

УДК 629.423.2:621.313.333

Д. О. ЗАБАРИЛО, Д. М. МАМАСУЄВ (ДНУЗТ)

Каф. «Електрорухомий склад залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010 Дніпропетровськ, Україна, тел.+38(063)446 - 77 - 38, ел. пошта [lazbl@yandex.ru](mailto:lazbl@yandex.ru), ORCID 0000-0002-6206-0012, 0000-0003-0313-7574

## ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ З АСИНХРОННИМ ТЯГОВИМ ПРИВОДОМ

### Вступ

Важливим елементом в забезпеченні стабільного функціонування всіх систем електропоїзда є перетворювач власних потреб. Він забезпечує живленням двигуни допоміжного привода, пристрої зарядки акумуляторних батарей, електричних кіл керування, освітлювальних мереж, систем мікроклімату.

Конфігурація схеми перетворювача власних потреб електропоїзда головним чином визначає параметри таких компонентів схеми як чопер, інвертор, трансформатор, випрямляч та індуктивно-ємнісні елементи фільтрів [1]. Тому правильно спроектована конфігурація схеми перетворювача власних потреб дозволяє мінімізувати його масу, габарити та вартість. В свою чергу конфігурація схеми живлення пристроїв власних потреб залежить від топології силової схеми електропоїзда та наявної елементної бази силових напівпровідникових приладів.

### Мета

Визначення раціональної структури схеми перетворювача власних потреб електропоїздів подвійного живлення з асинхронним тяговим приводом для залізниць України.

### Методика

Для вирішення поставленої задачі були використані основні положення теорії статичних перетворювачів та трансформаторів.

### Результати дослідження

Для підвищення надійності допоміжного привода використовують асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, які живляться від джерела трифазної змінної напруги 380 В, промислової частоти 50 Гц, тому обов'язковим є застосування гальванічної розв'язки високовольтних кіл з допоміжними машинами. На електропоїздах змінного струму (рис. 1) роль гальванічної розв'язки як правило виконує тяговий трансформатор, частина вторинної обмотки якого використовується для живлення пристро-

їв власних потреб. На електропоїздах постійного струму (рис. 2) та подвійного живлення (рис. 3) використовується додатковий трансформатор. В останньому випадку необхідним є також застосування інвертора для живлення обмоток трансформатора.

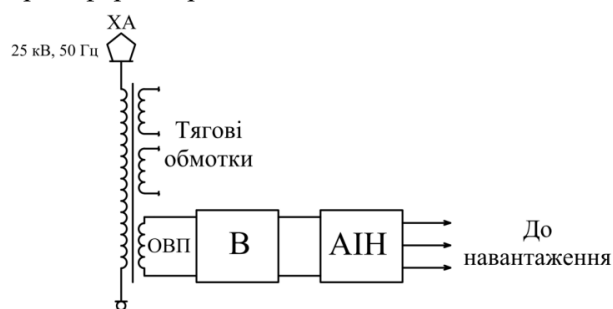


Рис. 1. Функціональна схема живлення пристроїв власних потреб електропоїзда змінного струму

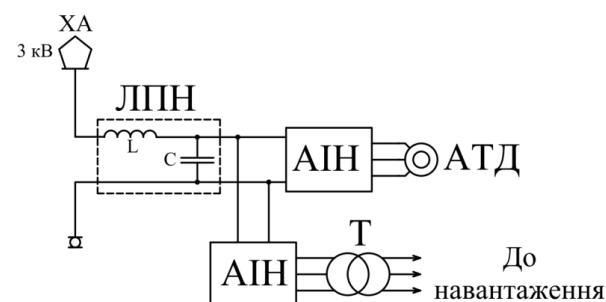


Рис. 2. Функціональна схема живлення пристроїв власних потреб електропоїзда постійного струму

