

ОЗНАКА НАЯВНОСТІ ОБМІННОЇ ПОТУЖНОСТІ В СИЛОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТЯГОВИХ КОЛАХ СИСТЕМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Отримано аналітичний вираз і виконано чисельні розрахунки миттєвої реактивної потужності як ознаки наявності обмінних електроенергетичних процесів в системі електричної тяги постійного струму.

Ключові слова: струм, потужність, процеси, реактивна, коло електричне, ознака, система тяги

Вступ

Ця робота є продовженням і розвитком досліджень електроенергетичних процесів в пристроях системи електричної тяги постійного струму і зокрема, питань реактивної потужності [1, 2]. Вона спричинена тим, що часто при обговоренні результатів досліджень зазначених проблем спеціалісти-електроенергетики виходять із класичних понять реактивної потужності в лінійних електричних колах синусоїдного струму. Як відомо, фізичний зміст реактивної потужності в таких колах полягає в наявності обміну електромагнітною енергією між джерелом і навантаженням (у розглядуваному випадку, між тяговою підстанцією (ТП) та електрорухомим складом (ЕРС)). Для цих кіл ознакою наявності обмінних процесів (а, отже, і реактивної потужності) є знак миттєвої потужності $p(t) = u(t)i(t)$: за умови, що $p(t)$ змінює знак на від'ємний ($p(t) < 0$), тоді обмінні процеси існують і обумовлені вони наявністю реактивних елементів в розглядуваному колі. Такий підхід до енергетичного аналізу кіл з несинусоїдними електричними величинами, якими являються силові тягові кола, є помилковим, що впливає із таких експериментальних даних і розсудів.

На рис. 1, а приведені регистрируми за доби випрямлених напруги $U(t)$ і струму $I(t)$ на одній із фідерних зон енергоділянки Придніпровської залізниці, а на рис. 1, б – часова залежність миттєвої потужності $p(t) = U(t)I(t)$. Одночасно, на рис. 2, а і б приведені такі ж самі величини для електровоза ДЕ1. І, як впливає із рис. 1, б і рис. 2, б, миттєва потужність $p(t) > 0$, тобто, вона не змінює знак і тоді нібито обмінні електроенергетичні процеси між ТП і ЕРС відсутні. Проте такий обмінний процес повинен бути, бо силові тягові кола і ТП, і ЕРС, і власне тягової мережі (з пасивним згладжуючим пристроєм) мають потужні нелінійні реактивні елементи: індуктивності обмоток якоря,

головних і додаткових полюсів тягових двигунів, індуктивних шунтів, згладжуючого реактора ТП, тягової мережі, ємності та індуктивності пасивних фільтрів та ін. Виявлена невідповідність знаку миттєвої потужності та наявності обмінних процесів ще раз підтверджує, що класичні судження про обмінні процеси не є застосовуваними для кіл з несинусоїдними струмами та напругами. Тому ознакою наявності обмінних електроенергетичних процесів повинна бути інша, ніж $p(t)$, величина; розглянемо це питання для силових тягових кіл системи постійного струму.

Теоретичні та практичні розсуди

Представимо фідерну ділянку системи електротяги у вигляді ТП, як активного двополюсника, і ЕРС, як пасивного двополюсника, з'єднаних тяговою мережею (рис. 3). При цьому електричну схему заміщення пасивного двополюсника, як навантаження, з вхідною напругою $U(t)$, представимо у вигляді паралельного з'єднання активного елемента з провідністю G і струмом $I_a(t)$ та реактивного елемента з провідністю B і струмом $I_p(t)$; вхідний струм $I(t) = I_a(t) + I_p(t)$. Активний елемент відображає втрати активної потужності у навантаженні, а реактивний – споживання неактивної складової потужності (потужності накопичення та потужності викривлення). Цей елемент B або не споживає енергію взагалі, або спочатку споживає її, а потім повертає джерелу.

