

Ю. С. БОНДАРЕНКО (ДНУЗТ)

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, 49010, м. Дніпропетровськ, Україна, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, тел.: (056) 373-15-47, ел. пошта: bondar198924@gmail.com

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЧАСТОТИ МОДУЛЯЦІЇ ТЯГОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЕЛЕКТРОВОЗІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З АСИНХРОННИМ ПРИВОДОМ НА СУМІЖНІ СИСТЕМИ

Вступ

З початком впровадження в експлуатацію електрорухомого складу з асинхронним тяговим електроприводом (ЕРС з АТЕП) особливо гостро постало питання його електромагнітної сумісності (ЕМС) з суміжними системами електрифікованих залізниць. Особливістю електроприводу такого ЕРС є застосування у його структурі статичного перетворювача частоти який при роботі здійснює негативний електромагнітний вплив на роботу суміжного електротехнічного обладнання. Інтенсивність такого впливу, здебільшого, визначається частотою модуляції вихідної напруги, що живить тяговий асинхронний двигун [1].

Особливістю даних експериментальних досліджень є оцінка ЕМС ЕРС з АТЕП з суміжними системами залізниць постійного струму, яка є недостатньо розкритою через відсутність достатнього досвіду експлуатації ЕРС розглянутого типу.

Постановка задачі

Оскільки повністю виключити вплив ЕРС з АТЕП на вказані суміжні системи неможливо постає задача розглянути можливість його зниження шляхом вибору відповідної частоти модуляції тягового перетворювача, що і визначає напрямок досліджень, проведених у роботі.

Матеріали і результати досліджень

Серед загального переліку електричних систем електрифікованих залізниць, сукупна робота яких забезпечує їх функціонування, головну увагу завжди привертала кола СЦБ та тягового електропостачання. Робота таких кіл безперервно супроводжується наявністю електромагнітної взаємодії з суміжними системами, що може бути причиною їх ненормального функціонування [2]. Однією з ключових систем, електромагнітна взаємодія з якою може бути причиною порушення працездатності систем СЦБ є тягова мережа, вплив якої визначається якістю напру-

ги живлячих енергосистем, яка в свою чергу залежить від характеристик під'єданого до мережі навантаження [3, 4].

Загалом, вплив тягового навантаження на якість електроенергії живлячих енергосистем оцінюється показниками несиметрії та несинусоїдальності струмів та напруг. Несиметрія струмів в енергосистемі, як правило не потребує прийняття спеціальних засобів щодо її симетрування, оскільки в потужних системах тягове навантаження становить не більше 10-15% їх загального навантаження [5].

Ступінь несинусоїдальності струмів та напруг живлячих енергосистем визначається сукупністю у їх складі вищих гармонійних складових. Їх вплив на систему зовнішнього електропостачання є досить не значним і його, як правило, слід враховувати лише при визначенні заважаючого впливу тягової мережі на суміжні системи електрифікованих залізниць.

Специфіка досліджень ЕМС ЕРС з АТЕП передбачає головним чином оцінку його електромагнітного впливу на системи СЦБ, як основні системи, вплив перешкод тягового струму на які може бути причиною порушення нормального функціонування залізниць. Між тим останнє твердження, щодо несинусоїдальності струмів та напруг, надає можливість оцінити його вплив і на мережу зовнішнього електропостачання, проте лише в першому наближенні.

Основою виконання експериментальних досліджень є експериментальна установка, що імітує функціонування АТЕП ЕРС постійного струму, розроблена із застосуванням основних принципів неповного фізичного моделювання та основ теорії подібності [6].

Технічні можливості створеної експериментальної установки дозволяють здійснювати зміну частоти модуляції вихідної напруги перетворювача в досить широких межах – 0,5...16 кГц з кроком в 0,1 кГц. При цьому, аналіз робочих параметрів тягових статичних перетворювачів сучасного ЕРС з АТЕП, як пос-

тійного так і змінного струму, дозволив встановити, що, не зважаючи на технічні можливості сучасних силових вентилів [7, 8], максимальна робоча частота модуляції останніх не перевищує значення 2 кГц та знаходиться в межах 0,45...2 кГц [9, 10]. Ці значення дозволяють внести відповідні обмеження у процес експериментального дослідження.

