Миттєві характеристики електровозів чи плечей навантаження в системі електропостачання змінного струму за виміряними миттєвими напругами і струмами можуть бути визначені за допомогою чисельно розрахованих похідних цих залежностей.

Отримання характеристик опору навантаження в частотній області за миттєвими значеннями напруги і струму неможливий, оскільки ці осцилограми визначають характеристики навантаження при фіксованому наборі частотних збурень.

Список літератури

1. Костин, Н. А. Реактивная мощность в устройствах систем электрической тяги / Н. А. Костин // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 34. – С. 73 – 76.
2. Міщенко Т. М. Теоретичні аспекти та методи ідентифікації параметрів пристроїв системи електричної тяги. Метод миттєвих потужностей; паралельне з'єднання елементів / Т. М. Міщенко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 41. – С. 86 – 91.
3. Косарев Б. И. Определение параметров устройств электрической тяги по временным характеристикам / Б. И. Косарев, С. В. Ключников, А. В. Фролов, А. И. Щуров // Вестник ВНИИЖТ. – 1990. – № 3. – С. 15 – 17.
4. Косарев Б. И. Активные и обменные характеристики электрических цепей при несинусоидальных токах и напряжениях / Б. И Косарев, А. И. Щуров, А. В. Фролов, В. Н. Силкин // Электричество. – 1989. – № 9. – С. 43 – 47.
5. Волынцев В. В. Машинный метод прямого синтеза нелинейных двухполюсников по временным характеристикам тока и напряжения / В. В. Волынцев, А. Б. Косарев // Электротехника. – 2011. – № 8. – С. 37 – 41.
6. Использование мгновенных характеристик электрических цепей при исследовании пассивных двухполюсников: Методические указания по дисциплинам «Теоретические основы электротехники» и «Основы теории электрических цепей» / Сост. Б. И. Косарев, Т. К. Асанов, В. Н. Силкин, и др. – М.: МИИТ, 1990. – 28 с.
7. Босий Д. О. Математичне моделювання електротягового навантаження в задачах вивчення електромагнітних процесів для систем електропостачання електричного транспорту змінного струму / Д. О. Босий, В. Г. Сиченко // Технічна електродинаміка. Тем. вип. – 2009. – Ч. 3. – С. 86 – 89.

Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Костіним М.О.

УДК 681.518.5:656.2

Бойнік А. Б., д-р.техн.наук, Прилипко А. А., канд.техн.наук, Прилипко А. А.
(Україна, Харків, Український державний університет залізничного транспорту)

РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ СИСТЕМ ПОВНОЇ ДІАГНОСТИКИ ПРИСТРОЇВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ

Вступ

Вимоги безпеки, безвідмовності та довговічності систем керування залізничним транспортом, які постійно зростають, потребують постійної оцінки технічного стану різних пристроїв і, зокрема пристроїв залізничної автоматики. Найбільш важливим показником надійності цих пристроїв автоматики є відсутність відмов під час функціонування, тому що відмова їх на залізничному транспорті може призвести до важких наслідків. Технічна діагностика, завдяки ранньому виявленню дефектів та несправностей, дозволяє усунути подібні відмови в процесі обслуговування та ремонту, що підвищує надійність та ефективність експлуатації пристроїв. Важливим напрямом у технічній діагностиці є підвищення контролездатності пристроїв на стадії проектування. Контролездатність створюється спеціальною конструкцією пристрою та прийнятою системою діагностики. Основним завданням контролездатності є створення засобів та методів одержання діагностичної інформації. Одним із найбільш відповідальних приладів залізничної автоматики є точкові колійні датчики (ТКД). Технічна діагностика ТКД сьогодні є актуальним завданням щодо підвищення надійності, ефективності роботи систем залізнічної автоматики (ЗА), а також для зменшення часу знаходження електромеханіка в зоні підвищеної безпеки під час пошуку несправностей. Також ці методи можуть бути застосовані і для посиленного контролю за станом інших відповідальних або будь-яких вибраних вузлів та елементів пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ). Особливо це актуально при застосуванні на залізницях таких систем, як АС ДК, АП ДК, АДК-СЦБ та інщих.

