

ПІДВИЩЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ РЕЙКОВИХ КІЛ З ЕЛЕКТРОРУХОМИМ СКЛАДОМ ПОДВІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ З АСИНХРОННИМИ ТЯГОВИМИ ДВИГУНАМИ ТА ТЯГОВОЮ МЕРЕЖЕЮ

В роботі використано досліди багатьох авторів про вплив струмових завад від існуючого електрорухомого складу з асинхронними тяговими двигунами (АТД) на рейкові кола, можливість перевищення їх норм, допустимих за безпекою руху поїздів. Для значного зниження впливу завад на пристрої СЦБ та зв'язку розроблено нову перспективну схему силового кола електровоза подвійного живлення з АТД із застосуванням проміжного високочастотного трансформатора.

Ключові слова: проміжний високочастотний трансформатор, асинхронний тяговий двигун, електромагнітні завади, рейкове коло, інвертор

Безпека перевізного процесу на залізничному транспорті розуміється як властивість транспортної системи (ТС) не створювати небезпеки для забезпечення перевезеного вантажу, технічних засобів, об'єктів навколишнього середовища, що перебуває в зоні впливу перевізного процесу [1].

Значну роль в забезпеченні безпеки руху поїзду належить системам залізничної автоматики (СЖАТ), яка визначається як властивість системи безперервно зберігати справний, працездатний або захисний стан протягом певного часу або напрацювання.

Електрифіковані залізниці є джерелом потужних електромагнітних завад, що впливають на системи автоматики та можуть привести до небезпечних збоїв в їх роботі. Згідно [2] до 10 % збоїв в роботі рейкового кола (РК) припадає на електромагнітні завади (ЕМЗ). Основними джерелами потужних електромагнітних завад на електрифікованих залізницях є завади, що генеруються силовими тяговими та допоміжним електроустаткуванням електрорухомого складу (ЕРС).

Останнім часом на залізницях України вводять в експлуатацію ЕРС подвійного живлення з асинхронними тяговими двигунами з імпульсними інверторами, що при роботі створюють завади в широкому діапазоні частот $1 \dots 10^3$ Гц [3], внаслідок чого збільшуються збої в роботі РК.

Тяговий струм протікає від тягової підстанції до ЕРС по контактній мережі та повертається на підстанцію по рейковій лінії і землі.

Завади від тягового струму можуть вплинути на роботу РК за одним з каналів передачі, як зворотній тяговий струм, що протікає по рейковій лінії (РЛ), або як струм, наведений (індуктований) в РК електромагнітним полем тяго-

вої мережі. На величину ЕМЗ, які попадають на вхід колійного приймача (КП), впливає не тільки гармонійний склад тягового струму, але й електричні параметри рейкової лінії, що також визначають амплітуду та спектральний склад завад [4].

Небезпечним впливом на роботу РК зі сторони тягового струму є вплив, що може призвести до помилкового контролю вільності РК при її фактичній зайнятості, а заважаючий б може призвести до порушення нормальної роботи колійного реле при вільній ділянці, внаслідок чого фіксується помилкова зайнятість ділянок при вільній блок-ділянці, що приводить до невинуватених затримок поїзда [5].

Сутність впливу завад тягового струму на роботу РК визначається рівнем його в рейках.

Рух швидкісних поїздів на дільницях з електротягою постійного струму приведе до збільшення струму в тяговій мережі до $5 \dots 10$ кА, що потребує переобладнання контактної мережі і зворотної тягової мережі (дросель-трансформаторів, рейкових і міжрейкових з'єднань та ін.). При таких значеннях тягового струму та високих швидкостях руху існуючої системи сигналізації, централізації та блокування не зможуть забезпечити необхідний рівень безпеки, внаслідок чого збоїв в роботі РК і АЛСН під дією тягового струму.

Завади тягового струму в рейковій лінії швидкісної колії з електротягою змінного струму, по якій рухається ЕРС з АТД та імпульсними перетворювачами енергії, обумовлені протіканням зворотного тягового струму по рейках своєї колії (кондуктивний вплив).