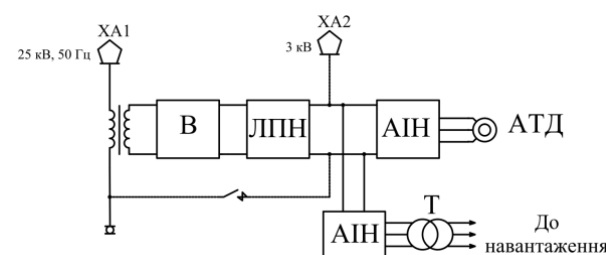


Рис. 3. Функціональна схема живлення пристроїв власних потреб електропоїзда подвійного живлення

Найбільш розповсюдженими структурами схем перетворювачів власних потреб електропоїздів подвійного живлення з асинхронним тяговим приводом є:

- схема з застосуванням вхідного чопера;

- схема прямого підключення однофазного АІН;
- схема прямого підключення трифазного АІН.

### Схема з застосуванням вхідного чопера

При живленні від мережі постійної напруги (рис. 4) [2] використовуються ємнісний подільник і чопер СНР, які призначені для зниження напруги мережі до рівня, необхідного для роботи автономних інверторів напруги PWM. Два інвертори з'єднані послідовно, а на їх вході встановлено ще один ємнісний подільник напруги. Таки чином напруга мережі постійного струму поділяється навпіл спочатку одним ємнісним подільником, а потім ще раз навпіл другим ємнісним подільником, що дозволяє вико-

ристовувати у чопері силові напівпровідникові прилади, розраховані на половину максимальної мережевої напруги, а в інверторах – на одну четверту максимальної напруги тягової мережі постійного струму. Така величина напруг на інверторах дозволяє використовувати силові напівпровідникові прилади 17 класу, які мають значно вищі показники частотних характеристик та відносно низьку вартість порівняно до приладів такого ж типу більш високого класу (наприклад GTO 45 класу або IGBT 65 класу), що дозволяє підвищити частоту широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), а отже, отримати майже ідеальну форму синусоїди струму навантаження інвертора.

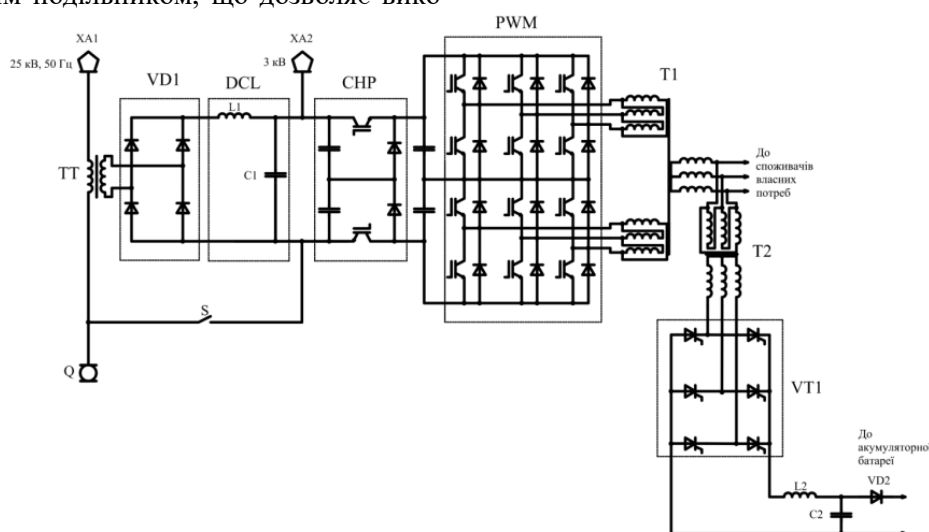


Рис. 4. Схема з застосуванням вхідного чопера

При живленні від мережі змінного струму (див. рис. 4) напруга обмотки власних потреб тягового трансформатора ТТ випрямляється некерованим мостовим випрямлячем VD1, згладжується у ланці постійної напруги DCL і подається на вхід чопера, який знижає і стабілізує напругу.

З виходу інверторів напруга подається до первинних обмоток трифазного трансформатора Т1, який виконує роль гальванічної розв'язки високовольтих кіл з допоміжними машинами. Вторинна обмотка трансформатора живить допоміжні машини трифазною напругою 380 В, частотою 50 Гц. Первинні обмотки трифазного трансформатора як правило з'єднані «трикутником», вторинні – «зіркою». Також до вторинної обмотки трансформатора Т1 підключений трансформатор Т2, на виході якого встановлений керований випрямляч VT1 і фільтр L2C2, які призначені для зарядки акумуляторної батареї.

