

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИЛОВИХ СХЕМ ЕЛЕКТРОННИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ ДЛЯ ПУНКТІВ ЖИВЛЕННЯ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ МЕТРОПОЛІТЕНІВ

Важкі умови роботи рухомого складу метрополітенів, а також складність його діагностики і демонтажу в умовах тунелів, необхідність забезпечення безпеки пасажирів на обмежувальній площі посадочних платформ обумовляє актуальність пошуку шляхів до практичної реалізації нових високоефективних систем електричної тяги метрополітенів.

Аналіз механізму електропостачань метрополітенів показує, що основна причина підвищених енергозатрат прийнятої системи електричної тяги полягає в тому, що тягові підстанції (з шестипульсними діодними випрямлячами) формують порівняно низький коефіцієнт потужності зовнішньої живлячої енергомережі та суттєво в години „пік” збільшують її навантаження, а метрополітени з моторвагонною тягою на основі колекторних двигунів постійного струму потребують значних витрат ресурсів при технічному обслуговуванні і ремонті. Серйозною перешкодою створення високоефективної системи електричної тяги метрополітенів є відсутність цілісного підходу в проектуванні, виготовленні і випробуванні її від зовнішньої енергомережі до тягових двигунів метровагонів. Найважливіша складова такого підходу повинна базуватися на моделюванні принципово нової системи живлення тягової мережі і поглибленому уявленні системи електричної тяги метровагона на основі тягового електропостачання з повздовжньою високовольтною лінією постійного струму і метровагонів з концентрованою чи розподіленою тягою.

Метою даної роботи є розробка та дослідження режимів роботи силових схем електронних трансформаторів постійної напруги для пунктів живлення тягової мережі метрополітенів з повздовжньою високовольтною лінією постійного струму

Аналіз літератури показав, що найбільш доцільними структурами електронних трансформаторів постійної напруги стосовно їх використання для підземних пунктів живлення тягової мережі є структури оборотних електронних трансформаторів з проміжною ланкою однофазного змінного струму підвищеної частоти, які окрім функції трансформації дозволяють реалізувати гальванічну розв'язку повздовжньої високовольтної лінії і тягової мережі, а також забезпечити двосторонній обмін електроенергією між ними [1-4].

Перспективною для використання на пунктах живлення тягової мережі метрополітенів є схема електронного трансформатора постійної напруги з проміжною ланкою однофазного змінного струму підвищеної частоти на однорідних вентильних ланках „інвертор напруги – випрямляч струму (ІН-ВС)” з частотним управлінням (рис. 1), яка дозволяє здійснювати функції трансформації постійної напруги, гальванічної розв'язки та струмообмеження в двох напрямках при „м'якій” комутації напівпровідникових ключів в сталому режимі при суттєво меншій установленій потужності електромагнітних елементів, а також допускає можливість послідовного з'єднання приладів IGBT в ключах без суттєвого ускладнення схеми високовольтного комутатора та формує в електромагнітному трансформаторі практично синусоїдальні струми і „м'які” фронти напруг на його обмотках у сталому режимі [2-4].

На підставі проведених досліджень встановлено, що схеми електронних трансформаторів з проміжною ланкою однофазного змінного струму підвищеної частоти містять два джерела постійної напруги, які умовно називають первинним джерелом високої постійної напруги (12 кВ в повздовжній високовольтній лінії живлення) і вторинним джерелом низької постійної напруги (1,5 кВ в контактній мережі метрополітену). Гальванічну розв'язку первинного і вторинного джерел живлення у електронних трансформаторах постійної напруги з проміжною ланкою змінного струму забезпечує електромагнітний трансформатор високої частоти.

При цьому одержані співвідношення напруг і струмів первинного та вторинного джерел живлення в електронному трансформаторі постійної напруги мають вигляд:

$$U_{d2} = k_T \cdot U_{d1}; \quad i_{d1} = k_T \cdot i_{d2},$$

де: U_{d1}, i_{d1} та U_{d2}, i_{d2} – напруга і струм джерел високої і низької напруг відповідно;

k_T – коефіцієнт трансформації.

На підставі проведеного моделювання режимів роботи силових схем електронних трансформаторів постійної напруги для пунктів живлення тягової мережі метрополітенів з повздовжньою високовольтною лінією постійного струму встановлено необхідність при використанні в конструкції високочастотного електромагнітного трансформатора окремого магнітопроводу для потоку розсіювання та переходу до стрічкових обмоток, а також при реалізації форсованого охолодження можна приблизно на порядок скоротити розміри високовольтного електромагнітного трансформатора проміжної ланки змінного струму однорідного електронного трансформатора з частотним управлінням у порівнянні з електромагнітним трансформатором тієї ж потужності при частоті 50 Гц, а також втричі скоротити втрати потужності, а це, як відомо, є дуже суттєвим позитивним чинником стосовно

підземних пунктів живлення тягової мережі метрополітенів.