Постановка проблеми

У зв'язку із широким упровадженням нових мікропроцесорних систем технічної діагностики з'явилася можливість одночасно контролювати роботу великої кількості пристроїв СЦБ. Однак багато з них мають низьку контролездатність. Насамперед труднощі виникають при визначенні робочих параметрів первинних перетворювачів ТКД. Одним з уразливих елементів є жили кабелю та обмотки датчиків до яких вони приєднані. При руйнуванні цих елементів, або ж порушенні кріплення в багатьох

конструкціях ТКД [1] на приймачеві відсутній сигнал, що може трактуватися як відсутність феромагнітної реборди колісної пари в зоні спрацьовування датчика. Для кіл з двома жилами легко знайти цю відмову. Для цього потрібно з невеликим інтервалом часу передавати в коло сигнал та аналізувати відгук. В колах з трьома та більшою кількістю жил при короткому замиканні між ними та в обмотках це завдання ускладнюється.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Матеріали дослідження приладів та способи усунення несправностей електроустаткування наведені в роботах [2,3] та інших. Однак у відомій літературі недостатньо уваги приділено функціональній діагностиці. Процес зміни електричних параметрів під дією перетворення у котушці з осердям коротко розглянутий у роботі [4]. У джерелах [5 - 7], присвячених технічній діагностиці на залізничному транспорті, також цій проблемі приділено мало уваги. Аналіз даної літератури виявляє необхідність розробки більш ефективних методів функціональної технічної діагностики для котролю стану приладів ЗА.

Мета роботи

Розроблення математичної моделі для технічного діагностування ТКД, асинхронних двигунів та інших приладів залізничної автоматики.

Виклад основного матеріалу.

Обмотка, в якій спостерігається коротке замикання, може бути визначена й за значенням її опору постійному струму, вимірюваного мостом або за методом амперметру — вольтметру. Менший опір буде мати обмотка із замиканням. Однак не завжди є можливість роз'єднати фази, тоді повинна використовуватися функціональна технічна діагностика. Тому проаналізуємов чому полягає відмінність робочого справного режиму з можливими аварійними режимами в трижильних колах та чотирипровідному трифазному колі.

Найчастіше трифазні пристрої автоматики та телемеханіки мають однорідне симетричне навантаження (точковий колійний датчик ДП 50-80, асинхронний двигун та інші).

Зі схеми на рис. 1 видно, що при з'єднанні приймача зіркою фазні та лінійні струми рівні між собою. Векторна діаграма напруги та струмів при неоднорідній, несиметричній схемі навантаження з трижильним включенням навантаження зображена на рис. 2.

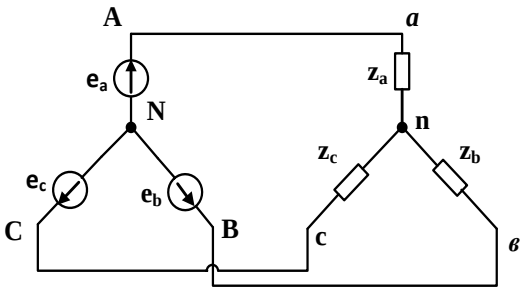

Рис. 1. Схема ввімкнення приладу зіркою

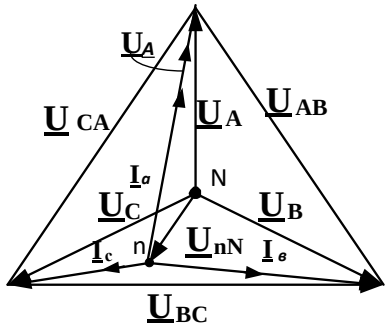

Рис. 2. Векторна діаграма зі зсувом нейтралі

При чотирипровідній неоднорідній схемі векторна діаграма зміниться (рис. 3).

