльних комутаторів, реалізуючих однорідну комутацію за рахунок тільки примусового вимкнення ключів забезпечує працездатність інвертора тільки у його сталому режимі. Для обмеження ж розряду снабберних, а також фільтрових конденсаторів при пускових і аварійних режимах в схему ключа послідовно з лінійним тиристором уводиться лінійний дросель, шунтований діодом. В сталому режимі роботи ключа енергія лінійного дроселя не розсіюється і не повертається джерелу живлення, а замикається у контурі "лінійний дросель - шунтуючий діод". У перехідних режимах, пов'язаних з різким збільшенням струму понад струм навантаження, лінійний дросель грає роль обмежувача швидкості наростання струму через лінійний тиристор ключа. В роботі розглянуті також схемні модифікації снабберних кіл управляємих ключів для вентиляльних комутаторів інверторів, реалізуючих режим однорідної комутації тільки за рахунок примусового вимкнення ключів.

Особливості роботи чисто емкісних снабберних кіл при однорідній комутації розглянуті стосовно до напівмостової схеми вхідного інвертора напруги. Показано, що сумарна ємкість снабберного конденсатора вимикаючогося ключа відносно фактично встановленої в схемі ключа збільшується у 1.5 раза, що сприяє зниженню швидкості наростання прямої напруги на вимикаємому лінійному тиристорі ключа. У праці проаналізована робота емкісних снабберних кіл вхідного напівмостового інвертора напруги при зміні струму навантаження, а також проаналізована робота індуктивного снаббера в режимі обмеження швидкості наростання прямого струму в лінійному

тиристорі ключа при його вмиканні.

Перехідний процес вимикання управляемого ключа в схемі перетворювача, реалізуючого режим однорідної комутації, розглянуто на прикладі вхідного напівмостового інвертора напруги. Встановлено, що в снабберних колах існує режим коливального дозаряду конденсаторів снабберних кіл за рахунок енергії, запасеної в індуктивності з'єднуючих провідників. Для зменшення величини перенапруги на снабберних конденсаторах, необхідно максимально зменшувати довжину з'єднуючих провідників.

В праці виконана оцінка залежності комутаційних втрат при вимиканні двоопераційних тиристорів від прямого спаду напруги на них. Одержані якісні залежності добре погоджуються з експериментальними результатами зарубіжних дослідників.

ВИСНОВКИ

Виконані в роботі теоретичні і практичні дослідження по розробці високоефективної напівпровідникової бортової системи електропостачання електровозів постійного струму дозволяють зробити такі основні висновки:

1. Запропонована структура і схема бортової системи електропостачання, яка дозволяє забезпечити низьковольтних допоміжних споживачів електровоза постійного струму електроенергією потрібної якості при зміні в широких межах (2.2 кВ÷4.0 кВ) напруги контактної мережі;

2. Розроблений алгоритм управління вхідним автономним інвертором напруги, який дозволяє одержати напругу на двоопераційних тиристорах, не перебільшуючу половину напруги контактної мережі;

3. Розроблений алгоритм управління перетворювачем частоти з безпосереднім зв'язком для живлення допоміжних 3-х фазних асинх-

ронних електродвигунів, дозволяючий виключити застосування струмообмежуючих реакторів, а також покращити гармонічний склад вихідної напруги;

4. Запропонована схема управляемого випрямляча з підвищеними динамічними якостями для живлення обмоток збудження тягових електродвигунів в режимі рекуперативного гальмування;

5. Розроблена схема демпфованого вхідного LC-фільтра, дозволяюча автоматично без уведення контакторних пристроїв обмежувати на допустимому рівні перенапругу на конденсаторі фільтра при відривах і повторних дотиках пантографа електровоза до контактного провoda;

6. Розроблені основи теорії однорідної комутації двоопераційних тиристорів вентильних комутаторів інверторів і запропонований спосіб її реалізації стосовно до вхідного інвертора напруги;

7. Розроблена схема управляемого ключа з лінійним двоопераційним тиристором і модернізованими снабберними колами для вентильних комутаторів інверторів напруги з однорідною комутацією;

8. Одержана можливість практичної реалізації високоефективної бортової системи електропостачання для грузових електровозів постійного струму ДЗ1 - перших вітчизняних електровозів України.

Основні положення дисертації опубліковані в роботах:

1. Озеров В.И., Озеров М.И., Ротанов В.Н., Чумак В.В. Применение НПЧ в тяговых электроприводах. Электротехника N5.М.,1993.

2. Варченко В.К., Иньков Ю.М., Озеров М.И., Озеров В.И., Чумак В.В. Локомотивный источник питания для централизованного электроснабжения вагонов пассажирских поездов. Электротехника N5, М.1993.

3. Гончаров Ю.П., Панасенко Н.В., Семененко А.И., Чумак В.В.