На рис.1 наведено вибіркові результати гармонійного аналізу осцилограми вхідного струму експериментальної установки з урахуванням приведення амплітуд вищих гармонійних складових до реальних значень через відповідні масштабні відношення:

$$I_{1OP} = \frac{U_{1B} \cdot I_{1B}(P_{2B})}{U_{1M} \cdot I_{1M}(P_{2M})} \cdot \frac{U_{1МОД} \cdot I_{1МОД}}{U_{1OP}} \quad (1)$$

У виразі (1):

U_{1B} , U_{1M} – напруги живлення асинхронних двигунів обох систем;

$I_{1B}(P_{2B})$, $I_{1M}(P_{2M})$ – аналітичні вирази апроксимації характеристик двигунів в загальному вигляді;

$U_{1МОД}$, U_{1OP} – первинні напруги живлення обох систем, відповідно 200 В та 3300 В;

$I_{1МОД}$ – вхідний струм експериментальної установки за результатами експерименту.

Вираз (1) є результатом встановлення подібності експериментальної установки до реальної системи з урахуванням вдосконаленої методик визначення масштабних відношень для нелінійних систем, що мають у своєму складі однакові складові, але різні граничні параметри [11].

На рис. 1:

а) – смуга частот пропускання сигнального струму 25 Гц;

б) – смуга частот пропускання сигнального струму 50 Гц;

в) – смуга частот пропускання сигнального струму 175 Гц;

г) – смуга частот пропускання сигнального струму діапазону ТРЦ-3;

д) – смуга частот пропускання сигнального струму діапазону ТРЦ-4.

В даному випадку результати стосуються частоти модуляції 0,5 кГц, дослідження якої проведено у якості прикладу. Як видно з отриманих результатів найбільшого кондуктивного впливу зазнають РК, що працюють на частотах тонального діапазону ТРЦ-3 (420-780 Гц) смуга пропускання частот сигнального струму яких є найбільш насиченою вищими гармонійними складовими (рис. 1, г). В даному випадку такий характер

впливу є сукупним та пояснюється не лише наявністю у складі досліджуваної системи перетворювача частоти а й особливостями випрямлення напруги трифазним мостовим випрямлячем, що генерує гармонійні складові кратні 300 Гц.

Окрім частот тонального діапазону, значного кондуктивного впливу, за частоти модуляції 0,5 кГц, зазнають РК з частотою сигнального струму 50 Гц значення відповідної амплітуди струму перешкоди для яких перевищує нормоване майже вдвічі.

Аналогічно до розглянутого вище здійснено аналіз решти осцилограм для частот модуляції 0,6...2 кГц, що розглядаються за умовами дослідження.

Результатом проведеного аналізу є отримані залежності зміни амплітуд струмів перешкод (рис. 2), що характеризують ступінь поліпшення показників ЕМС ЕРС з АТЕП постійного струму з системами СЦБ та дозволяють здійснювати налаштування частот модуляції тягового статичного перетворювача в залежності від робочої частоти сигнального струму РК. В загальному випадку під поліпшенням в роботі прийнято не перевищення контрольованими показниками своїх нормованих значень або їх середня відсоткова зміна відносно нормованих значень.

Значення амплітуд струмів перешкод, на отриманих залежностях, наведено у відсотках по відношенню до нормованих значень, що регламентуються [12].

Користуючись отриманими залежностями (рис. 2), з точки зору поліпшення показників ЕМС тягового перетворювача ЕРС з АТЕП постійного струму, можна вказати, що серед досліджуваного діапазону частот модуляції не виявлено жодної, яка б задовольняла умовам безперешкодної роботи РК всіх діапазонів частот сигнального струму. Так, для РК частотного діапазону 25 Гц найбільш рекомендованими до застосування є частоти модуляції 0,5 кГц та 1,4 кГц, за яких спостерігається зниження амплітуд струмів перешкод до рівня 10-12% від нормованих значень.

Для РК з частотою сигнального струму 175 Гц єдиною частотою модуляції, за якої може спостерігатись безперешкодна робота систем СЦБ, є 0,9 кГц. За даної частоти визначено поліпшення показників ЕМС тягового перетворювача ЕРС з АТЕП постійного струму на рівні 25% відносно контрольованих нормованих значень.

Безперешкодна робота РК тонального діапазону з частотами сигнального струму 480 Гц та 720 Гц може спостерігатись за умови застосування частот модуляції 0,7 кГц, 1,5 кГц, 1,6 кГц та 0,7 кГц, 0,9 кГц, 1,6 кГц, 1,9 кГц, 2 кГц відповідно.

