УДК 621.314

АНАЛІЗ ІНТЕГРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ З ЦИКЛІЧНО ЗМІННИМИ ПАРАМЕТРАМИ

С.П. Денисюк[1], докт. техн. наук, **Г.В. Мельничук**[2], аспірант, **П.С. Колесник**[3], студент
1 – Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна;
2, 3 – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
пр. Перемоги, 37, Київ-56, 03056, Україна

Розглянуто особливості використання модифікації методу окремих складових для розрахунку інтегральних характеристик систем електроживлення з циклічно змінними параметрами. Наведено аналітичні співвідношення, що дозволяють пришвидшити розрахунок інтегральних характеристик залежно від виду множини аналітичних функцій, якими моделюється еквівалентним генератором ЕРС. Библ. 6.
Ключові слова: електроживлення, інтегральні характеристики, аналітичні функції.

Багато сучасних систем електроживлення (живлення різноманітних електротехнологічних установок, локальних (автономних) об’єктів тощо) моделюються системами з циклічно змінними параметрами. Для таких систем, які представляються об’єднанням генераторів (Г), перетворювачів електроенергії (ПЕЕ) та навантажень (Н), у загальному випадку періоди роботи генераторів ($T_Г$), ПЕЕ ($T_П$) та навантажень ($T_Н$) не співпадають $T_Г \neq T_П \neq T_Н$ [3]. Генератори характеризуються складною формою ЕРС (еквівалентний генератор), а навантаження мають циклічно змінні параметри.

Ефективним напрямком при аналізі процесів у таких системах та оптимізації режимів їх роботи є використання аналітичних та чисельно-аналітичних співвідношень, що дозволяє здійснювати багатоваріантні розрахунки. Для цього досить успішно використовуються аналітичні методи аналізу, зокрема, метод окремих складових (МОС) та його модифікації [1–4]. При цьому аналіз миттєвих функцій струмів та напруг доцільно доповнити аналізом інтегральних характеристик: середніх ($U_{СР}$, $I_{СР}$) та діючих (U, I) значень напруги і струму, коефіцієнтів пульсацій за струмом $K_{ПI}$ та напругою $K_{ПU}$, активної P, реактивної $Q_Ф$ та повної S потужностей.

Використання МОС для розрахунку окремих інтегральних характеристик у колі, яке представляється послідовним з’єднанням одного еквівалентного генератора та незмінного навантаження, розглянуто в роботі [6]. Доцільним є застосування наведеного підходу і для виділеного класу систем електроживлення при розрахунку величин $U_{СР}$, $I_{СР}$, $K_{ПI}$, $K_{ПU}$, P, Q та S.

Якщо ключі перетворювачів представити S-моделями, то електромагнітні процеси у виділених системах можна описати системами диференціальних рівнянь відносно вектора змінних стану $x = ||x_1, ...,x_{nx}||$:

$$dx_i(t)/dt = A_i x_i(t) + B_i f(t),\ i = 1,..., m; \tag{1}$$

$$y(t) = C_i x_i(t) + D_i f(t), \tag{2}$$

де A_i, B_i, C_i, D_i – матриці постійних коефіцієнтів; де n_x – число змінних стану системи; $f(t)$ – вектор діючих генераторів; m – число виділених у часовій області інтервалів сталості структури (ІСС). ІСС – інтервал часу ($t_{i-1} – t_i$), $i = 1,..., m$, де m – кількість ІСС; $t_0 = 0$; $t_m = T^*$, на якому стан вибраної множини вентилів та множина вибраних лінійних апроксимацій характеристик нелінійних елементів є незмінними; T^* – період роботи системи електроживлення.