### Схема прямого підключення однофазного АІН

При живленні від мережі постійного і змінного струму напруга ланки постійної напруги DCL перетворюється за допомогою інвертора VT1 в змінну однофазну напругу, яка живить первинну обмотку трансформатора власних потреб Т1 [2]. Трансформатор виконує роль гальванічної розв'язки і знижає напругу до необхідної величини. Далі напруга вторинної обмотки випрямляється однофазним некерованим мостовим випрямлячем VD1 і подається до поїзної шини власних потреб (train bus supply). З поїзної шини отримують живлення трифазні автономні інвертори напруги, які живлять допоміжні асинхронні машини та кондиціонери. Також від поїзної шини живляться пристрої обігріву та зарядки акумуляторних батарей. Як правило напруга поїзної шини становить 570 В,

що дозволяє отримати на виході інвертора діюче значення трифазної напруги 380 В, 50 Гц.

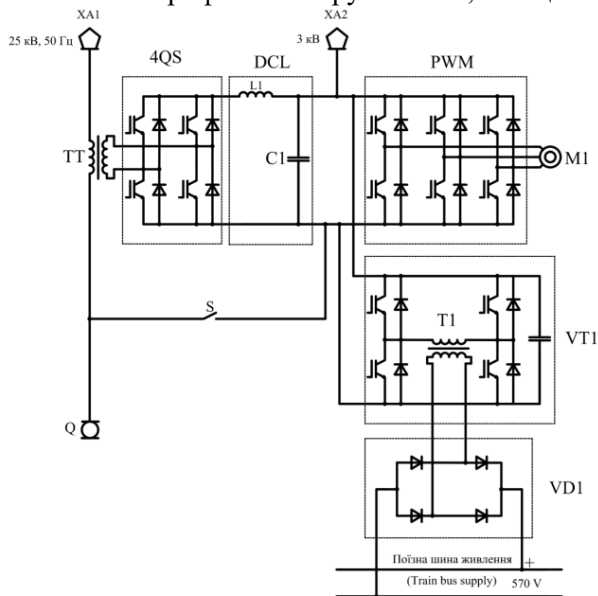


Рис. 5. Схема прямого підключення однофазного АІН

### Схема прямого підключення трифазного АІН

При живленні від мережі постійного струму (рис. 6) напруга ланки постійної напруги DCL1 подається на вхід автономного трифазного інвертора напруги власних потреб PWM2, який живить трифазний трансформатор власних потреб T1 з'єднані «трикутником», а вторинні – «зіркою». На вторинних обмотках трансформатора за допомогою інвертора власних потреб підтримується стабільна трифазна напруга 380 В, 50 Гц.

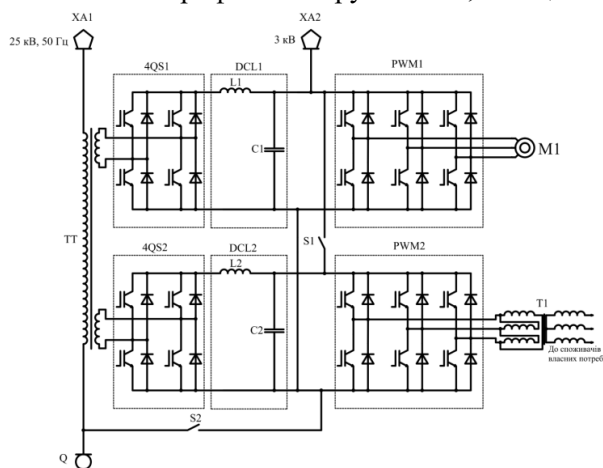


Рис. 6. Схема прямого підключення трифазного АІН

При живленні від мережі змінного струму напруга обмотки власних потреб тягового трансформатора ТТ випрямляється, стабілізується і підвищується до необхідної величини за допомогою чотириквADRантного перетворювача

4QS2 і через ланку постійної напруги DCL2 подається до автономного інвертора напруги PWM2.