Вже цей аналіз схем та векторних діаграм свідчить, що потрібно контролювати напругу між точками N та n при трипровідній схемі (це відноситься для трифазних двигунів стрілочних приводів з'єднанних за схемою зірка (МСТ-0,15, МСТ-0,25 МСТ-0,3, МСТ-0,6), або струм в нейтральному проводі при чотирипровідній схемі (деякі схеми точкових датчиків). Це дозволить діагностувати справний стан приладів.

При з'єднанні споживачів трикутником кожен споживач вмикається між двома відповідними лінійними проводами, внаслідок чого перебуває під лінійною напругою генератора, яка одночасно є фазною напругою споживача.

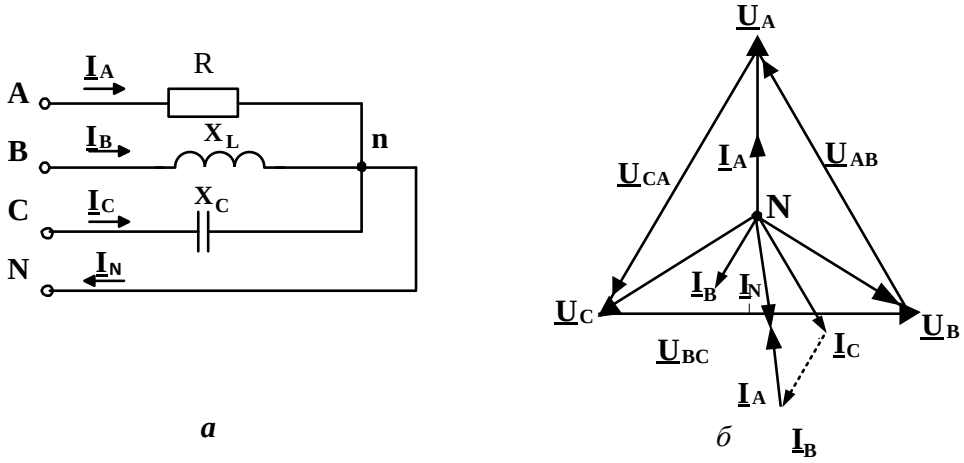

Рис. 3. Схема ввімкнення неоднорідного, несиметричного приймача (*а*) та векторна діаграма напруги і струмів (*б*)

Далі проаналізуємо аварійні режими. Істотна несиметрія струмів у чотирипровідному трифазному колі виникає при обриві одного з лінійних проводів або відповідної котушки. Наприклад, при обриві лінійного проводу фази А (рис 4,*а*) струм $\underline{I}_A=0$. Струм у нейтральному проводі для цього випадку $\underline{I}_N=\underline{I}_B+\underline{I}_C$. На рис. 4,*б* наведена векторна діаграма для цього режиму роботи трифазного кола, коли $\underline{I}_B=\underline{I}_C$ ($R_B=R_C$).

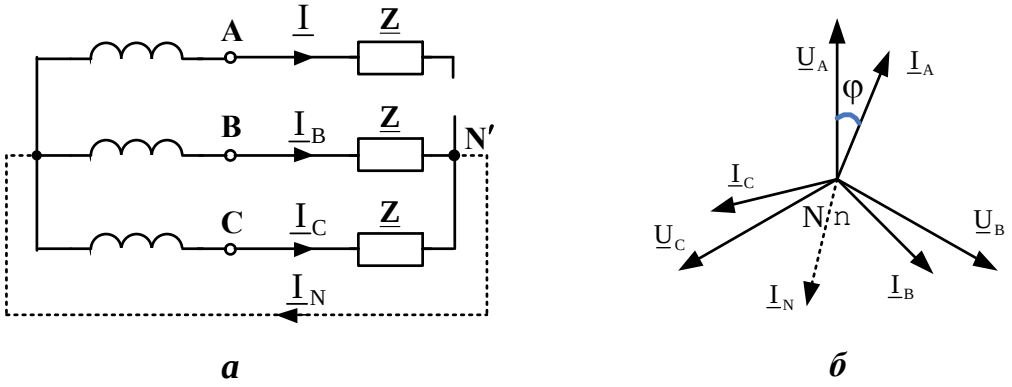

Рис. 4. Схема обриву проводу у фазі А(а) та відповідна векторна діаграма (б)

При пошкодженні фази А у схемі без нейтрального проводу векторна діаграма набуває такого вигляду, як на рис. 5.