При використанні аналітичного опису процесів розв’язок системи рівнянь (1), (2) для i-го інтервалу представляється у вигляді

$$x(t) = \exp(A_i(t\text{-}t_{i-1}))x(t\text{-}t_{i-1}) + \int^{t} \exp(A_i(t\text{-}\tau))B_i f(\tau)d\tau; \tag{3}$$

t_{i-1}

$$y(t) = C_i \exp(A_i(t-t_{i-1}))x(t-t_{i-1}) + C_i \int_{t_{i-1}}^{t} \exp(A_i(t-\tau))B_i f(\tau)d\tau + D_i f(t),$$

де t_{i-1} та $x(t_{i-1})$ – момент початку та початкові умови змінних стану i-го ІСС.

Покладемо, що для моделі, представленої послідовним з’єднанням {еквівалентний генератор ЕРС} – {еквівалентне навантаження}, виконується умова $T^* = n_\Gamma T_\Gamma = n_H T_H$.

Навантаження має циклічно змінні параметри активного опору $R(t)$, причому цей опір моделюється періодичною кусочно-постійною функцією $R(t) = R_j$, $t \in (t_{j-1} - t_j)$, j=1,…, m_R, m_R – кількість виділених ІСС із врахуванням циклічної зміни активного опору.

У свою чергу, еквівалентний генератор $e_{\text{ЕКВ}}(t)$ представляється сумою елементарних генераторів, кожний з яких моделюється сукупністю аналітичних функцій типу exp(at), sinωt, at^k, $k \in N$, a (a = const). При аналізі особливостей протікання окремих сторін електромагнітних процесів генератор $e_{\text{ЕКВ}}(t)$ може бути представлений сумою n_Γ генераторів $e_{\text{ЕКВ}j}(t)$, кожний з яких має різну частоту основної гармоніки або відображає вплив окремих складових (наприклад, роботу окремого каналу живлення, вплив періодичної послідовності імпульсних кондуктивних завад різної форми).

Згідно з методом окремих складових, оригінал струму на інтервалі $i_i(t)$, i = 1, …, m, знаходиться як різниця перехідного струму $i_{Pi}(t)$ (який є результатом роботи генератора на інтервалі, що розглядається) і вільного струму $i_{Vi}(t)$ (який є результатом роботи генераторів на всіх інших інтервалах, окрім того, що розглядається) [5, 6]:

$$i_i(t) = i_{Pi}(t) - i_{Vi}(t). \tag{4}$$

Метод окремих складових базується на використанні безперервного перетворення Лапласа при розв’язанні рівняння (1) з кусочно-безперервною періодичною функцією. У цьому випадку розв’язок (3) замінюється зображенням по Лапласу виду $I(p)B_{\text{ОС}}(p) = F(p)A_{\text{ОС}}(p)$, де $F(p)$ – зображення кусочно-безперервної періодичної діючої функції $f(t)$:

$$A_{\text{ОС}}(p) = \sum_{k=0}^{q} a_k p^k; \quad B_{\text{ОС}}(p) = \sum_{k=0}^{s} b_k p^k. \tag{5}$$

За модифікацією МОС при аналізі процесів у системах електроживлення з циклічно змінюваними параметрами (знаходження струму згідно з (4)) та врахуванням тривалості технологічного процесу T^* важливо здійснити побудову зображень Лапласа для складних періодичних функцій (5) та умови нестаціонарності навантажень [1–3].

Визначення інтегральних характеристик при відомих миттєвих значеннях струму передбачає визначення сумарної кількості ІСС – m_Σ, які визначаються суміщенням на часовій осі інтервалів сталості (незмінності) параметрів еквівалентного генератора (m_Γ) та незмінності параметрів активного опору (m_R): $m_\Sigma \le m_R + m_\Gamma$.