Розглянемо декомпозицію вхідних напруг $U(t)$ і струму $I(t)$ зазначеного вище двополюсника на ортогональні складові за допомогою процесу ортогоналізації Грама–Шмідта [3], який базується на ствердженні, що, як що $\{\bar{A}_1, \bar{A}_2, \dots, \bar{A}_k, \dots, \bar{A}_n\}$ – будь-яка кінцева або лічильна система лінійно незалежних векторів у гільбертовому просторі (базис), то існує ортогональна система $\{\bar{B}_1, \bar{B}_2, \dots, \bar{B}_k, \dots, \bar{B}_n\}$, що поро-

джує те ж саме лінійне багатоутворення (де $\bar{B}_1 = \bar{A}_1$). Систему $\{\bar{B}_1, \bar{B}_2, \dots, \bar{B}_k, \dots, \bar{B}_n\}$ отримують за допомогою рекурентних формул:

$$\bar{B}_k = \bar{A}_k - \sum_{i=1}^{k-1} \frac{(\bar{A}_k \bar{B}_i)}{\bar{B}_i \bar{B}_i} \bar{B}_i, (k = 2, 3, \dots, n), \quad (1)$$

де $(\bar{A}_k \bar{B}_i)$, $(\bar{B}_i \bar{B}_i)$ – скалярні добутки відповідних векторів.