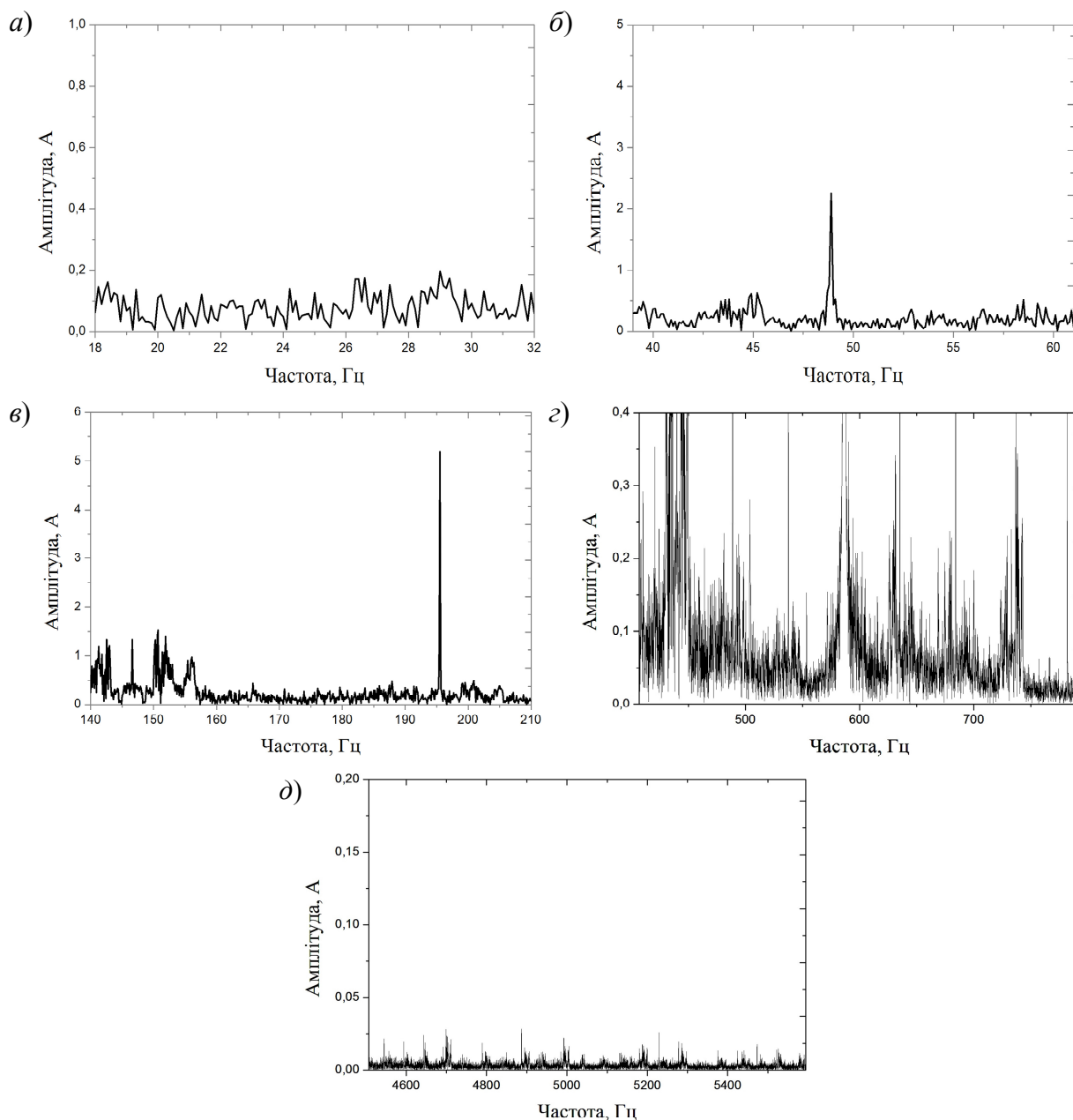


Рис. 1. Вибіркові результати гармонійного аналізу осцилограми вхідного струму експериментальної установки

Такий висновок підтверджується зафіксованим можливим зниженням амплітуд струмів перешкод до рівня 50-60% (480 Гц) та 20-40% (720 Гц) відносно нормованих значень.

Для РК з робочими частотами 50 Гц, 420 Гц, 580 Гц та 780 Гц серед розглянутого діапазону частот модуляції не виявлено жодної частоти, яка б повноцінно задовольняла умови безперешкодної роботи систем СЦБ з точки зору їх ЕМС з ЕРС з АТЕП. Не зважаючи на це існує ряд частот за яких перевищення нормованих значень контрольованих показників ЕМС є найнижчим і які наближено можливо рекомендувати в якості робочих за умови експлуатації розглянутого

ЕРС з вказаними РК. Дані частоти та характерні для них показники ЕМС наведено нижче:

РК 50 Гц – частота модуляції 1,1 кГц (перевищення нормованих значень на рівні 15%);

РК 420 Гц – частота модуляції 1,4 кГц (перевищення нормованих значень на рівні 3%);

РК 580 Гц – частота модуляції 1,9 кГц (перевищення нормованих значень на рівні 67%);

РК 780 Гц – частота модуляції 1,2 кГц (перевищення нормованих значень на рівні 27%);

Аналогічні до рис. 2 залежності побудовано і для обраних контрольованих показників $K_{U(n)}$ та K_U [13], що характеризують якість напруги живлячих енергосистем. Дані залежності наведено на рис. 3 та 4 відповідно.