На основі дослідження [4] встановлено, що для одного локомотива з АТД в фідерній зоні струму гармоніки частотою 25 Гц не перевищував значення 1 А, але вже для двох локомотивів

струм гармоніки 25 Гц мав значення 1,073 А, що вважається за впливом на роботу рейкових кіл з сигнальним струмом 25 Гц небезпечним.

Також встановлено [4], що перевищення граничного рівня завад в точці безпосередньо перед локомотивом та в точці підключення відсмоктуючого фідера тягової підстанції при збільшенні загальної кількості локомотивів в межах фідерної зони до п'яти спостерігалось для всіх частот тонального діапазону (420, 480, 520, 720, 780 Гц).

Для двох- або багатоколіїних залізничних дільниць з електротягою одного й того ж струму на сусідніх коліях, індуктивний вплив однієї колії на суміжну є меншим, ніж кондуктивні завади від тягового струму своєї колії. Але для електрифікованих залізниць з різним родом тягового струму на сусідніх коліях при їх зближенні і паралельному проходженні ситуація зовсім інша. Тяговий струм колії змінного струму частотою 50 Гц та його гармоніки в тональному діапазоні частот індуктують е.р.с. і струм взаємодукції в рейкових колах колії з електротягою постійного струму. Індуктовані завади мають частоту 50 Гц та частоти діапазону ТРЦЗ і можуть викликати небезпечний або заважаючий збій в роботі рейкових кіл колії з електротягою постійного струму. Для зменшення електромагнітного впливу електрифікованих залізниць на лінії зв'язку було запропоновано використовувати відсмоктуючі трансформатори, автотрансформатори [6], а також екрануючі проводи [7, 8].

Визначення граничних рівнів електромагнітного впливу тягового рухомого складу і тягової мережі на роботу РК проведено в роботі [4] на основі математичного моделювання з експериментальним підтвердженням основних результатів розрахунків.

Критерієм заважаючого впливу є порушення виконання нормального режиму внаслідок впливу завад при вільному і справному РК, що можливо при зниженні струму приймача нижче струму спрацювання ($I_{рн} < I_{спр}$). Критерієм небезпечного впливу є порушення шунтового або контрольного режиму внаслідок впливу завади, що можливо при підвищенні струму колійного приймача вище струму спрацювання або надійного повернення якоря (сектора) реле.

В роботі [4] встановлено, що гармонійна завада в рейковій лінії в нормальному режимі із діючим (ефективним) струмом більше 4,1 А з частотою в інтервалі 19...31 Гц може привести до заважаючого впливу на роботу кодової РК, а завади з діючим струмом більше 1,1 А і часто-

тою в інтервалі 23...27 Гц при попаданні в РЛ при роботі РК в шунтовому або контрольному режимі може викликати небезпечний збій в роботі кодової РК.

Для зменшення завад тягового струму в РК з електротягою постійного струму, що викликані індуктивним впливом електромагнітного поля тягової мережі сусідньої колії змінного струму в роботі [4] запропоновано метод та засіб на основі регулюючого пристрою, який утворює в активному екрануючому проводі компенсуючий струм, що співпадає за частотою з сигнальним струмом сусідньої колії, амплітуда якого вибирається за умови максимальної компенсації завад в РК. Проте в роботі [4] не приведено експериментальних підтверджень.

Таким чином, одержані в роботі [4] основні наукові результати і рекомендації при використанні їх під час проведення експлуатаційних випробувань нового ЕРС подвійного живлення з АТД, проектуванні і експлуатації електрифікованих залізниць, пристроїв СЦБ не дозволяють в повній мірі підвищити електромагнітну сумісність між тяговим електропостачанням та рейковими колами і як наслідок не зможе підвищити функціональну безпеку рейкового кола.

Особливо гостро стоїть вирішення цієї задачі для електровозів подвійного живлення, які доцільно будувати для залізниць України з метою ліквідації витрат часу при зміні електровозів у місцях стикування контактних мереж постійного струму напругою 3 кВ з мережею змінного струму на 25 кВ, а також зменшення експлуатаційних витрат.

