

ОБГРУНТУВАННЯ І МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ФОРМИ ТА ПАРАМЕТРІВ СТРУМУ КОМПЕНСУЮЧОГО ПРИСТРОЮ ТЯГОВИХ МЕРЕЖ

Вступ

Як відомо [1], непродуктивні втрати електроенергії $\Delta P_{\text{д}}$ в тяговій мережі обумовлені технологічними змінами випрямлених фідерних напруги і струму, які, в свою чергу, обумовлюють виникнення і перетікання реактивної потужності по Фризе $Q_{\text{ф}}$. Одночасно, спектральний аналіз зазначених напруг і струмів показав, що вони містять інтергармоніки (ІГ) [2]. Тому зменшення втрат $\Delta P_{\text{д}}$ в тяговій мережі повинно передбачати компенсацію ІГ, тобто потужності $Q_{\text{ф}}$.

Обґрунтування форми та параметрів струму

Серед існуючих підходів для електричних кіл несинусоїдних електричних величин найбільш поширеним способом компенсації реактивної потужності по Фризе $Q_{\text{ф}}$ отримав спосіб поперечної компенсації [3]. Повна компенсація $Q_{\text{ф}}$ за критерієм мінімуму втрат електроенергії передбачає виконання протягом певного інтервалу часу τ строгої пропорційності між функціями напруги $U_{\text{е}}(t)$ і струму $I_{\text{е}}(t)$ (або струму і напруги) на затискачах ЕРС, тобто, щоб

$$\frac{U_{\text{е}}(t)}{I_{\text{е}}(t)} = R_{\Sigma}(t) = \text{const}, \quad \frac{I_{\text{е}}(t)}{U_{\text{е}}(t)} = G_{\Sigma}(t) = \text{const}, \quad (1)$$

де $R_{\Sigma}(t)$ і $G_{\Sigma}(t)$ – сумарні параметричний опір і провідність відносно вхідних затискачів ЕРС.

У такому випадку здійснення компенсації $Q_{\text{ф}}$ необхідно виконувати за миттєвими величинами з використанням принципу слідкування за формою струму. Тобто, необхідна розробка адаптивних систем слідкування за миттєвими значеннями випрямлених напруги і струму. Тому для структурно-параметричного синтезу схеми компенсуючого пристрою (КП) необхідно знати форму струму $I_{\text{к}}(t)$, який повинен генерувати компенсатор, а також його параметричну провідність $G_{\text{к}}(t)$. Викладемо теоретичне обґрунтування загальної методики визначення цих величин-функцій.

Розкладемо провідності $G_{\text{к}}(t)$, $G_{\text{е}}(t)$ на постійні і змінні складові.

$$G_{\text{к}}(t) = G_{\text{к0}} + G_{\text{к}\sim}(t), \quad G_{\text{е}}(t) = G_{\text{е0}} + G_{\text{е}\sim}(t). \quad (2)$$

У відповідності з наведеною вище умовою (1), має місце умова по сумарній вхідній провідності $G_{\Sigma}(t)$ (рис. 1):

$$\frac{I(t)}{U(t)} = G_{\Sigma}(t) = G_{\text{к0}} + G_{\text{к}\sim}(t) + G_{\text{е0}} + G_{\text{е}\sim}(t) = \text{const}. \quad (3)$$

Припустимо, що компенсуючий пристрій реалізовано на основі напівпровідникових і реактивних елементів, тобто в ньому відсутні резистивні елементи й тим самим цей компенсатор не перетворює електроенергію в інші форми енергії, тоді справедливим є, що $G_{\text{к0}} = 0$ і (3) спрощується

$$G_{\Sigma}(t) = G_{\text{к}\sim}(t) + G_{\text{е0}} + G_{\text{е}\sim}(t) = \text{const}. \quad (4)$$

де $G_{\text{е0}} = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} G_{\text{е}}(t) dt$.

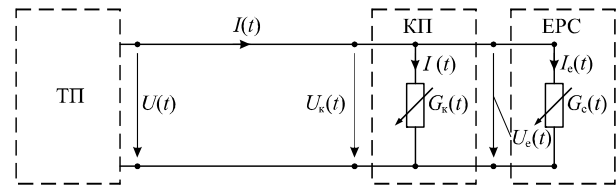


Рис. 1. Розрахункова схема компенсації неактивної потужності $Q_{\text{ф}}$, де $I(t)$, $I_{\text{к}}(t)$, $I_{\text{е}}(t)$ – струми відповідно тягової мережі (ТМ), компенсуючого пристрою, одиниці ЕРС; $G_{\text{к}}(t)$, $G_{\text{е}}(t)$ – параметричні провідності відповідно компенсатора і ЕРС.