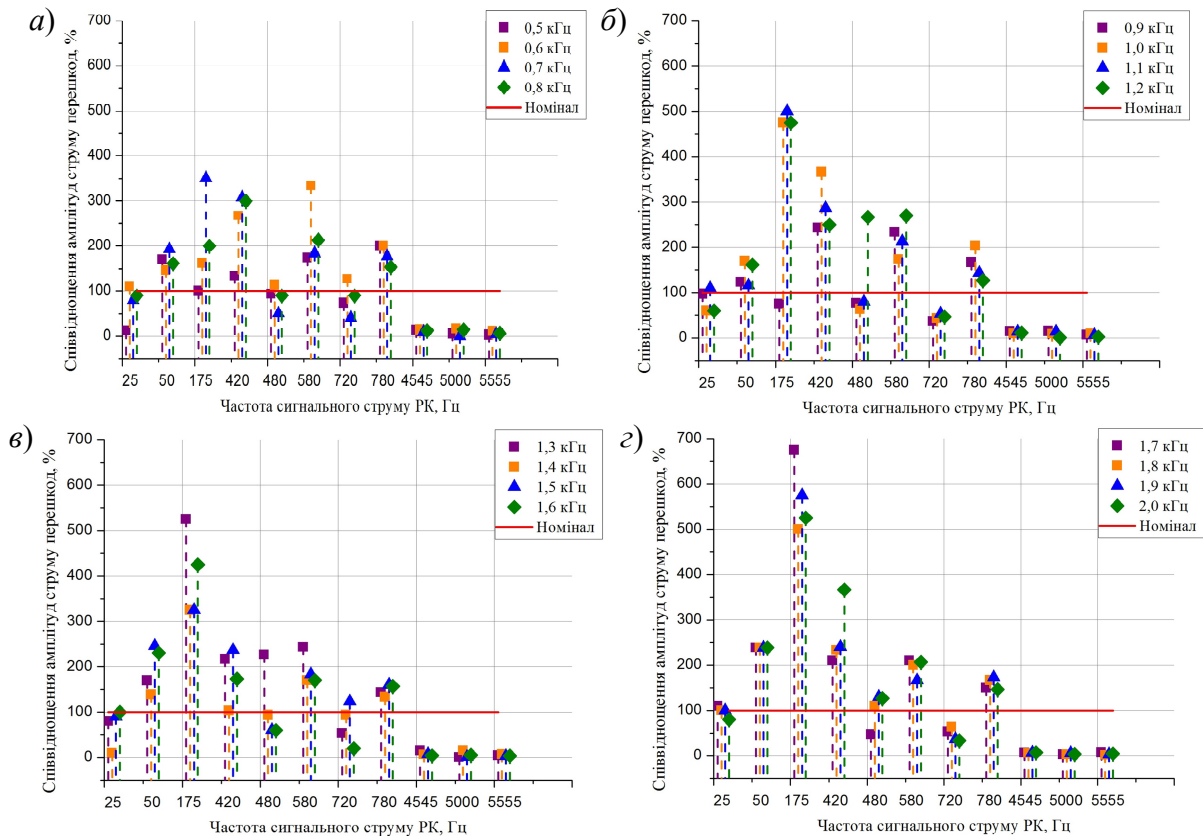


Рис. 2. Залежності зміни струмів перешкод, що характеризують ступінь поліпшення показників ЕМС ЕРС з АТЕП постійного струму з системами СЦБ