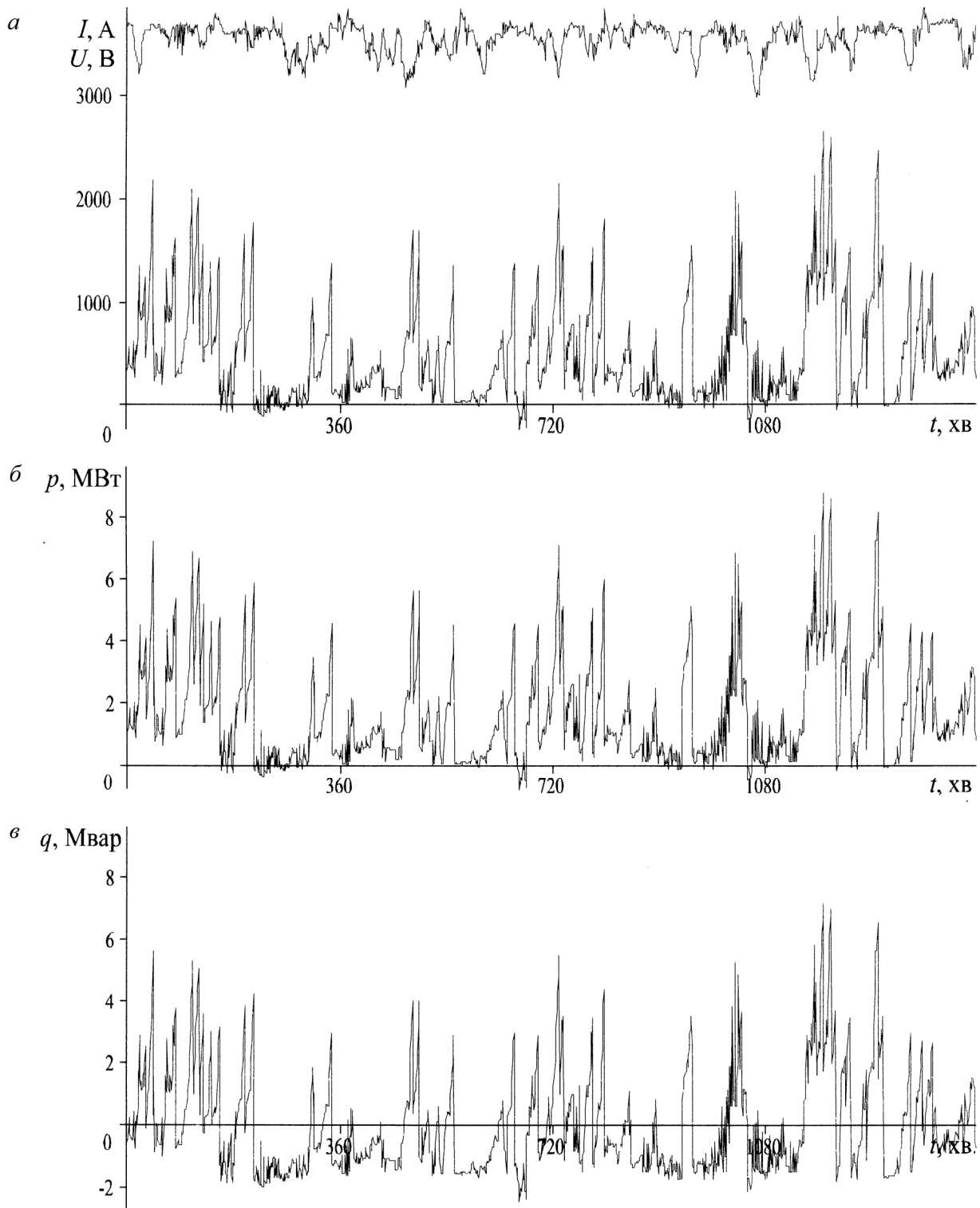


Рис. 1. Часові залежності за добу у фідері: *a* – напруги і струму, *б* – миттєвої потужності, *в* – миттєвої реактивної потужності