А для наближення форми струму $I(t)$ до форми напруги $U(t)$ необхідно виконання такої умови (що випливає із (4)): щоб шукана провідність компенсуючого пристрою дорівнювала:

$$G_{\text{к}}(t) = G_{\text{к}\sim}(t) = -G_{\text{е}\sim}(t), \quad (5)$$

що є першою умовою синтезу схеми компенсуючого пристрою.

Далі визначимо формулу $I_K(t)$, згідно з законом Ома та виразом (4), запишемо

$$I(t) = G_{\Sigma}(t)U(t) = (G_{K\sim}(t) + G_{e0} + G_{e\sim}(t))U(t). \quad (6)$$

З урахуванням умови (5) вираз (6) прийме вигляд

$$I(t) = G_{e0}U(t). \quad (7)$$

Одночасно, для вузла схеми рис. 1 за першим законом Кірхгофа маємо:

$$I(t) = I_K(t) + I_e(t). \quad (8)$$

Прирівнявши (7) і (8), отримаємо

$$I_K(t) = -I_e(t) + G_{e0}U(t). \quad (9)$$

$$\text{де } G_{e0} = \frac{P_e}{U_D^2}, \quad (10)$$

де P_e – потужність споживана ЕРС;

U_D – діюче за термін $[0\dots\tau]$ значення напруги $U(t)$.

Підставивши (10) в (9), отримуємо остаточний вираз струму $I_K(t)$, який повинен «генерувати» компенсуючий пристрій

$$I_K(t) = -I_e(t) + \frac{P_e}{U_D^2}U(t), \quad (11)$$

звідки «нове» (після вмикання компенсатора) значення струму в ТМ буде:

$$I'(t) = \frac{P_e}{U_D^2}U(t), \quad (12)$$

а його діюче значення буде $I'_D(t)$. Помноживши (11) на $U(t)$, визначимо миттєву потужність компенсатора

$$p_K(t) = U(t)I_K(t) = -U(t)I_e(t) + \frac{P_e}{U_D^2}U^2(t), \quad (13)$$

$$U(t)I_e(t) = p_e(t), \quad (14)$$

де $p_e(t)$ – миттєва потужність ЕРС, тоді активна потужність P_e ЕРС визначиться як

$$P_e = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} p_e(t) dt. \quad (15)$$

Із наведених міркувань і отриманого виразу (11) випливає така методика визначення струму $I_K(t)$ компенсатора.

1. Здійснюємо синхронний моніторинг (за добу чи за місяць – це термін $[0\dots\tau]$) напруги $U(t)$ на виході ТП і на струмоприймачі ЕРС, а також його струму $I_e(t)$ і в тяговій мережі $I(t)$; до вмикання компенсатора $I(t) = I_e(t)$.

2. Визначаємо їх діючі за $[0\dots\tau]$ значення $U_D(t)$ та $I_{eD}(t) = I_D(t)$, а також установлену (повну) потужність ТП (до вмикання КП): $S = U_D(t)I_D(t)$.

3. Визначаємо функцію миттєвої потужності $p_e(t)$ ЕРС за виразом (14).

4. Знаходимо за формулою (15) активну потужність P_e , що споживає ЕРС; ця величина P_e дорівнює потужності ТП $P_{ТП}$ (до вмикання компенсатора).

5. Користуючись виразом (11), визначаємо функцію миттєвого струму $I_K(t)$ компенсатора.

6. Визначаємо миттєву потужність компенсатора $p_K(t)$ за формулою (13).

7. Знаходимо сумарну миттєву потужність $p_{\Sigma}(t)$ компенсатора та ЕРС.

8. Визначаємо «нове» значення активної потужності P_{Σ} ТП за виразом $P_{\Sigma} = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} p_{\Sigma}(t) dt$.

9. Визначаємо «нове» значення установленної потужності ТП $S' = U(t)I'_D(t)$ і переконаємося, що воно менше значення S , яке було до вмикання компенсатора. Тобто, якщо струм компенсатора $I_K(t)$ буде «генеруватись» за виразом (11), тоді ефект компенсації реактивної потужності Q_{Φ} (по Фризе) буде досягнуто.

Результати застосування розробленої методики

Нижче, на рис. 2, в якості прикладу, застосовано викладену методику для визначення $I_K(t)$ та інших величин для реальної ділянки Письменна – Ул'янівка, на якій експлуатуються

електровози ДЕ1 (ДЕ1 №007, машиніст Яровий та ДЕ1 №003, машиніст Стефашин) та інші.