Розрахунок середніх та діючих значень струму навантаження розглянемо для RL-навантаження. Розрахунок середнього значення струму здійснюється за формулою

$$i_{CP} = \frac{1}{T}\int_0^T i(t)dt. \tag{6}$$

Середній струм на періоді T^* визначається з виразу (6) таким чином:

$$i_{CP} = \frac{1}{T}\left[\int_0^{T_1} i_1(t)dt + \int_T^{T_2} i_2(t)dt + \int_{T_2}^{T_3} i_3(t)dt + \ldots + \int_{T_{n-1}}^{T_n} i_n(t)dt\right] =$$

$$= \frac{1}{T}\left[\int_0^{\tau_1} i_1(t)dt + \int_0^{\tau_2} i_2(t)dt + \int_0^{\tau_3} i_3(t)dt + \ldots + \int_0^{\tau_n} i_n(t)dt\right] = \left| Sef_i(t) = \int_0^{\tau_i} i_i(t)dt \right| = \frac{1}{\sum_{j=1}^{n}\tau_j}\sum_{i=1}^{n} Sef_i .$$

Для більш узагальненого випадку, коли необхідно розрахувати середнє значення струму на окремій ділянці періоду, маємо формулу

$$i_{CP,a,b} = \frac{1}{\sum_{j=a}^{b}\tau_j}\sum_{i=a}^{b} Sef_i\ ,$$

де a – номер інтервалу, від якого починається розрахунок середнього значення струму; b – номер інтервалу, яким закінчується розрахунок середнього значення струму, включно.

Визначимо функції $Sef_i(t) = \int_0^{\tau_i} i_i(t)dt$ для всіх типів аналітичних функцій, звівши отримані співвідношення до табл. 1.

Таблиця 1

№ з/п	Вид функції $i_i(t)$	Вид складової $Sef_i(t) = \int_0^{\tau_i} i_i(t)dt$
1	Кусочно-постійна $i_i(t) = \frac{U_i}{R_i}(1-e^{-\sigma_i t}) + Ex_i \cdot e^{-\alpha_i t}$	$Sef_i(t) = I_i\tau_i + \frac{(Ex_i - I_i)}{\sigma_i}\left(1-e^{-\sigma_i\tau_i}\right)$
2	Кусочно-синусоїдальна $i_i(t) = I_i \cdot \left[\sin(\omega_i \cdot t + \alpha_i - \psi_i) - \sin(\alpha_i - \psi_i)\cdot e^{-\sigma_i t}\right] + Ex_i \cdot e^{-\alpha_i t}$	$Sef_i(t) = -\frac{I_i}{\omega_i}\left[\cos(\omega_i\tau_i + \alpha_i - \psi_i) - \cos(\alpha_i - \psi_i)\right] + \frac{Ex_i}{\sigma_i}\left(1-e^{-\sigma_i\tau_i}\right)$