У цьому разі

$$\underline{U}_{nN}=\frac{\dfrac{\underline{U}_B}{\underline{Z}_B}+\dfrac{\underline{U}_C}{\underline{Z}_C}}{\dfrac{1}{\underline{Z}_B}+\dfrac{1}{\underline{Z}_C}};$$

$$\underline{I}_B=\frac{\underline{U}_B-\underline{U}_{nN}}{\underline{Z}_B};$$

$$\underline{I}_C=\frac{\underline{U}_C-\underline{U}_{nN}}{\underline{Z}_C}.$$

При короткому замиканні фази А (трипровідна система) змінюється векторна діаграма див. рис. 6.

Згідно з нею

$$\underline{U}_{Bn}=\sqrt{3}\,U_\phi e^{-j150^0};\quad \underline{U}_{Cn}=\sqrt{3}\,U_\phi e^{j150^0};$$

$$\underline{I}_B=\sqrt{3}\,I_\phi e^{j\left(150^0+\varphi\right)};\ \underline{I}_C=\sqrt{3}\,I_\phi e^{j\left(150^0-\varphi\right)};\ \underline{I}_A=3\,I_\phi e^{-j\varphi}.$$

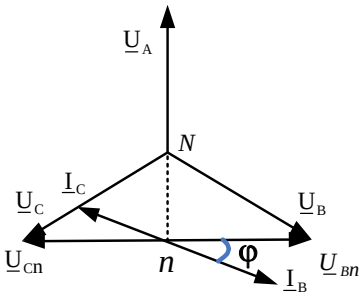

Рис. 5. Векторна діаграма при пошкодженні фази А та нейтрального проводу

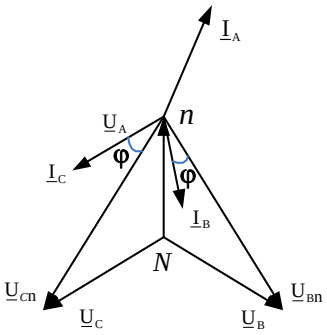

Рис. 6. Векторна діаграма при короткому замиканні фази А та пошкодженні нейтрального проводу

Для симетричного трифазного навантаження при з'єднанні за схемою трикутник використовуємо такі формули [9]:

$$\underline{I}_{AB} = \sqrt{3}\, I_\phi e^{j(30^0-\varphi)}; \quad \underline{I}_{BC} = \sqrt{3}\, I_\phi e^{-j(90^0+\varphi)}; \quad I_{CA} = \sqrt{3}\, I_\phi e^{j(150^0-\varphi)};$$

$$\underline{I}_A = 3\, I_\phi e^{-j\varphi}; \quad \underline{I}_B = 3\, I_\phi e^{-j(120^0+\varphi)}; \quad \underline{I}_C = 3\, I_\phi e^{-j(\varphi-120^0)}.$$

При обриві проводу у фазі АВ, як це видно зі схеми на рис. 7,

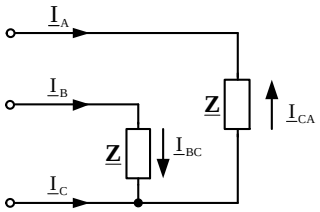

Рис. 7 – Схема обриву проводу у фазі АВ

$\underline{I}_A = -\underline{I}_{CA}$; $\underline{I}_B = -\underline{I}_{BC}$; при цьому самі струми $\underline{I}_{BC}$ та $\underline{I}_{CA}$ завдяки автономності режиму роботи фаз при з'єднанні навантаження трикутником такі самі, як і в колі в безаварійному режимі. Таким чином,

$$I_A = \sqrt{3}\, I_\phi e^{-j(\varphi+30^0)}; \quad \underline{I}_B = \sqrt{3}\, I_\phi e^{-j(90^0+\varphi)}; \quad \underline{I}_C = 3\, I_\phi e^{-j(\varphi-120^0)}.$$

Коло при обриві лінійного проводу у фазі А та відповідна векторна діаграма наведені на рис. 8, *а, б*.