Таким чином, при живленні від мережі постійного струму напруга на вході інвертора коливається в діапазоні 2000...4000 В, а при живленні від мережі змінного струму до інвертора подається стабільна напруга величиною, як правило 2800 В.

Наступний варіант схеми передбачає живлення допоміжних машин від ланки постійної напруги при роботі електропоїзда як від мережі постійного струму, так і від мережі змінного струму. При цьому автономний інвертор напруги, який живить первинні обмотки трифазного трансформатора отримує живлення через чофер (рис. 7) або безпосередньо від ланки постійної напруги (рис. 8).

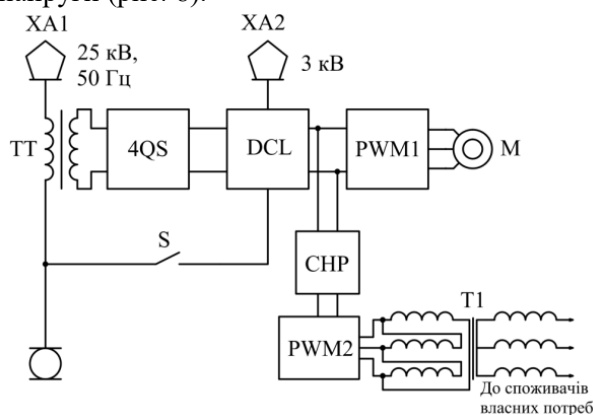


Рис. 7. Функціональна схема живлення допоміжних машин від ланки постійного струму з вхідним чофером

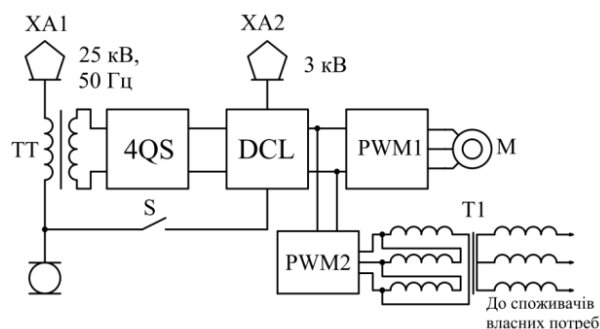


Рис. 8. Функціональна схема живлення допоміжних машин від ланки постійного струму без вхідного чофера

При такій топології схеми силові прилади автономних інверторів, які живлять асинхронні тягові двигуни розраховуються на номінальний струм двигунів, а силові прилади чотириквADRантних перетворювачів на більш високі значення струмів, як правило на 20 % більше номінального струму тягового інвертора. Це пояснюється тим, що через силові прилади вхідного чотириквADRантного перетворювача також

протікає струм навантаження допоміжних машин.

### Схема з застосуванням проміжного трансформатора підвищеної частоти

Новим принципом побудови структур електричних кіл власних потреб є застосування проміжного трансформатора підвищеної частоти, обмотки якого живляться від резонансного інвертора напруги (рис. 9) [3,4]. Принцип дії наступний. Вхідна напруга знижується до необхідного рівня DC-DC конвертором. Конвертор складається з послідовного резонансного інвертора, який перетворює постійну напругу в змінну, частотою, вищою 50 Гц і живить первинну обмотку трансформатора. За допомогою трансформатора здійснюється гальванічна розв'язка кіл високої і низької напруг. Також трансформатор знижує напругу до потрібної величини для живлення автономного інвертора напруги власних потреб. Напруга вторинної обмотки трансформатора випрямляється однофазним некерованим випрямлячем.