В кінці 80-х років спеціальна комісія Міжнародного Союзу Залізниць (МСЗ) дослідила економічну ефективність використання багатосистемного ЕРС Європи і дійшла наступних висновків [10]:

- економічна ефективність застосування багатосистемного рухомого складу досягається в першу чергу, за рахунок скорочення числа локомотивів в порівнянні з односистемними на 15...20 %;

- досягається економія часу за рахунок відмови від зупинок для зміни локомотивів не менше 30 хв;

- зменшується кількість локомотивних бригад.

Останнім часом НВО «Електровозобудування» випускає чотирьохвісні електровози змінного струму з асинхронними тяговими двигунами ДСЗ і видано завдання до проектування електровоза подвійного живлення з АТД.

В силових схемах таких електровозів застосовується чотирьохквADRантний випрямляч, який являє собою з'єднувальне коло тягового перетворювача з контактною мережею через головний трансформатор.

Напруга проміжного контуру вище, ніж напруга вторинної обмотки трансформатора. Це досягається почерговим замиканням вторинної обмотки трансформатора силовими IGBT-транзисторами і підключенням проміжного контуру до конденсаторів. При цьому виникають пульсації струму з піковими значеннями. За рахунок індуктивності розсіювання трансформатора пульсація струму згладжується і, тим самим, зменшуються пікові значення струму. Ці пульсації струму передаються через трансформатор в рейкові кола. Тяговий перетворювач 4QS зменшує паразитні струму додатково тим, що усі 4QS тактуються зі зміщенням.

Оскільки рейкові кола одночасно використовують в системах автоматики і автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС), а також для пропускання зворотного тягового струму на електрифікованих ділянках залізниць, то дії завад, які генерує рухомий склад, не повинні впливати на роботу АЛС [4].

Для усунення зазначених недоліків запропонована нова перспективна схема силового кола з АТД [12].

Струм яка поступає від контактної мережі спочатку випрямляється перетворювачем 4QS1 (рис. 1), згладжується за допомогою LC фільтра і поступає в блок інвертора, де вона перетворюється знову в змінну напругу, але більш високої частоти (400 Гц). Блок інвертора складається з перетворювача високої частоти і трансформатора.

В даній схемі на рис. 1 блок інвертора (БІ) перетворює випрямлений струм напругою 22,5 кВ в змінний напругою 3750 В, але більш високої частоти відносно частоти струму тягової мережі. Принцип роботи блока інвертора розкрито в роботі [11]. Для зниження напруги на елементах БІ пропонується включити «n» вхідних перетворювачів електровоза послідовно. При цьому вторинна сторона трансформатора підвищеної частоти має по одній обмотці на кожний перетворювач, який безпосередньо живить трифазний тяговий двигун.

В схемі перетворювача вхідна ланка, яка працює в режимі випрямляча, виконана на підвищену частоту. Решта модулів не вимагають внесення змін і залишаються такими ж, як і в традиційній схемі трифазного тягового привода [12]. Схема регулювання перетворювача ко-

нтролює потік потужності через трансформатор. При цьому метою регулювання являється підтримання постійної величини напруги в проміжному контурі цього перетворювача незалежно від величини навантаження на тягових двигунах.

В перетворювачі запропонованої схеми система керування роботою модулів виконана на базі мікропроцесора і дає змогу регулювання потоків потужності в двох напрямках, тобто реалізацію режимів тяги і рекуперативного гальмування.

На рис. 1 представлена структурна схема пристрою керування і діагностики (ПКД).

ПКД або «блок керування» призначений для управління і діагностики тяговим перетворювачем. Він забезпечує наступні функції:

- здійснює контроль температури транзисторів перетворювачів, випрямляючих діодів;
- забезпечує відключення перетворювачів при аварійних ситуаціях;
- виробляє ШІМ-сигнали для управління драйверами потужних IGBT-транзисторів перетворювачів та ін.