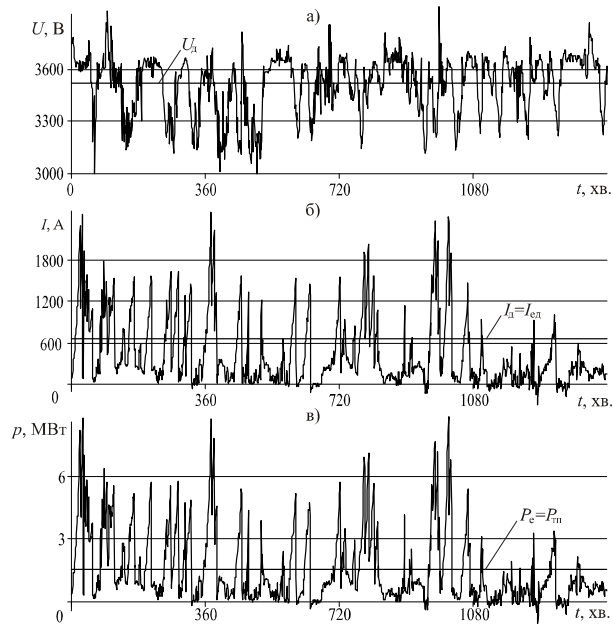


Рис. 2. Регістрограми та діючі значення напруги (а), струму (б), функція та середньоарифметичне значення миттєвої потужності ЕРС (в), струм компенсатора (г) та мережі після його увімкнення (д), функція миттєвої потужності компенсатора (е), функція та середньоарифметичне значення миттєвої потужності ТП (ж) після вмикання компенсатора.

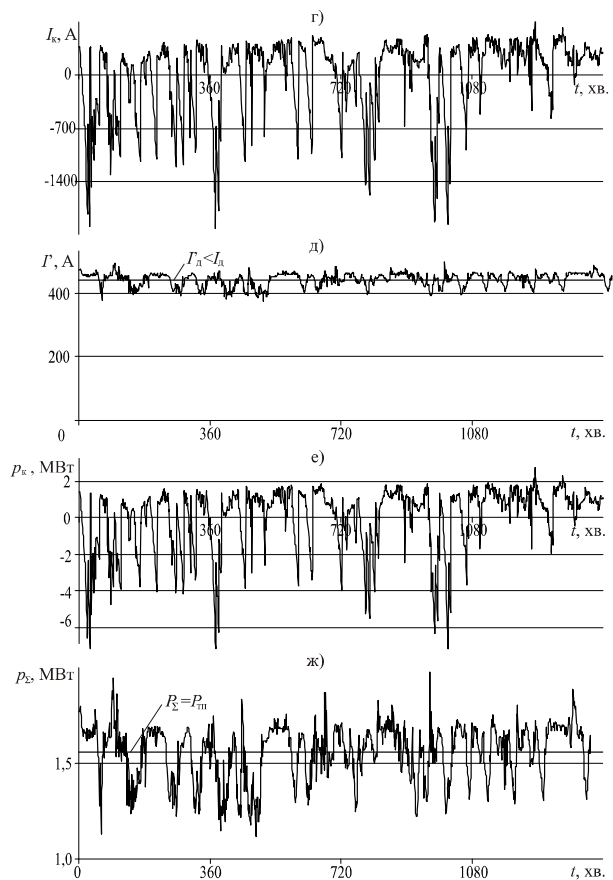


Рис. 2.

Висновок

Розроблена методика є потужним засобом структурно-параметричного синтезу компенсуючих пристроїв, що являють собою адаптивні системи слідування за миттєвими значеннями напруги і струму.

БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Петров А. В. Непродуктивні втрати електроенергії в тяговому електропостачанні системи постійного струму / А. В. Петров, М. О. Костін // Вісник ДНУЗТ. – 2010. – № 31. – С. 106-110.
2. Петров А. В. Методи спектрального аналізу випадкових технологічних коливань напруги та струму фідера ТП постійного струму / А. В. Петров // Вісник ДНУЗТ. – 2010. – № 34. – С. 77-80.
3. Тонкаль В. Е. Компенсация неактивных составляющих полной мощности в цепях несинусоидального тока и напряжения / В. Е. Тонкаль, В. Я. Жуйков, С. П. Денисюк [и др.] // Техническая электродинамика. – К.: Наук. думка, 1989. – №5. – С. 26-29.