Применение силовых демпфированных фильтров в преобразователях бортовых систем электроснабжения транспортных средств. Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. 1996, №6, с.19-20, Харьков, ХарГАЖТ.

4.Чумак В.В. "Цифровая система управления трехфазным автономным инвертором напряжения". "Депонированные научные работы".1986 N 1.

5.Иньков Ю.М., Озеров М.И., Чумак В.В. "Система питания вспомогательных цепей электровозов постоянного тока". Материалы конференции "Условия присоединения потребителей к сети энергосистем".Москва,1993.

6.Иньков Ю.М., Озеров М.И., Малютин В.А., Чумак В.В. "Концепция развития электроприводов вспомогательных машин электровозов". Тезисы докладов 1 Международной научно-технической конференции "Актуальные проблемы развития железнодорожного транспорта".Москва, МИИТ. 18-21 апреля 1994.

7.Озеров В.И., Озеров М.И., Ротанов В.Н., Изварин М.Ю., Варченко В.К., Чумак В.В. "Системы управления НПЧ для питания электроприводов вспомогательных машин электроподвижного состава". Тезисы докладов 1 Международной научно-технической конференции "Актуальные проблемы развития железнодорожного транспорта".Москва, МИИТ. 18-21 апреля 1994.

8.Чумак В.В., Озеров М.И., Озеров В.И., Ротанов В.Н., Каблукова Е.А. "Проблемы создания электроприводов вспомогательных машин магистральных электровозов". Материалы IV Международной научно-технической конференции "Проблемы развития локомотивостроения", Крым, 19-24 апреля 1993.

9.Чумак В.В. До питання про перенапруги на входному фільтрі електровозів при відриві пантографа. Тези доповідей 57 науково-технічної конференції кафедр Харківської державної академії

залізничного транспорту та спеціалістів залізничного транспорту за міжнародною участю, Харків, 21-23 листопада 1995.

10.Чумак В.В.Бортова система електроживлення для електровоза постійного струму. Тези доповідей 57 науково-технічної конференції кафедр Харківської державної академії залізничного транспорту та спеціалістів залізничного транспорту за міжнародною участю, Харків, 21-23 листопада 1995.

11.Гончаров Ю.П., Панасенко Н.В., Семененко А.И., Маслов В.Н., Чумак В.В. К вопросу о классификации видов коммутации в полупроводниковых преобразователях и энергетических характеристиках коммутационного процесса. Материалы международной научно-технической конференции. Силовая электроника в решении проблем энерго- и ресурсосбережения. Харьков, 1996.

12.Браташ В.А., Чумак В.В. Основы концепции развития электровозостроения в Украине. Тезисы докладов IX Международной конференции "Проблемы механизации железнодорожного транспорта". г.Днепропетровск, 1996.

В працях, опублікованих в співавторстві дисертанту належить:

в роботах [2,5,6,12] – розробка структури високоефективної бортової системи електропостачання та її схемних рішень;

в роботах [1,7,8] – розробка алгоритмів управління вхідним інвертором напруги і ВПЧ;

в роботі [3] обґрунтована необхідність вхідного демпфованого LC-фільтра і запропонована схема вмикання демпфуючого кола;

в роботі [11] запропонована методологія нової класифікації комутації тиристорів і розроблені модифіковані снаберні кола для ключів з однорідною комутацією.

АННОТАЦИЯ

Чумак В.В. Бортовая система электроснабжения электровозов постоянного тока на основе статических преобразователей.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 - подвижной состав железных дорог и тяга поездов. Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта, г. Харьков, 1997.

Защита работы по разработке структуры и алгоритмов управления бортовой системы электроснабжения электровозов постоянного тока. Результатом работы является создание такой системы электроснабжения, которая позволяет обеспечить низковольтные вспомогательные потребители электровоза электроэнергией требуемого качества при колебаниях напряжения контактной сети, а также заменить вспомогательные высоковольтные коллекторные двигатели трехфазными асинхронными с короткозамкнутым ротором.

Разработаны основы теории однородной коммутации двухоперационных тиристорных вентильных коммутаторов инверторов и предложен способ ее реализации применительно к входному инвертору напряжения. Использование результатов работы позволит обеспечить высокоэффективную работу бортовой системы электроснабжения.

Ключевые слова: двухоперационный тиристор, инвертор напряжения, вентильный преобразователь, бортовая система электроснабжения, коммутация.