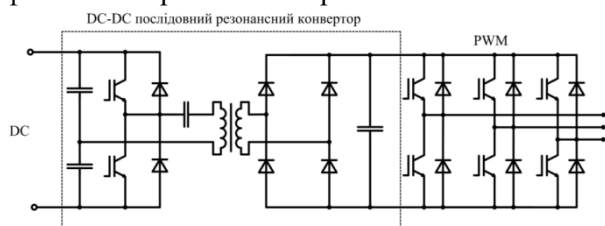


Рис. 9. Схема резонансного конвертора для живлення АІН власних потреб від мережі постійного струму

Хоча в схемі з DC-DC конвертором використовується більша кількість елементів відносно традиційної схеми, проте з точки зору вартості, збільшена кількість елементів компенсується зниженням вартості низьковольтних інверторів. Робоча частота трансформатора знаходиться в діапазоні 10 кГц, що дозволяє знизити вагу трансформатора з сотень до десятків кілограмів.

Послідовний резонансний перетворювач працює без будь-яких зворотних зв'язків. Фіксоване співвідношення вхідної до вихідної напруги визначається лише коефіцієнтом трансформації.

При використанні такого перетворювача для багатосистемних електропоїздів (рис. 10) для регулювання вхідної змінної напруги на вхід DC-DC конвертора потрібно лише встановити двоквADRантний перетворювач 2QS змінного струму.

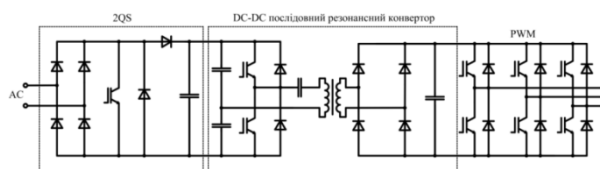


Рис. 10. Схема резонансного конвертора для живлення АІН власних потреб від мережі постійного і змінного струму

Якщо використовувати два вхідні модулі перетворювача, які з'єднані послідовно на первинній стороні і паралельно на вторинній, то можна подавати вхідну напругу вдвічі більшої величини (рис. 11).

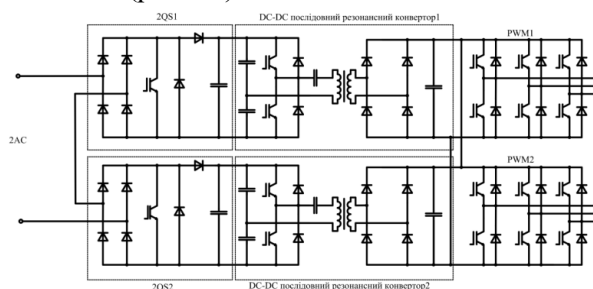


Рис. 11. Схема з'єднання двох резонансних конверторів для живлення АІН власних потреб від мережі постійного і змінного струму

Схема подібної концепції, тобто з використанням трансформатора підвищеної частоти була запропонована для перетворювачів власних потреб електропоїзда ЕД6 [5,6]. В такій схемі (рис. 12) [7] замість резонансного інвертора використовується трирівневий однофазний інвертор.

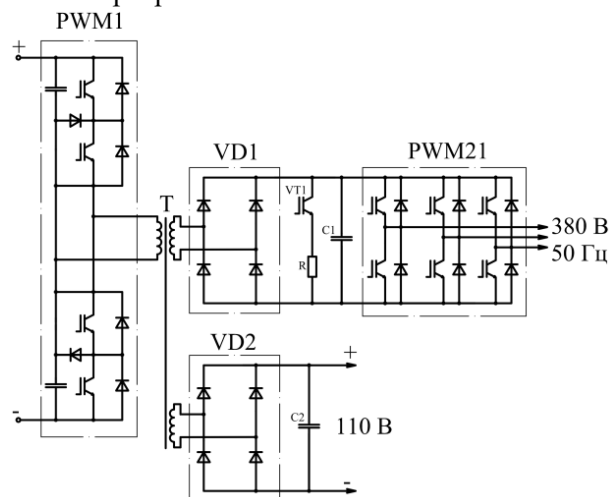


Рис. 12. Схема електричних кіл перетворювача власних потреб електропоїзда ЕД6

Перетворювач отримує живлення з контактної мережі 3 кВ і забезпечує живленням мережу постійної напруги 110 В та трифазну мережу змінної напруги 380 В, 50 Гц. В перетворювачі за допомогою трансформатора забезпечується гальванічна розв'язка мереж 3 кВ, 380 В і 110

В. Для зменшення маси і габаритів трансформатора він виконується на підвищену частоту (1000 Гц).