Змінюючи коефіцієнт модуляції і кут між мережевою і вхідною напругою можна регулювати споживання реактивної потужності і підтримувати високий коефіцієнт $\cos\phi$, близький до одиниці. При цьому обмотка високочастотного трансформатора буде споживати синусоїдальної форми кривої струму.

Тому зворотній вплив перетворювача на мережу, і відповідно, і на пристрої СЦБ і зв'язку значно знизиться до допустимої величини, враховуючи встановлення мережевого дроселя невеликої індуктивності на вході (рис. 1).

Частота мережі 50 Гц повинна бути перетворена каскадом в таку частоту, яка обумовить компроміс між масою (об'ємом) трансформатора, з однієї сторони, і втратами потужності в силових вентилях перетворювача, з другої.

Для визначення оптимальної частоти було проведено розрахунки однофазних силових трансформаторів від робочої частоти. Аналіз показав, що збільшення робочої частоти з 50 Гц до 400 Гц знижує активну масу трансформатора до 90 %.

Трансформатор підвищеної частоти 400 Гц дозволяє знизити масу одного тягового блока на 50 % порівняно з трансформатором частотою 50 Гц. При цьому ККД тягового трансформатора підвищується до 95 % і вище, що відповідає зниженню втрат в 2 рази порівняно з схемою електровоза ДСЗ (рис. 2).