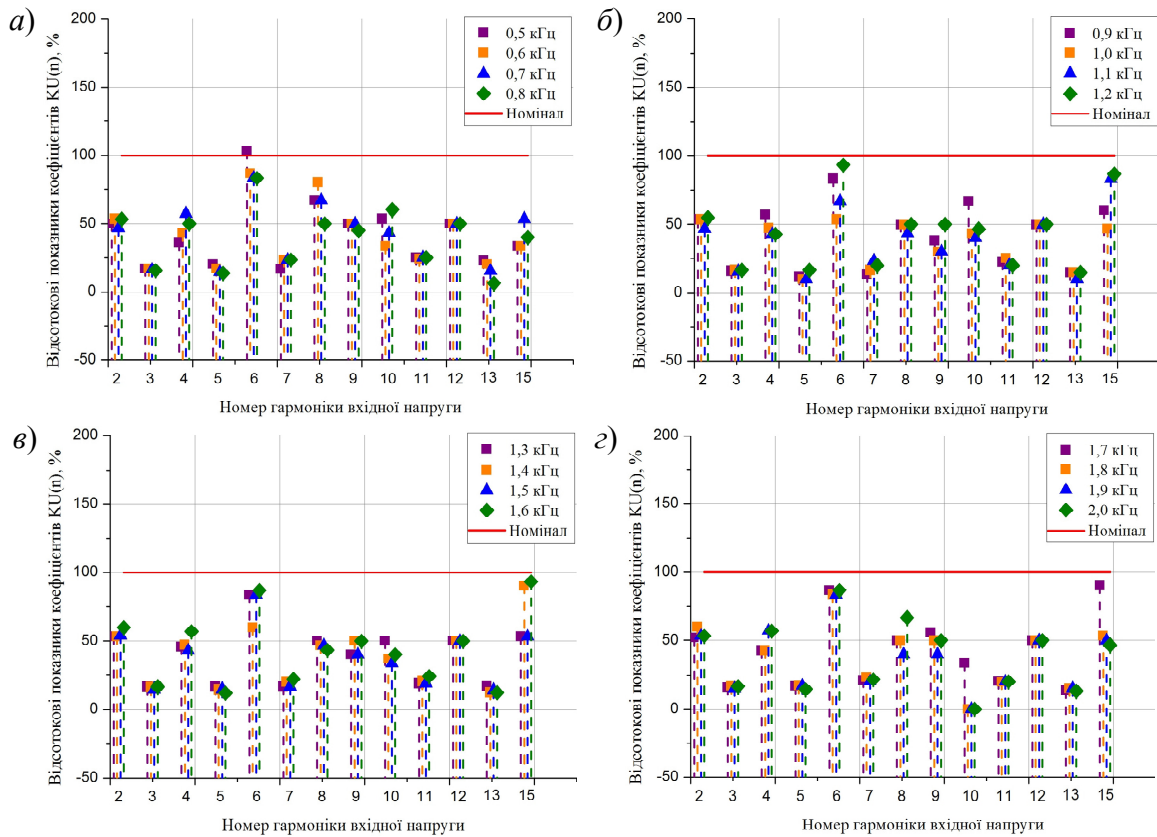


Рис. 3. Залежності зміни показників $K_{U(n)}$, що характеризують ступінь поліпшення ЕМС ЕРС з АТЕП постійного струму з системами зовнішнього електропостачання

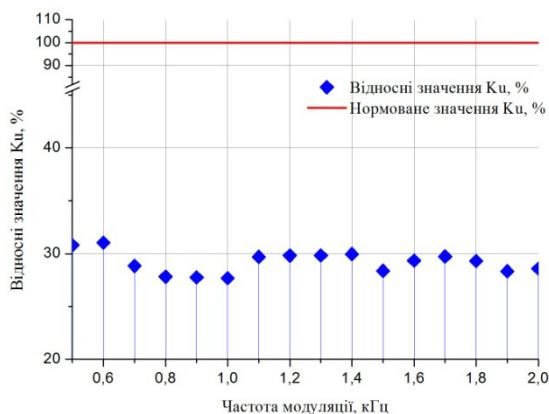


Рис. 4. Залежності зміни показника K_U , що характеризують ступінь поліпшення ЕМС ЕРС з АТЕП постійного струму з системами зовнішнього електропостачання

На підставі отриманих залежностей (рис. 3, 4), з точки зору взаємодії з мережею зовнішнього електропостачання, найбільш рекомендованими до застосування частотами модуляції можуть бути частоти 0,8 кГц, 0,9 кГц, 1 кГц, 1,1 кГц, 1,5 кГц, 1,8 кГц та 1,9 кГц застосування яких дозволяє досягти відносного поліпшення показника K_U до рівня 27 % від нормованого значення та середнього відсоткового значення показника $K_{U(n)}$ до рівня 35-37 % від нормованих значень.

Висновки

Отримані результати досліджень дозволяють зробити відповідні висновки, щодо впливу перетворювача частоти на показники функціонування розглянутих систем та можливості їх поліпшення шляхом зміни частоти модуляції:

- з точки зору систем СЦБ найбільш вразливими до дії перешкод є РК, що працюють на частотах 25 Гц, 50 Гц, 175 Гц та частотах тонального діапазону ТРЦ-3 – 420-780 Гц. За умови сукупної взаємодії АТЕП ЕРС постійного струму