Напруга контактної мережі перетворюється в однофазну змінну напругу вхідним трирівневим інвертором, який включає в себе чотири транзистори із зворотними діодами, конденсатори та інші елементи. Транзистори вмикаються по два послідовно в кожному плечі вхідного інвертора. Напруга між ними розподіляється за допомогою вхідних конденсаторів, точка з'єднання яких за допомогою діодів сполучається з точками з'єднання одного з іншим транзисторів.

Змінна напруга однієї вторинної обмотки випрямляється випрямлячем VD1 і живить трифазний АІН, який в свою чергу живить трифазною напругою 380 В, 50 Гц відповідні споживачі. Напруга другої вторинної обмотки трансформатора випрямляється і живить споживачі напругою 110 В.

Така конфігурація схеми дозволяє використовувати в перетворювачі силові прилади більш

низького класу та зменшити масу і габарити трансформатора власних потреб.

## Висновки

1. Серед діючих схем перетворювачів власних потреб електропоїздів з асинхронним тяговим приводом найбільш широко використовується схема з «поїзною шиною живлення». Застосування такої схеми дозволяє реалізувати живлення допоміжних машин та інших пристроїв від індивідуальних інверторів, що дає можливість регулювати потужність окремих допоміжних машин. При цьому в інверторах використовуються прилади відносно низького (9...12) класу.

2. Застосування схеми перетворювача власних потреб з використанням проміжного трансформатора підвищеної частоти дозволить знизити масо-габаритні показники перетворювача та його вартість в цілому. Тому схеми подібної концепції можна вважати найбільш перспективними.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пронин М. В. Силовые полностью управляемые полупроводниковые преобразователи (моделирование и расчет) / М. В. Пронин, А. Г. Воронцов, Е. А. Крутякова. – СПб: «Электросила», 2003. – 172 с.
2. Забарило Д. О. Принципи побудови силових схем багатосистемних електровозів нового покоління / Д. О. Забарило // Локомотив-інформ. – Х., 2013. – №8 (86). – С.4-12.
3. Висин Н. Г. Повышение надежности работы систем автоматического управления электропоездов: Монография / Н. Г. Висин, Б. Т. Власенко, Д. А. Забарило / - Дн-вск: Изд-во Маковецкий, 2012. – 256 с.
4. Литовченко В. В. Особенности тягового привода электропоезда ЭД6 / В. В. Литовченко, В. А. Шаров, О. Б. Баранцев, Е. В. Корзина // Локомотив. – 2002. - №8. – С. 17-19.
5. Сиротинкин С. Б. Знакомьтесь: электропоезд ЭД6 / С. Б. Сиротинкин, М. В. Куприянов // Локомотив. – 2001. - №7. – С. 40-42.
6. Steiner M. Medium frequency topology in railway applications / M. Steiner, H. Reinold // Power Electronics and Applications. – Aalborg, 2-5 Sept, 2007. – P 1-10.
7. Hoffman H. High voltage IGBTs and medium frequency transformer in DC-DC converters for railway applications / H. Hoffman H., B. Piepenbreier // Power Electronics Drive Automation and Motion (SPEEDAM) – Pisa, 14-16 June, 2010. – P. 744-749.

Надійшла до друку 01.12.2012.

Внутрішній рецензент *Афанасов А. М.*

Визначено раціональну структуру схеми перетворювача власних потреб електропоїзда з асинхронним тяговим приводом для залізниць України. Внаслідок проведеного аналізу були визначені такі основні структури перетво-

Зовнішній рецензент *Андрієнко П. Д.*

рювачів власних потреб: схема з застосуванням вхідного чопера, схема прямого підключення однофазного автономного інвертора, схема прямого підключення трифазного автономного інвертора. Встановлено, що найбільш раціональною структурою є схема прямого підключення однофазного автономного інвертора напруги. В такій схемі для гальванічної розв'язки високовольтних кіл з низьковольтними колами використовується трансформатор підвищеної частоти. В якості перетворювача можна використовувати резонансний інвертор або трирівневий інвертор напруги. Застосування такої структури дозволить знизити масу і об'єм перетворювача власних потреб, а використання трирівневого інвертора дасть можливість знизити клас силових напівпровідникових приладів і відповідно, вартість перетворювача.