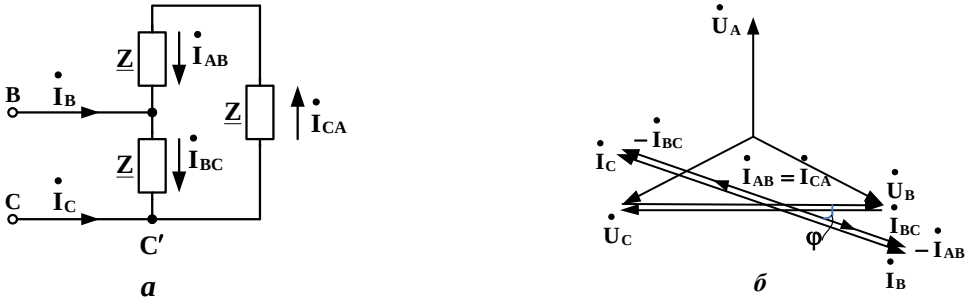

Рис. 8 - Коло при обриві лінійного проводу Аа та векторна діаграма

У цьому разі

$$\underline{I}_{AB} = \underline{I}_{CA} = \frac{\sqrt{3}\, U_\phi}{2Z} e^{j(90^0-\varphi)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_\phi e^{j(90^0-\varphi)};$$

$$\underline{I}_{BC} = \sqrt{3}\, I_\phi e^{-j(90^0+\varphi)};$$

$$\underline{I}_B = -\underline{I}_C = 1{,}5\sqrt{3}\, I\, e^{-j\left(90^0+\varphi\right)}.$$

Аналіз цих схем та векторних діаграм свідчить, що окрім виміру напруги та струму необхідно контролювати ще зсув фаз між струмами, та напругами. Також потрібно мати контролер, який би проводив відповідні розрахунки, та передавав цю інформацію в систему повної технічної діагностики, де за допомогою стандартних математичних пакетів можна праналізувати роботу підконтрольних об'єктів, або запрограмувати виникнення відповідних алярмів при граничних параметрах приладів.

В одному з ТКД [8] високочастотний модулятор (ВЧМ) реалізується у вигляді тороїдального трансформатора. Якщо для діагностики такого датчика подається імпульсна напруга з дотриманням умов

$$u(t) = \begin{cases} U_0, 0 < t < T, \\ 0, t > T, \end{cases}$$

то струм у вторинній обмотці визначається нижчеописанним способом.

Диференціальні рівняння для кіл ВЧМ згідно з роботою [9] можна записати так:

$$Ri_1 + L\frac{di_1}{dt} + M\frac{di_2}{dt} = u(t),$$
$$Ri_2 + L\frac{di_2}{dt} + M\frac{di_1}{dt} = 0.$$

Переходячи до зображень та припускаючи, що

$$i_1(0) = 0,\ i_2(0) = 0,$$

одержимо алгебраїчні рівняння

$$RI_1 + pLI_1 + pMI_2 = U,$$
$$RI_2 + pLI_2 + pMI_1 = 0.$$

Виразимо з першого рівняння I_1 так і підставимо його в друге та запишемо, що :

$$I_1 = -\frac{pL+R}{pM} I_2,$$
$$-(R+pL)\frac{pL+R}{pM} I_2 + pMI_2 = U.$$

Розв'язуючи останнє рівняння відносно I_2, маємо, що

$$I_2 \frac{p^2M^2 - (pL+R)^2}{pM} = U;$$
$$I_2 = \frac{-pM}{p^2(L^2-M^2)+2pLR+R^2} U.$$