Аналіз електронних трансформаторів постійної напруги з проміжною ланкою однофазного змінного струму підвищеної частоти показує, що керовані напівпровідникові прилади первинної вентильної ланки при організації в схемі розподіленої однорідної комутації ключів вмикаються природно. Реалізація розділеної однорідної комутації ключів у вентильних ланках електронного трансформатора, дозволяючої керованим приладам ключів первинної ланки вмикатися природно, створює умови для використання у вентильних ланках одноопераційних керованих приладів, що стосовно первинної високовольтної вентильної ланки говорить про можливість використання в ній двоопераційних ключів знакозмінного струму з керованим напівпровідниковим приладом з властивостями, дуальними властивостям традиційних одноопераційних тиристорів тобто антистиристором. Найбільш простим варіантом однорідного електронного трансформатора на антистиристорах є схема (рис. 1) електронного трансформатора з пороговим управлінням на вентильних ланках „інвертор напруги – випрямляч струму (ІН-ВС)”.

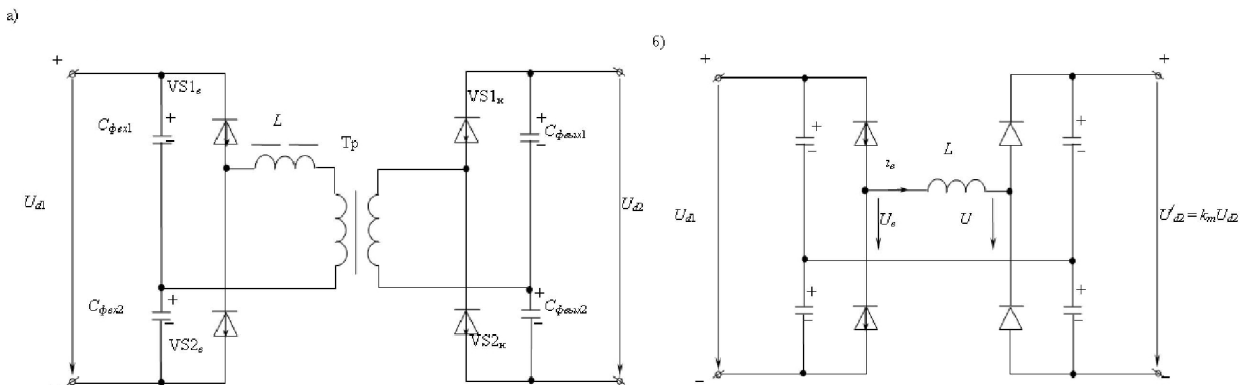


Рис. 1 - Однорідний електронний трансформатор на антистиристорах в напівмостовому виконанні первинної та вторинної вентильних ланок: а) – принципова схема; б) – еквівалентна схема в режимі прямого напрямку передачі енергії

Під впливом різниці напруги $U_{d1} - U'_{d2}$, яка прикладається до дроселя L , струм i_e поступово зростає в перебігу першої частини періоду інвертора по лінійному закону, а після переключення в первинній ланці, коли прикладена до L напруга змінює знак і стає більшою по величині, струму i_e спадає.

Одержані співвідношення щодо однорідного електронного трансформатора на антистиристорах з струмовим пороговим управлінням мають вигляд:

$$\frac{\beta}{U_d^*} = \sqrt{1 - \frac{4}{\pi} \cdot \frac{i^* \cdot f^* \cdot x^*}{U_d^*}}$$

де: β - вторинна напруга, i^* , f^* - відносні значення струму і частоти, x^* - відносний індуктивний опір дроселя L при номінальній частоті, U_d^* - відносна напруга живлення перетворювача

Це співвідношення дозволяє вирішувати задачі синтезу параметрів і характеристик електронних трансформаторів, що забезпечують струмообмеження при коротких замиканнях з боку джерел живлення та стабілізацію напруги на вихідних клеммах як при прямому, так і при зворотному напрямку потоку електроенергії за рахунок реалізації в схемі переривчастого струмового режиму.

Література

1. Синчук О.Н., Лозовой Д.Ю., Чернышев А.А. Тяговый электропривод вагона метрополитена на перспективу. // Вестник НТУ „ХПИ”, вып. 45 „Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика”, Харьков, 2005. – с. 263-264.
2. Хворост Н.В., Гончаров Ю.П., Панасенко Н.В., Панасенко Н.Н. Пути совершенствования системы электрической тяги постоянного тока железных дорог Украины для организации скоростного пассажирского движения. / Жалзничний транспорт України, №6, 2003. – С.11-18.
3. Корольков В.А. Методика определения энергетических показателей статических преобразователей пассажирских вагонов. // Сборник научных трудов ВНИИЖТа „Электрическая тяга на рубеже веков” – М.: Интекс, 2000. – с. 231-246.
4. Гончаров Ю.П., Панасенко М.В., Хворост М.В. та інші. Тяговий трифазний мостовий інвертор напруги на основі вузла однорідної комутації з лінійним дроселем. / Научно-техн. сборник „Коммунальное хозяйство городов”, вып. 67, Киев, Техніка, 2006. – с. 271-278.