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Литовченко В. В. Определение энергетических показателей электроподвижного состава переменного тока с 4q-S-преобразователями // *Электротехника*. – 1993. – №5. – С.23–31.
- Поплаухин Э. Н. Пособие по ознакомлению с основными принципами работы и системами электроснабжения устройств СЦБ [Электронный ресурс] / Э. Н. Поплаухин, Н. В. Ожиганов. – СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2001. – Режим доступа: <http://групп.пф/index.php?PHPSESSID=hf16jk6ej4r8qlirbmiqkdt5r1&action=profile;u=1;area=showposts>.
- Бадер М.П. Электромагнитная совместимость. – М.: УМК МПС, 2002. – 638 с.
- Сиченко В.Г. Розвиток наукових основ підвищення електромагнітної сумісності підсистем

му з вказаними РК найбільш рекомендованими частотами модуляції тягового перетворювача частоти є: 0,5 кГц та 1,4 кГц – для РК 25 Гц; 0,9 кГц – для РК 175 Гц; 0,7 кГц, 1,5 кГц, 1,6 кГц та 0,7 кГц, 0,9 кГц, 1,6 кГц, 1,9 кГц, 2 кГц – для ТРЦ-3 з частотами 480 Гц та 720 Гц. Застосування вказаних частот модуляції дозволяє досягти відносного зниження амплітуд струмів перешкод на вказаних діапазонах, а отже поліпшення ЕМС розглянутого ЕРС з системами СЦБ, до рівнів: 10-12 % від нормованих значень – для РК 25 Гц; 75 % від нормованих значень – для РК 175 Гц; 50-60 % та 20-40 % від нормованих значень для ТРЦ-3 з частотами 480 Гц та 720 Гц відповідно. Для РК з іншими частотами сигнального струму частот модуляції які б повноцінно задовольняли умовам безперешкодної роботи систем СЦБ з точки зору їх ЕМС з ЕРС з АТЕП постійного струму встановлено не було.

- з точки зору системи тягового електропостачання за жодної з частот модуляції, серед розглянутого діапазону, не було встановлено критичного перевищення контрольованих показників ЕМС (коефіцієнтів K_U та $K_{U(n)}$) при номінальному режимі роботи АТЕП ЕРС постійного струму. Це загалом підтверджує результати отримані у роботі [4]. Не зважаючи на це найбільш рекомендованими до застосування частотами модуляції, за вказаного режиму роботи АТЕП, можуть бути частоти 0,8 кГц, 0,9 кГц, 1 кГц, 1,1 кГц, 1,5 кГц, 1,8 кГц та 1,9 кГц застосування яких дозволяє досягти відносного поліпшення показника K_U до рівня 27 % від нормованого значення та середнього відсоткового значення показника $K_{U(n)}$ до рівня 35-37 % від нормованих значень.

REFERENCES

- Lytovchenko V. V. *Opredelenye enerheticheskikh pokazateley elektropodvyzhnogo sostava peremennogo toka s 4q-S-preobrazovatelayamy* [Energy datum determining of AC electric rolling stock with 4q-S converters], 1993, issue 5, pp.23-31.
- Poplauhina E. N. *Posobie po oznakomleniyu s osnovnyimi printsipami raboty i sistemami elektrosnabzheniya ustroystv STsB* [Manual for familiarization with basic work principles and power supply systems of SCB devices] Available at: <http://групп.пф/index.php?PHPSESSID=hf16jk6ej4r8qlirbmiqkdt5r1&action=profile;u=1;area=showposts>.
- Bader M.P. *Elektromagnitnaya sovmestimost* [Electromagnetic compatibility]. Moscow, UMK MPS Publ., 2002, 628 p.
- Sichenko V.G. *Rozvitok naukovih osnov pidvischennya elektromagnitnoyi sumisnosti pidsystem elektrich-*

електричної тяги постійного струму залізничного транспорту: Дисертація доктора технічних наук. – Д.: ДНУЗТ, 2011. – 396 с.

5. Справочник по электроснабжению железных дорог. Т.1 / под ред. К.Г. Марквардта. – М.: Транспорт, 1980 – 256 с.

6. Бондаренко Ю. С. Експериментальна установка для дослідження електромагнітної сумісності тягових статичних перетворювачів електрорухомого складу з системами електрифікованих залізниць / Ю.С. Бондаренко // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2012. – Вип. 31. – С.101–108 с.

7. Муха А.М. Розвиток наукових основ створення тягових електропередач багатосистемних електровозів: Дисертація доктора технічних наук. – Д.: ДНУЗТ, 2011. – 362 с.

8. Некоторые тенденции в развитии приборов и устройств силовой электроники / Г.В. Грабовецкий, С.А. Харитонов, Е.Б. Преображенский и др. // Химия в интересах устойчивого развития. – 2001. – №9. – С.921–928.