**Ключові слова:** електропоїзд, асинхронний привод, перетворювач власних потреб, трансформатор підвищеної частоти, автономний інвертор напруги, допоміжні машини, резонансний конвертор.

УДК 629.423.2:621.313.333

Д. А. ЗАБАРИЛО, Д. Н. МАМАСУЕВ (ДНУЖТ)

Каф. «Электроподвижной состав железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010 Днепропетровск, Украина, тел.+38(063)446 - 77 - 38, эл. почта [lazbl@yandex.ru](mailto:lazbl@yandex.ru), ORCID [0000-0002-6206-0012](https://orcid.org/0000-0002-6206-0012), [0000-0003-0313-7574](https://orcid.org/0000-0003-0313-7574)

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ С АСИНХРОННЫМ ТЯГОВЫМ ПРИВОДОМ

Определена рациональная структура схемы преобразователя собственных нужд электропоезда с асинхронным тяговым приводом для железных дорог Украины. В результате выполненного анализа были определены такие основные структуры: схема с применением входного чопера, схема прямого подключения однофазного автономного инвертора, схема прямого подключения трехфазного автономного инвертора. Установлено, что наиболее рациональной структурой является схема прямого подключения однофазного автономного инвертора напряжения. В такой схеме для гальванической развязки высоковольтных цепей с низковольтными цепями используется трансформатор повышенной частоты. В качестве преобразователя можно использовать резонансный инвертор либо трехуровневый инвертор напряжения. Применение такой позволит снизить массу и объем преобразователя собственных нужд, а использование трехуровневого инвертора даст возможность снизить класс силовых полупроводниковых приборов и соответственно, стоимость преобразователя.

**Ключевые слова:** электропоезд, асинхронный привод, преобразователь собственных нужд, трансформатор повышенной частоты, автономный инвертор напряжения, вспомогательные машины, резонансный конвертор.

Внутренний рецензент *Афанасов А. М.*

Внешний рецензент *Андриенко П. Д.*

UDC 629.423.2:621.313.333

D. A. ZABARILO, D. N. MAMASUJEV (DNURT)

Department «Electric rolling stock of railways» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after V. Lazaryan, Lazaryana street 2, 49010 Dnipropetrovsk, Ukraine, tel.+38(056)373 - 15 - 04, E-mail [lazbl@yandex.ru](mailto:lazbl@yandex.ru), ORCID [0000-0002-6206-0012](https://orcid.org/0000-0002-6206-0012), [0000-0003-0313-7574](https://orcid.org/0000-0003-0313-7574)

## CONSTRUCTION PRINCIPLES OF ELECTRIC CIRCUIT OF AUXILIARY CONVERTER OF TRAIN WITH ASYNCHRONOUS TRACTION DRIVE

The rational structure of the converter circuit auxiliary electric with asynchronous traction drive for the railways of Ukraine was determined. As a result of the analysis was to determine the main structure of the circuit using the input choppers, the circuit directly connecting single-phase autonomous inverter, circuit directly connecting the three-phase autonomous inverter. Found that the most rational structure is the circuit of direct connection of single-phase voltage inverter autonomous. In such a circuit for electrical isolation of high voltage circuits with low-voltage circuits using high frequency transformer. As the converter can be used resonance inverter or three-level voltage inverter. Applying this will reduce the weight and volume of auxiliary inverter, and the use of a three-level inverter will enable to reduce the class of power semiconductor devices, and accordingly, the cost of the converter.

**Keywords:** train, asynchronous drive, auxiliary converter, high frequency transformer, autonomous voltage inverter, auxiliary machines, resonant converter.

Internal reviewer *Afanasov A. M.*

External reviewer *Andrienko P. D.*