3	Зростаюча експоненціальна $i_i(t) = \frac{E_i}{(1-e^{-\vartheta_i\tau_i})}\left[\frac{e^{-\sigma_i t} - e^{-\vartheta_i t}}{R_i - \vartheta_i L} + \frac{1-e^{-\sigma_i t}}{R_i}\right] + S_i\frac{1-e^{-\sigma_i t}}{R_i} + Ex_i \cdot e^{-\alpha_i t}$	$Sef_i(t) = \frac{E_i}{(1-e^{-\vartheta_i\tau_i})}\left[\frac{1}{R_i - \vartheta_i L}\left[\frac{(1-e^{-\sigma_i\tau_i})}{\sigma_i} - \frac{(1-e^{-\vartheta_i\tau_i})}{\vartheta_i}\right] + \frac{1}{R_i}\left[\tau_i - \frac{(1-e^{-\sigma_i\tau_i})}{\sigma_i}\right]\right] + \frac{S_i\tau_i}{R_i} - \frac{S_i}{R_i}\frac{(1-e^{-\sigma_i\tau_i})}{\sigma_i} + Ex_i\frac{(1-e^{-\sigma_i\tau_i})}{\sigma_i}$
4	Спадаюча експоненціальна $i_i(t) = \frac{E_i}{(1-e^{-\vartheta_i\tau_i})}\left[-\frac{e^{-\sigma_i t} - e^{-\vartheta_i t}}{R_i - \vartheta_i L} - \frac{(1-e^{-\sigma_i t})e^{-\vartheta_i T}}{R_i}\right] + S_i\frac{1-e^{-\sigma_i t}}{R_i} + Ex_i \cdot e^{-\alpha_i t}$	$Sef_i(t) = \frac{E_i}{(1-e^{-\vartheta_i\tau_i})}\left[\frac{1}{R_i - \vartheta_i L}\left[\frac{(1-e^{-\vartheta_i\tau_i})}{\vartheta_i} - \frac{(1-e^{-\sigma_i\tau_i})}{\sigma_i}\right] - \frac{1}{R_i}\left[\tau_i e^{-\vartheta_i\tau_i} - \frac{e^{-\vartheta_i\tau_i}(1-e^{-\sigma_i\tau_i})}{\sigma_i}\right]\right] + \frac{S_i\tau_i}{R_i} - \frac{S_i}{R_i}\frac{(1-e^{-\sigma_i\tau_i})}{\sigma_i} + Ex_i\frac{(1-e^{-\sigma_i\tau_i})}{\sigma_i}$
5	Лінійно зростаюча $i_i(t) = \frac{E_i}{L\tau_i}\left[\frac{e^{-\sigma_i t} - 1}{\sigma_i^2} + \frac{1}{\sigma_i}\right] + S_i\frac{1-e^{-\sigma_i t}}{R_i} + Ex_i \cdot e^{-\alpha_i t}$	$Sef_i(t) = \frac{E_i}{L\tau_i\sigma_i^2}\left[\frac{(1-e^{-\sigma_i\tau_i})}{\sigma_i} - \tau_i\right] + \frac{S_i}{R_i}\left[\tau_i - \frac{(1-e^{-\sigma_i\tau_i})}{\sigma_i}\right] + \frac{E_i\tau_i}{L\tau_i\sigma_i} + Ex_i\frac{(1-e^{-\sigma_i\tau_i})}{\sigma_i}$
6	Лінійно спадаюча $i_i(t) = -\frac{E_i}{L\tau_i}\left[\frac{e^{-\sigma_i t} - 1}{\sigma_i^2} + \frac{1}{\sigma_i}\right] + \left(E_i + S_i\right)\frac{1-e^{-\sigma_i t}}{R_i} + Ex_i \cdot e^{-\alpha_i t}$	$Sef_i(t) = \frac{E_i}{L\tau_i\sigma_i^2}\left[\tau_i - \frac{(1-e^{-\sigma_i\tau_i})}{\sigma_i}\right] - \frac{E_i\tau_i}{L\tau_i\sigma_i} + \frac{(E_i + S_i)}{R_i}\left[\tau_i - \frac{(1-e^{-\sigma_i\tau_i})}{\sigma_i}\right] + Ex_i\frac{(1-e^{-\sigma_i\tau_i})}{\sigma_i}$