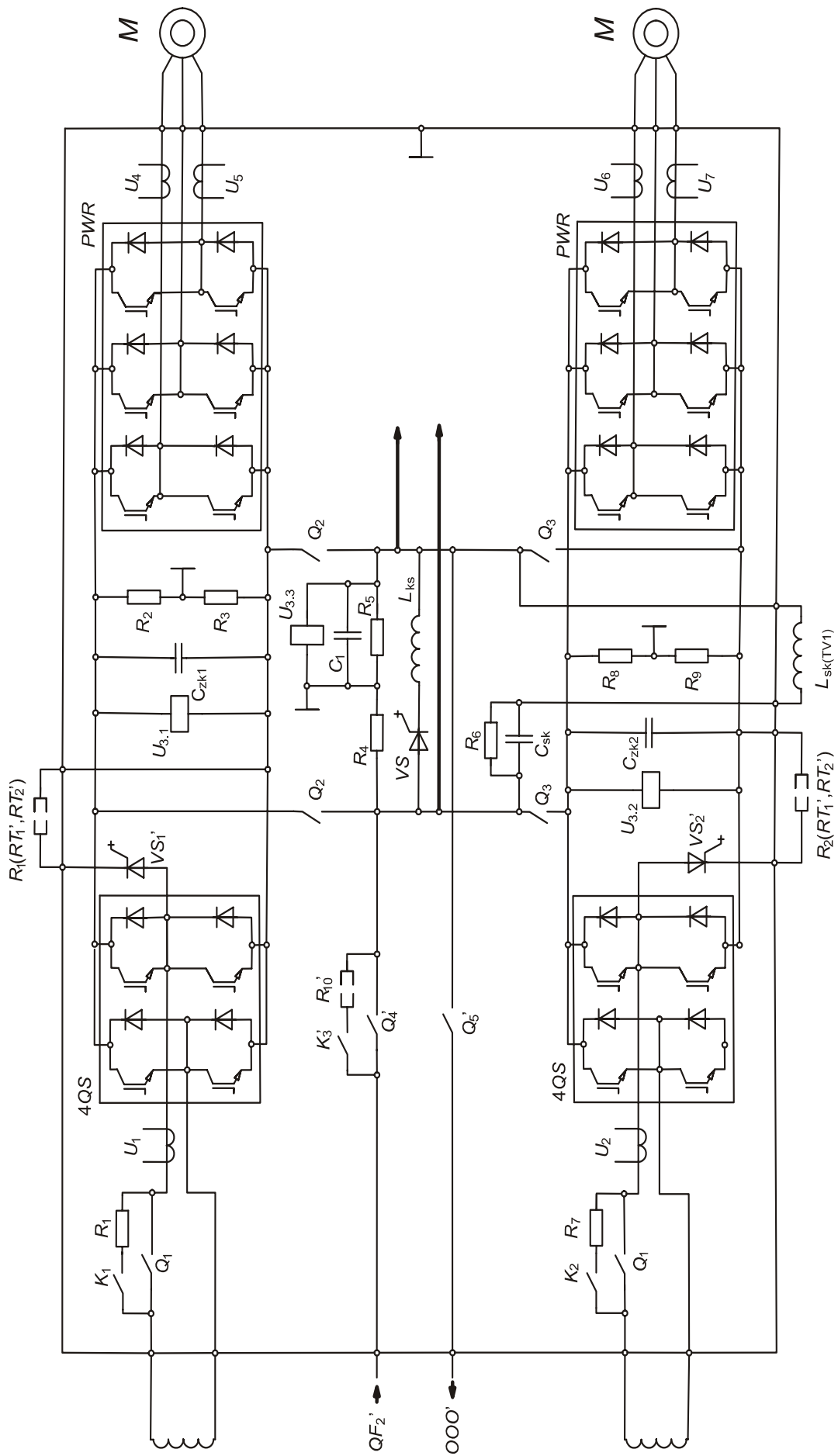


Рис. 2. Электрична схема тягового перетворювача ДС3

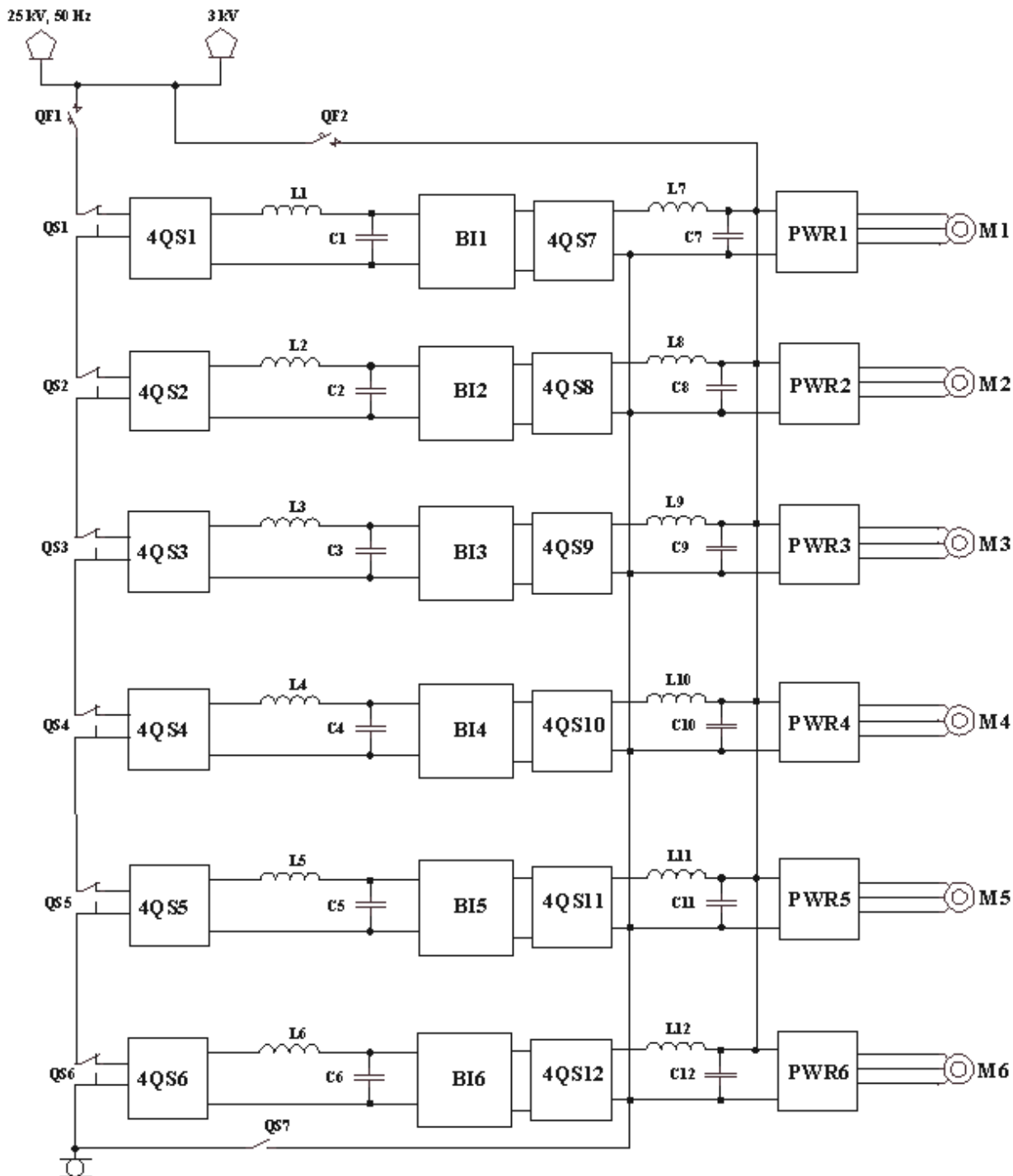


Рис. 3. Функціональна схема електровоза подвійного живлення

Стосовно ККД по тракту випрямляч, інвертор і трансформатор можна очікувати, що він не буде нижчим існуючих схем за рахунок того, що обмотки трансформатора будуть виготовлятися із багатопроволочного мідного проводу, і загальні втрати в трансформаторі, не дивлячись на роботу з частотою 400 Гц, не складуть більше існуючих на 50 Гц, так як маса їх знизиться в два рази. Проте, це вимагає експериментального підтвердження.

Високу експлуатаційну надійність роботи схеми тягового перетворювача з трансформатором підвищеної частоти можна досягти в тому випадку, якщо буде передбачена можливість відключення в процесі експлуатації несправних блоків без порушення роботи тягового привода (тобто аварійна схема).

Це виконується за допомогою силових викивачів F , які перемикають відповідні входні

клеми несправного модуля і відмикають його від обмотки трансформатора (див. рис. 1).

На базі силових напівпровідникових венти-лів IGBT з напругою запирання 6,5 кВ можна встановити ще один (резервний) каскад модуля на первинній стороні ЕРС при умові, що у випадку виникнення несправності буде забезпе-чена можливість відключити один модуль [13]. Цим забезпечиться зберігання більшої частини працездатності електровоза (див. рис. 3).

Висновки