Застосовуючи теорему запізнювання, знаходимо, що

$$U = \frac{U_0}{p} - e^{-pT}\frac{U_0}{p} = \frac{U_0}{p}\left(1 - e^{-pT}\right).$$

У такому разі струму I_2 одержуємо

$$I_2 = -MU_0 \frac{1-e^{-pT}}{p^2(L^2-M^2)+2pLR+R^2} = -\frac{MU_0}{L^2-M^2} \frac{1-e^{-pT}}{p^2 + 2\frac{LR}{L^2-M^2}p + \frac{R^2}{L^2-M^2}}.$$

Перетворемо так само і знаменник.

$$p^2+2\frac{LR}{L^2-M^2}p+\frac{R^2}{L^2-M^2}=\left(p+\frac{LR}{L^2-M^2}\right)^2+\frac{R^2}{L^2-M^2}-$$
$$-\left(\frac{LR}{L^2-M^2}\right)^2=\left(p+\frac{LR}{L^2-M^2}\right)^2-\left(\frac{MR}{L^2-M^2}\right)^2=(p+\alpha)^2-\beta^2.$$

Після цього вираз струму буде мати такий вигляд

$$I_2=-\frac{MU_0}{L^2-M^2}\frac{1-e^{-pT}}{(p+\alpha)^2-\beta^2}.$$

Користуючись таблицею перетворень, знайдемо, що

$$\lambda^{-1}\frac{1}{(p+\alpha)^2-\beta^2}=\frac{1}{\beta}e^{-\alpha t}sh\beta t,$$

а теоремою запізнювання (або принципом накладення), остаточно запишемо, що

$$i_2(t)=\begin{cases}-\frac{U_0}{R}e^{-\alpha t}sh\beta t & 0<t<T,\\ -\frac{U_0}{R}\left[e^{-\alpha t}sh\beta h-e^{-\alpha\cdot(t-T)}sh\beta\cdot(t-T)\right], & t>T.\end{cases}$$

Для первинної обмотки аналогічно знаходимо, що

$$i_1=\frac{U}{2R}(2-e^{-\frac{rt}{L+M}}-e^{-\frac{rt}{L-M}})$$

Із цього рівняння бачимо як відрізняється залежність струму за часом при короткому замиканні вторинної обмотки та при без навантаження на ній (рис. 9).

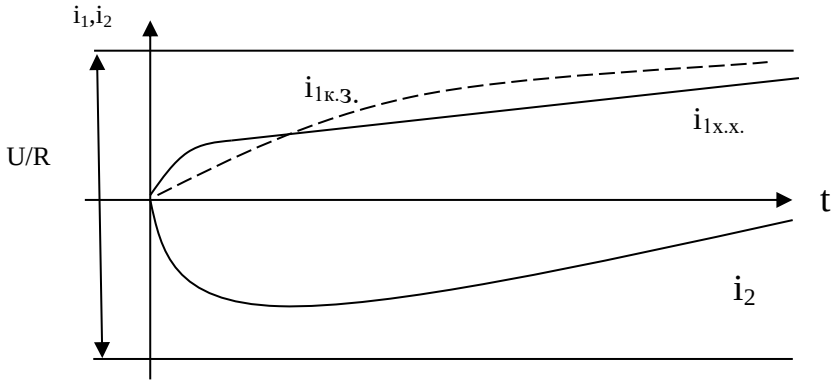

Рис. 9. Криві залежностей струмів i_1 та i_2 від часу

Висновки

Питання ефективності функціонування приладів залізничної автоматики пояснюється їх надійним діагностуванням. Для цього потрібно проаналізувати математичні моделі елементів первинних перетворювачів та на основі цього розробити імітаційні моделі, які дозволять розробляти надійну технічну діагностику. Також на етапі проектування приладів залізничної автоматики потрібно конструктивно підвищувати їх контролездатність за рахунок аналізу відповідних математичних моделей.