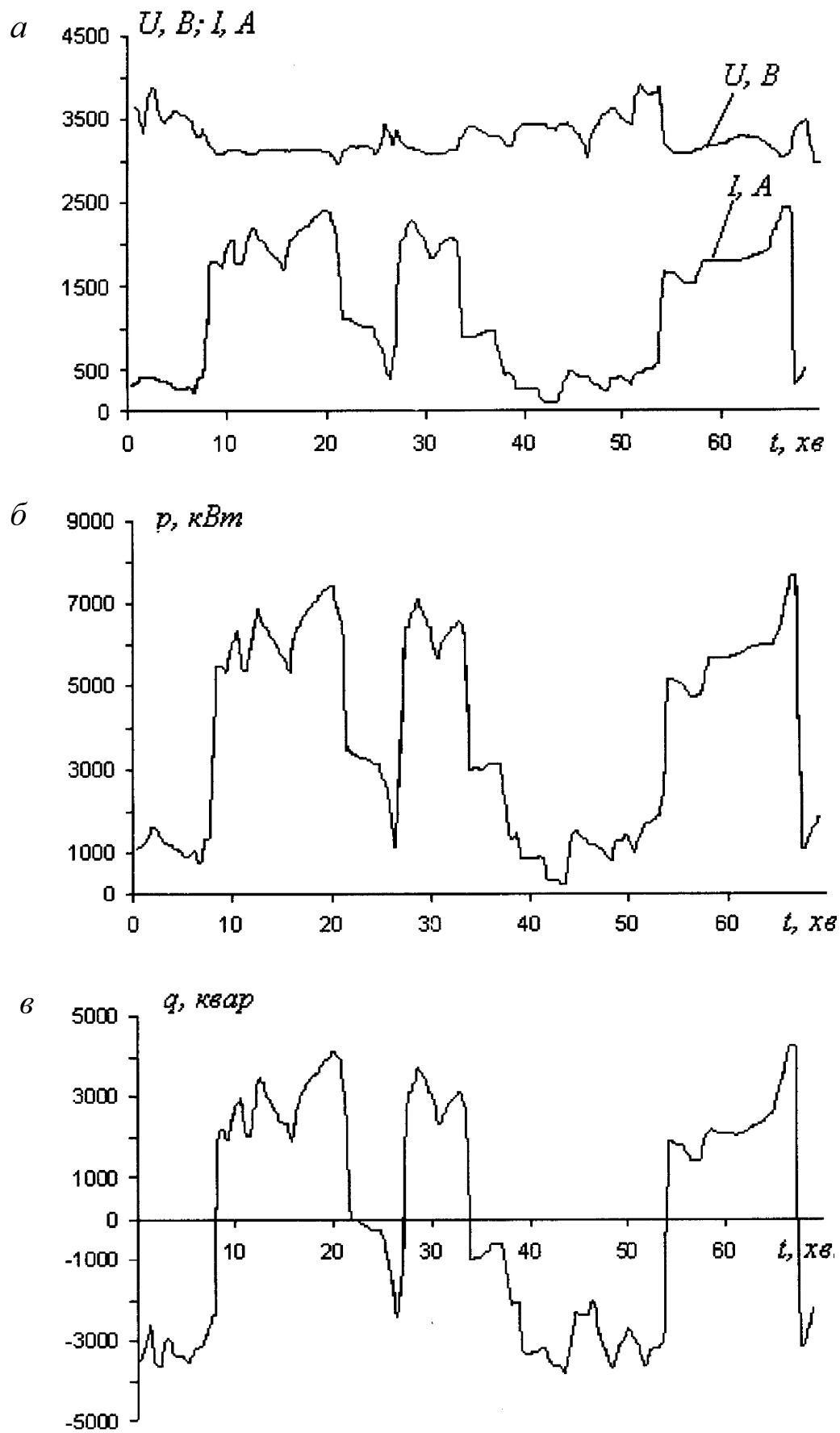


Рис. 2. Випадкові функції: *a* – напруги та струму; *б* – миттєвої потужності і *в* – миттєвої реактивної потужності для однієї поїздки електровоза ДЕ1 на одній із ділянок Придніпровської залізниці

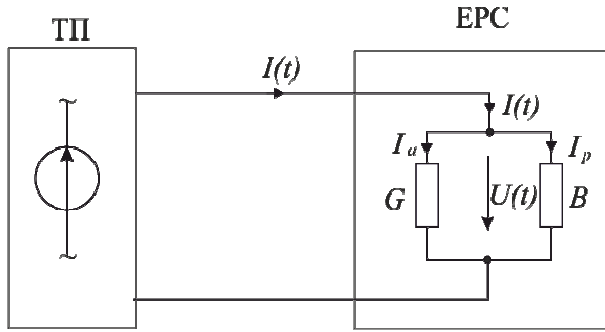


Рис. 3. Фідерна ділянка системи електротяги

Поставимо у відповідність: $\bar{A}_1 \sim U$, $\bar{A}_2 \sim I$, тоді, згідно з виразом (1), у загальній формі можна записати, що

$$\bar{B}_2 = \bar{A}_2 - \frac{(\bar{A}_2 \bar{B}_1)}{\bar{B}_1 \bar{B}_1} \bar{B}_1$$

або конкретно, ортогональна до напруги \bar{U} складова струму \bar{I}_p у векторній формі буде дорівнювати:

$$\bar{I}_p = \bar{I} - \frac{(\bar{I} \bar{U})}{(\bar{U} \bar{U})} \bar{U}, \quad (2)$$

тоді в інтегральній формі для довільного інтервалу часу $[0 \dots \tau]$:

$$I_p(t) = I(t) - \frac{\frac{1}{\tau} \int_0^\tau I(t) U(t) dt}{\frac{1}{\tau} \int_0^\tau U^2(t) dt} U(t). \quad (3)$$

Чисельник другого доданку в (3) являє собою активну потужність P , що споживає навантаження (ЕРС), а знаменник – квадрат діючого значення вхідної напруги U_δ^2 . Тоді вираз (3) можна представити, як

$$I_p(t) = I(t) - \frac{P}{U_\delta^2} U(t), \quad (4)$$

Помноживши усі доданки формули (4) на вхідну напругу $U(t)$, отримаємо остаточний вираз миттєвої реактивної потужності $q(t)$ у вигляді

$$q(t) = p(t) - \frac{P}{U_\delta^2} U^2(t), \quad (5)$$

де $p(t) = U(t)I(t)$ – миттєва потужність навантаження (ЕРС).