Розроблена нова перспективна схема сило-вого кола ЕРС подвійного живлення з асинх-ронними тяговими двигунами в порівнянні з існуючими схемами має наступні переваги:

1. Відсутність імпульсного відбору енергії перетворювачем від джерела живлення дозво-ляє значно знизити рівень зворотних імпульсів струму в рейковому колі, тягової мережі і на ЕРС і відповідно зменшити вплив на пристрої СЦБ і зв'язку до допустимого рівня [4]. При цьому безпека руху поїздів значно підвищуєть-ся.

2. Завдяки високій частоті подачі вхідної напруги (400 Гц замість 50 Гц) на проміжний високочастотний трансформатор маса його знижується в 2 рази.

Для дослідження запропонованої нової си-лової схеми ЕРС подвійного живлення з АТД необхідно розробити та виготовити дослідний зразок макету тягового привода малої потужно-сті та випробувати його на стенді за спеціально розробленою програмою. Після цього можна буде рекомендувати до розробки технічного проекту заводу-виробнику нового варіанта ЕРС подвійного живлення з АТД.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Сертификация и доказательство систем желез-нодорожной автоматики [Текст] / В. В. Сапож-ников [и др.]; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М.: Транспорт, 1997. – 288 с.
2. Кайнов, В. М. Надежная работа устройств ЖАТ – первостепенная задача [Текст] / В. М. Кай-нов // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 4. – С. 4–9.
3. Ермоленко, Д. В. Повышение электромагнитной совместимости систем тягового электроснаб-жения с тиристорным электроподвижным со-ставом [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн.