Список літератури

1. Бухгольц В.П. Путевые датчики контроля подвижного состава на рельсовом транспорте [Текст]: В.П. Бухгольц, Г.А. Красовский, А.Э. Штанке. – М.: Транспорт, 1976. – 96 с.
2. Вольдек А.И. Электрические машины [Текст] : учебник / А.И. Вольдек – Л.: Энергия. 1974. – 840 с.
3. Кисель О.Б. Несправности электрооборудования и способы их устранения [Текст] : учебник / О.Б. Кисель – М.: Колос.1974. – 144 с.
4. Бабаєв М.М. Технічна діагностика сучасних первинних перетворювачів точкових датчиків [Текст] : М.М. Бабаєв, А.П. Зубко, А.А. Прилипко // Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Харків: 2008. – Вип. 15. – С. 32–39.
5. Диагностирование устройств железнодорожной автоматики и агрегатов подвижних единиц [Текст] : Учебник/А.Б. Бойник, Г.И Загарий, С.В. Кошевой [и др]/ – Х.:, Новое слово, 2008. –304с.
6. Сапожников В.В. Основы технической диагностики [Текст] : учеб. пособие / В.В. Сапожников, Вл.В. Сапожников. – М.: Маршрут, 2004. – 318 с.
7. Дмитренко И.Е. Измерение и диагностирование в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. [Текст] : учебнпк / И.Е. Дмитренко – М.: Транспорт,1994. – 265 с.
8. Бабаєв М. М. Оптимізація параметрів точкового колійного датчика [Текст]: М.М. Бабаєв, А.А. Прилипко // Зб. Наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Експлуатація залізниць. – Харків, 2010. – Вип. 113. – С. 62 – 67.
9. Основы теории цепей. [Текст] / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. – М.: Энергия, 1975. – 752 с.

Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Разумним Ю.Т.

УДК 621.314:621.3.01

Н.А. Костин, д-р техн. наук, О.Г. Шейкина, канд. техн. наук
(Украина, Днепропетровск, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени акад. В. Лазаряна)

ПРИЗНАКИ НЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Постановка задачи

Проблема электросбережения, которая непосредственно связана с оценкой качества и баланса электроэнергии в устройствах и системах, неотъемлема от анализа составляющих полной мощности их электрических цепей и, прежде всего, от определения неактивной мощности. Системы электрического транспорта в этой проблеме не являются исключением.

Магистральный и пригородный, шахтный и карьерный железнодорожный, а также городской электрический транспорт Украины эксплуатируются на постоянном токе. Электровозы, электропоезда, мотор-вагоны метрополитенов, трамваи и троллейбусы питаются постоянным (выпрямленным) напряжением. При этом традиционно, до настоящего времени, считается, что в таких системах неактивная мощность отсутствует, понятие коэффициента мощности к ним не применяется, и поэтому электропотребление определяют лишь по расходу активной энергии. Ошибочность таких подходов, по нашему мнению, связана с тем, что не учитываются фактически существующие непрерывные изменения постоянных тягового тока $i(t)$ и питающего напряжения $u(t)$ [1, 2]. Такие изменения носят непериодический случайный характер и зависят от многих факторов.

В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы, является, во-первых, указать на специфику существующей проблемы, затрагивающей вопросы электротранспорта. Во-вторых, обсудить признаки наличия неактивной составляющей мощности в рассматриваемых системах.

Методика и приборы экспериментальных исследований

В этой работе для оценки составляющих полной мощности выполнены экспериментальные исследования в реальных условиях эксплуатации: фидерных напряжения и тока на тяговых подстанциях (ТП) «Письменная» Приднепровской железной дороги; тяговых тока и напряжения на электровозе ВЛ8, а также на трамвае с реостатным пуском.

Для получения временных зависимостей мгновенных величин выпрямленных напряжения и тока на выходе ТП «Письменная» использовали осциллографический прибор С1-93, а для записи временной за-