9. Соколов Ю. Н. Электровоз ДС3. Устройство, управление, обслуживание: конспект [для лок. бригад] / Соколов Ю. Н. – К.: КУЕТТ, 2011. – 299 с.

10. Тяговый преобразователь SIBAC E23-3000-1DC-2ST-1STm-oR. Инструкция по эксплуатации. – Siemens AG, 2010. – 106 с.

11. Бондаренко Ю.С. Передумови експериментального дослідження електромагнітної сумісності тягового асинхронного електроприводу в структурі системи тягового електропостачання постійного струму / Ю.С. Бондаренко // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. – 2014. - №3(51). - С.42-50.

12. ЖТ ЦТ 04-98 Электровозы. Нормы безопасности. – М.,1998. – 88 с.

13. Бондаренко Ю.С. Вибір критеріїв для оцінки електромагнітної сумісності тягових перетворювачів перспективних електровозів / Ю.С. Бондаренко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. – 2012. - №42. - С.85-89.

Надійшла до друку 16.10.2014.

Ключові слова: електромагнітна сумісність, електрорухомий склад, асинхронний привод, частота модуляції.

noyi tyagi postynogo strumu zaliznichnogo transportu [Development of scientific fundamentals of improving the electromagnetic subsystems compatibility of DC electric traction railways]. Thesis for getting scientific degree of engineering sciences doctor on the speciality 05.22.09 - electric transport. V. Lazaryan's Dnipropetrovsk national university of railway transport, Dnipropetrovsk, 2011.

5. Markvardt K.G. *Spravochnik po elektrosnabzheniyu zheleznyih dorog* [Handbook for electric supply of electrified railways] Moscow, Transport Publ., 1980, 256 p.

6. Bondarenko Yu. S. *Eksperimentalna ustanovka dlya doslIdzhennya elektromagnitnoyi sumisnosti tyagovih statichnih peretvoryuvachiv elektroruhomogo skladu z sistemaми elektrifikovanih zaliznits* [Experimental set for research electromagnetic compatibility of static traction converters of electric rolling stock with the systems of electrified railways] *Zbirnik naukovih prats Donetskogo Institutu zaliznichnogo transportu* [Miscellany of scientific works of Donetsk institute of railway transport] 2012, issue 31, pp.101-108.

7. Muha A.M. *Rozvitok naukovih osnov stvorenniya tyagovih elektroperedach bagatosistemnih elektrovoviv* [Development of scientific basis for designing of traction electric power transmissions for multisystem electric locomotives] Thesis for getting scientific degree of engineering sciences doctor on the speciality 05.22.09 - electric transport. V. Lazaryan's Dnipropetrovsk national university of railway transport, Dnipropetrovsk, 2011.

8. Grabovetskiy G.V., Haritonov S.A., Preobrazhenskiy E.B. *Nekotorye tendentsii v razvitii priborov i ustroystv silovoy elektroniki* [Some tends in development of instruments and devices of power electronic] *Himiya v interesah ustoychivogo razvitiya* [Chemistry in the interests of steady development] 2001, issue 9, pp.921-928.

9. Sokolov Yu. N. *Elektrovov DS3. Ustroystvo, upravlenie, obsluzhivanie* [DS3 the electric locomotive. Construction, control, service] Kiev, KUETT Publ., 2011. 299 p.

10. *Tyagovyyi preobrazovatel SIBAC E23-3000-1DC-2ST-1STm-oR. Instruksiya po ekspluatatsii*. [SIBAC E23-3000-1DC-2ST-1STm-oR the traction converter. Manual] Siemens AG Publ., 2010. 106 p.

11. Bondarenko Yu.S. *Peredumovi eksperimentalnogo doslIdzhennya elektromagnitnoyi sumisnosti tyagovogo asinhronnogo elektroprivodu v strukturi sistemi tyagovogo elektropostachannya postynogo strumu* [Background of experimental investigation of electromagnetic compatibility tractive asynchronous electric drives in the system structure of traction power DC] *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2014, issue 3(51), pp. 42-50.

12. *ZhT TsT 04-98 Elektrovozy. Normy bezopasnosti*. [Electric locomotives. Standarts of safety] Moscow, 1998. 88 p.

13. Bondarenko Yu.S. *Vibir kriteriyiv dlya otsinki elektromagnitnoyi sumisnosti tyagovih peretvoryuvachiv perspektivnih elektrovoviv* [Choice a criteria for estimating the electromagnetic compatibility of tractive converters of perspective electric locomotive] *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 42, pp. 85-89.

Внутрішній рецензент Костін М. О.

Зовнішній рецензент Андрієнко П. Д.