- наук : 05.22.09 «Электротранспорт» / Д. В. Ер-моленко. – М., 1991. – 22 с.
4. Завгородній, О. В. Підвищення функціональної безпеки рейкових кіл шляхом забезпечення їх електромагнітної сумісності з тяговою мережею [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту / О. В. Завгородній. – Д., 2011. – 24 с.
5. Лисенков, В. М. Безопасность технических средств в системах управления движением по-ездов [Текст] / В. М. Лисенков. – М.: Транс-порт, 1986. – 83 с.
6. Павлов, И. В. Отсасывающие трансформаторы в тяговых сетях переменного тока [Текст] / И. В. Павлов. – М.: Транспорт, 1965. – 204 с.
7. Бочев, А. С. Эффективность экранирующих проводов многопроводной тяговой сети пере-менного тока [Текст] / А. С. Бочев, Т. П. Добро-вольскис, В. А. Мишель // Вестник ВНИИЖТа. – 1990. – № 8. – С. 17–20.
8. Корниенко, В. В. Испытания тяговой сети с эк-ранирующими и усиливающими проводами [Текст] / В. В. Корниенко // Залізн. трансп. України. – 2001. – № 5. – С. 11–14.
9. Сапожников, В. В. Надежность систем железно-дорожной автоматики и телемеханики [Текст] : учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / Вл. В. Сапожников, В. П. Шаманов; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М.: Маршрут, 2003. – 263 с.
10. Литовченко, В. В. Современные многосистем-ные электровозы [Текст] / В. В. Литовченко // Локомотив. – 1999. – № 1. – С. 6–12.
11. Горбачев, Н. Г. Промышленная электроника [Текст] / Н. Г. Горбачев, Е. Е. Чаплыгин. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – С. 303–306.
12. Вісін, М. Г. Шестивісний магістральний вантаж-ний електровоз подвійного живлення із засто-суванням проміжного трансформатора з висо-кочастотною розв'язкою і з асинхронними тя-говими двигунами [Текст] // М. Г. Вісін, Д. О. Забарилло // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011. – Вип. 36. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 66–71.
13. Victor, M. Преобразование энергии на электро-подвижном составе переменного тока с помо-щью трансформатора повышенной частоты [Текст] / M. Victor // Железные дороги мира. – 2006. – № 6. – С. 49–53.

Надійшла до редколегії 22.11.2011.

Прийнята до друку 24.11.2011.

Н. Г. ВИСИН, Д. А. ЗАБАРИЛО

ПОВЫШЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ С ЭЛЕКТРОПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ С АСИНХРОННЫМИ ТЯГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ И ТЯГОВОЙ СЕТЬЮ

В работе использованы исследования многих авторов о влиянии токовых помех от существующего электроподвижного состава с асинхронными тяговыми двигателями (АТД) на рельсовые цепи, возможность превышения их норм, допустимых по безопасности движения поездов. Для значительного снижения воздействия помех на устройства СЦБ и связи разработана новая перспективная схема силовой цепи электровоза двойного питания с АТД с применением промежуточного высокочастотного трансформатора.

Ключевые слова: промежуточный высокочастотный трансформатор, асинхронный тяговый двигатель, электромагнитные помехи, рельсовая цепь, инвертор

N. G. VISIN, D. A. ZABARYLO

IMPROVING THE ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF TRACK CIRCUITS WITH ELECTRIC ROLLING STOCK OF DOUBLE POWER SUPPLY WITH INDUCTION TRACTION MOTORS AND ELECTRIC-TRACTION NETWORK

In this article the research results of many authors on the effect of current interference from the existing electric rolling stock with induction traction motors (ITM) on the track circuits and the possibility of exceeding the train traffic safety standards are used. The new promising scheme of power circuit for electric locomotive of double power supply with an ITM applying the intermediary high-frequency transformer for reducing significantly the interference effects to SCB and communication devices is developed.

Keywords: intermediary high-frequency transformer, induction traction motor, electromagnetic interference, track circuit, inverter