ANNOTATION

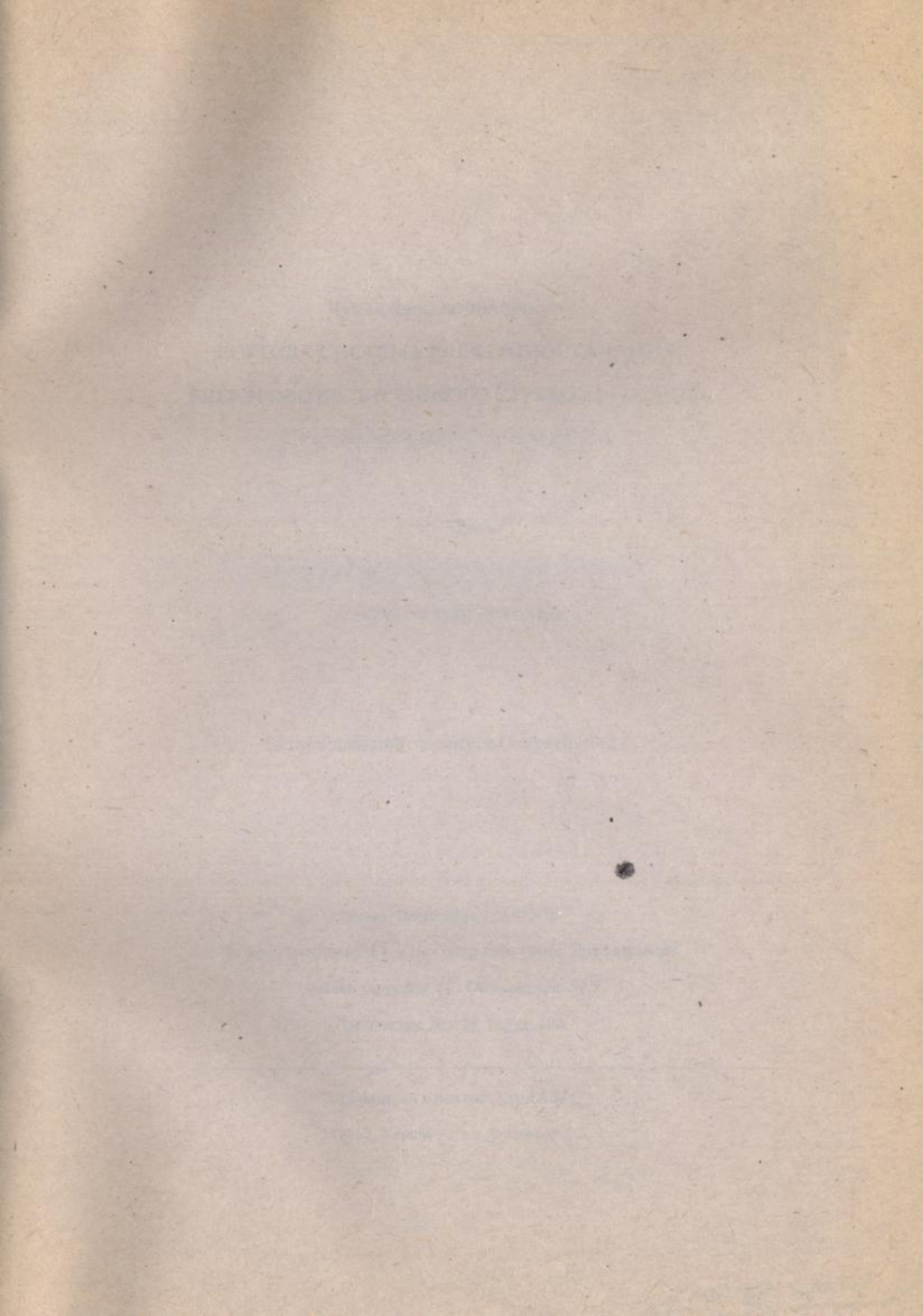
Chumak V.V. The onboard system of electric power supply for the direct current electric locomotives on the basis of the static converters.

The thesis for a candidate of the technical sciences degree under speciality 05.22.07 - rolling stock of the railways and traction of trains. Kharkov State Academy of the Railway Transport, city of Kharkov, 1997.

It is defended the work on the elaboration of the structure and algorithms of the control of the electric power supply onboard system for the direct current electric locomotives. The result of the work is the creation of such a system of electric power supply which allows to provide low-voltage auxilliary loads of an electric locomotive with electric power of the required quality while the voltage oscillations and also to replace the auxilliary high-voltage collector motors by three-phase asynchronous ones with squirrel-cage rotor.

There have been worked out the grounds of the theory of homogeneous commutation of the GTO thyristors of the commutator of the inverters and there has been offered a method of it's realization as applied to an input inverter of voltage. The usage of the work's results will allow to provide highly effective operation of the electric power supply onboard system.

Key words: GTO thyristor, voltage inverter, converter, onboard system of the electric power supply, commutation.



№ 38 500

Чумак Валерій Вікторович
БОРТОВА СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ЕЛЕКТРОВІЗІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НА ОСНОВІ
СТАТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Відповідальний за випуск Семененко О.І.

Підписано до друку 23.05.97р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний. Друк високий.

Умовн.-друк.арк./0. Обл.-вид.арк./25.

Замовлення № 234. Тираж 100.

Видавничий комплекс ХарДАЗТУ,
310050, Харків-50, пл. Фейсрбаха, 7

128441

AB 38.206