На рис. 1, в і 2, в побудовано часові залежності миттєвої реактивної потужності $q(t)$ для фідерної зони і електровоза ДЕ1.

Як впливає із приведеного вище доведення виразу (5) реактивної потужності $q(t)$, якраз остання характеризує (представляє) реактивну складову струму $I_p(t)$ і тому відповідає фізичному змісту протікання електроенергетичних процесів на відміну від інших підходів, що базуються на чисто математичних абстракціях і аналогіях. Тому необхідно погодитись з поглядом [4], що для повного опису обмінних електромагнітних процесів необхідно розглядати миттєву реактивну потужність $q(t)$. В розглядуваній системі електротяги $q(t)$ (рис. 1 і 2, в) свідчить про обмінні електроенергетичні процеси між тяговою підстанцією (як джерелом) та електровозом (як навантаженням). Обмінні процеси відсутні тільки у разі, якщо $q(t) = 0$ на протязі часу споживання електроенергії. По-друге, знання $q(t)$ дозволяє оцінити втрати активної потужності ΔP від протікання реактивної потужності. Нарешті, поняття миттєвої реактивної потужності $q(t)$ дозволяє забезпечити оптимальну компенсацію інтегральної реактивної потужності Q з точки зору мінімуму втрат потужності ΔP у живлячій електричній мережі. Для повної компенсації Q потрібно, щоб миттєва реактивна потужність компенсуючого пристрою $q_k(t)$ точно відповідала миттєвій реактивній потужності навантаження $q(t)$ і знаходилася з нею у протифазі, тобто потрібно, щоб $q_k(t) = -q(t)$.

Висновок

Таким чином, при аналізі електромагнітних процесів у колах несинусоїдного струму потрібно використовувати поняття миттєвої реактивної потужності, а не її інтегральні характеристики.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Костин, Н. А. Реактивная мощность в устройствах систем электрической тяги [Текст] / Н. А. Костин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна – 2010. – Вип. 34. – Д. : Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 73-76.
2. Костін, М. О. Миттєва реактивна потужність у системах електричного транспорту постійного струму [Текст] / М. О. Костін, О. І. Саблін, О. Г. Шейкіна, А. В. Петров // Гірнична електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. – 2007. – Вип. 79. – С. 3-8.

3. Корн, Г. Справочник по математике [Текст] / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1968. – 720 с.

4. Саєнко, Ю. Л. Реактивна потужність в системах електропостачання з нелінійним навантаженням [Текст] / Ю. Л. Саєнко // Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук, спец. 05.09.05 – тео-

ретична електротехніка, НУ «Львівська політехніка». – Львів, 2003. – 36 с.

Надійшла до редколегії 10.04.2012.

Прийнята до друку 07.05.2012.

Н. А. КОСТИН, О. Г. ШЕЙКИНА

ПРИЗНАК НАЛИЧИЯ ОБМЕННОЙ МОЩНОСТИ В СИЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТЯГОВЫХ ЦЕПЯХ СИСТЕМЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Получено аналитическое выражение и выполнены численные расчеты мгновенной реактивной мощности как признака наличия обменных электроэнергетических процессов в системе электрической тяги постоянного тока.

Ключевые слова: ток, мощность, процессы, реактивная, цепь электрическая, признак, система тяги

N. KOSTIN, O. SHEIKINA

THE SIGNS OF AVAILABILITY OF EXCHANGE POWER IN ELECTRIC TRACTION CIRCUITS OF THE DIRECT CURRENT SYSTEM

Analytical expression has been evaluated and instantaneous reactive power as a sign of exchange electrical energetic processes in the system of electric traction of direct current have been calculated.

Keywords: current, power, processes, reactive, electric circuit, sign, traction system