Станом на 01.01.2011 р. серед загальної експлуатаційної довжини електрифікованих залізниць України (9877 км) близько половини (4764 км) залишається електрифіковано постійним струмом. При цьому заміна цих ділянок ділянками змінного струму потребує значних капіталовкладень. З урахуванням цього в рамках підвищення ефективності роботи залізниць постійного струму існує тенденція, щодо впровадження в експлуатацію електрорухомого складу з асинхронним тяговим приводом, особливістю якого є статичний перетворювач частоти. Поява у структурі енергоперетворення мережі тягового електропостачання постійного струму принципово нової тягової одиниці викликає підвищений інтерес, щодо її взаємодії з суміжними системами залізниць, а також щодо пошуку можливих шляхів її поліпшення.

В роботі розглянуто можливість поліпшення електромагнітної сумісності (ЕМС) таких тягових одиниць з системами СЦБ та мережею зовнішнього електропостачання за рахунок вибору відповідних частот модуляції тягового перетворювача. В результаті отримано такі діапазони частот модуляції, за яких спостерігається максимальне відносне поліпшення характерних для даних систем показників ЕМС і які можуть бути рекомендованими для подальшого застосування за умови подальшого впровадження в експлуатацію електро-возів розглянутого типу.

УДК 629.423.31:621.313.333

Ю. С. БОНДАРЕНКО (ДНУЖТ)

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна, 49010, г. Днепропетровск, Украина, г. Днепропетровск, ул. Лазаряна, 2, тел.: (056) 373-15-47, эл. почта: bondar198924@gmail.com

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТЫ МОДУЛЯЦИИ ТЯГОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА С АСИНХРОННЫМ ПРИВОДОМ НА СМЕЖНЫЕ СИСТЕМЫ

По состоянию на 01.01.2011 г. среди общей эксплуатационной длины электрифицированных железных дорог Украины (9877 км) около половины (4764 км) остается электрифицировано постоянным током. При этом замена этих участков участками переменного тока требует значительных капиталовложений. С учетом этого в рамках повышения эффективности работы железных дорог постоянного тока существует тенденция по внедрению в эксплуатацию электроподвижного состава с асинхронным тяговым приводом, особенностью которого является статический преобразователь частоты. Появление, в структуре энергопреобразования сети тягового электроснабжения постоянного тока, принципиально новой тяговой единицы вызывает повышенный интерес с точки зрения её взаимодействия со смежными системами железных дорог, а также с точки зрения поиска возможных путей его улучшения.

В работе рассмотрена возможность улучшения электромагнитной совместимости (ЭМС) таких тяговых единиц с системами СЦБ и сетью внешнего электроснабжения за счет выбора соответствующих частот модуляции тягового преобразователя. В результате получены диапазоны частот модуляции, при которых наблюдается максимальное относительное улучшение характерных для данных систем показателей ЭМС и которые могут быть рекомендованы для дальнейшего применения при условии расширения внедрения в эксплуатацию электровозов рассматриваемого типа.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, электроподвижной состав, асинхронный привод, частота модуляции.

Внутренний рецензент *Костин Н. А.*

Внешний рецензент *Андриенко П. Д.*

UDC 629.423.31:621.313.333

YU. S. BONDARENKO (DNURT)

Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel.: +38 (056) 373-15-47, e-mail: bondar198924@gmail.com

EXPERIMENTAL INVESTIGATION THE INFLUENCE TRACTION CONVERTERS MODULATION FREQUENCY OF DC ELECTRIC LOCOMOTIVES WITH ASYNCHRONOUS DRIVE ON ADJACENT SYSTEM

As of 01.01.2011, among the total operational length of electrified railways of Ukraine (9877 km), about half of them (4764 km) is electrified with direct current. At the same time a replacement these parts by parts with alternating current requires significant investment. With this in mind, to enhance the efficiency of the operation of DC railways there is a tendency to introduce into operation of electric rolling stock with asynchronous traction drive, a feature of which is a static frequency converter.

Appearance in the structure of energy transformation of DC electric traction network a fundamentally new traction unit causes an increased interest from the point of view of its interaction with the adjacent systems of electric railways, as well as in terms of possible ways to improve it. The paper considers the possibility of improving the electromagnetic compatibility (EMC) of the considered traction units with signaling systems and the network of external power supply by choosing a corresponding modulation frequency of traction converter. As a result were obtained the ranges of modulation frequency by using which can be obtained a maximum relative improvement of EMC indexes with considered systems and which can be recommended for the further applying at condition the further expansion to implementation of these types of locomotives.

Keywords: electromagnetic compatibility, electric rolling stock, asynchronous drive, modulation frequency.

Internal reviewer *Kostin M. O.*

External reviewer *Andrienko P. D.*

© Бондаренко Ю. С., 2014