Розрахунок діючого значення струму здійснюється за формулою:

$$i_Д = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2(t)dt}\ . \qquad (7)$$

За результатами розрахунку відомі аналітичні вирази струмів на інтервалах. Виходячи з цього та формули (4), діюче значення струму на періоді визначимо таким чином:

$$i_Д = \sqrt{\frac{1}{\sum\limits_{i=1}^{n}\tau_i}\sum_{i=1}^{n}\int_0^{\tau_i} i_i^2(t)dt} = \left|\int_0^{\tau_i} i_i^2(t)dt = dep_i(t)\right| = \sqrt{\frac{1}{\sum\limits_{i=1}^{n}\tau_i}\sum_{i=1}^{n} dep_i(t)}\,.$$

Для більш узагальненого випадку, коли необхідно розрахувати діюче значення струму на окремій ділянці періоду, маємо формулу

$$i_Д = \sqrt{\frac{1}{\sum\limits_{i=a}^{b}\tau_i}\sum_{i=a}^{b} dep_i(t)}\,,$$

де a – номер інтервалу, від якого починається розрахунок діючого значення струму; b – номер інтервалу, яким закінчується розрахунок середнього струму, включно.

Визначимо функції $\int_0^{\tau_i} i_i^2(t)dt = dep_i(t)$ для всіх типів аналітичних функцій, звівши отримані співвідношення до табл. 2.

Таблиця 2

№ з/п	Вид співвідношення $\int_0^{\tau_i} i_i^2(t)dt = dep_i(t)$
1	Кусочно-постійна функція: **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.**.
2	Кусочно-синусоїдальна функція: $dep_i(t) = \frac{I_i^2}{\omega_i}\left[-\frac{1}{2}\cos(\omega_i\tau_i+\alpha_i-\psi_i)\sin(\omega_i\tau_i+\alpha_i-\psi_i)+\frac{1}{2}\omega_i\tau_i+\frac{1}{2}\cos(\alpha_i-\psi_i)\sin(\alpha_i-\psi_i)\right]+$ $+2I_i\left[Ex_i - I_i\sin(\alpha_i-\psi_i)\right]\left[-\frac{\omega_i}{\sigma_i^2+\omega_i^2}e^{-\sigma_i\tau_i}\cos(\omega_i\tau_i+\alpha_i-\psi_i)-\frac{\sigma_i}{\sigma_i^2+\omega_i^2}e^{-\sigma_i\tau_i}\sin(\omega_i\tau_i+\alpha_i-\psi_i)+\right.$ $\left.+\frac{\omega_i}{\sigma_i^2+\omega_i^2}\cos(\alpha_i-\psi_i)+\frac{\sigma_i}{\sigma_i^2+\omega_i^2}\sin(\alpha_i-\psi_i)\right]+\left[Ex_i - I_i\sin(\alpha_i-\psi_i)\right]\frac{1}{2\sigma_i}\left[1-e^{-2\sigma_i\tau_i}\right]$
3	Зростаюча експоненціальна функція: $dep_i(t) = \int_0^{\tau_i}\left(A_i e^{-\sigma_i t} - B_i e^{-\vartheta_i t} + C_i\right)^2 = C^2\tau_i - \frac{2A_iC_i}{\sigma_i}e^{-\sigma_i\tau_i} - \frac{1}{2}\frac{A_i^2}{\sigma_i}e^{-2\sigma_i\tau_i} - \frac{1}{2}\frac{B_i^2}{\vartheta_i}e^{-2\vartheta_i\tau_i} +$ $+\frac{2B_iC_i}{\vartheta_i}e^{-\vartheta_i\tau_i} + \frac{2A_iC_i}{\vartheta_i+\sigma_i}e^{-(\vartheta_i+\sigma_i)\tau_i} + \frac{2A_iC_i}{\sigma_i} + \frac{1}{2}\frac{A_i^2}{\sigma_i} + \frac{1}{2}\frac{B_i^2}{\vartheta_i} - \frac{2B_iC_i}{\vartheta_i} - \frac{2A_iC_i}{\vartheta_i+\sigma_i}$, де $A_i = \left[\frac{E_i}{1-e^{-\vartheta_i\tau_i}}\left[\frac{1}{R_i-\vartheta_i L}-\frac{1}{R_i}\right]-\frac{S_i}{R_i}+Ex_i\right]$; $B_i = \left[\frac{E_i}{(1-e^{-\vartheta_i\tau_i})(R_i-\vartheta_i L)}\right]$; $C_i = \left[\frac{E_i}{1-e^{-\vartheta_i\tau_i}}\right]$.
4	Спадаюча експоненціальна функція: вираз, аналогічний п. 3, відрізняються коефіцієнти: $A_i = \left[\frac{E_i}{1-e^{-\vartheta_i\tau_i}}\left[-\frac{1}{R_i-\vartheta_i L}+\frac{e^{-\vartheta_i\tau_i}}{R_i}\right]-\frac{S_i}{R_i}+Ex_i\right]$; $B_i = -\left[\frac{E_i}{(1-e^{-\vartheta_i\tau_i})(R_i-\vartheta_i L)}\right]$; $C_i = \left[-\frac{E_i}{1-e^{-\vartheta_i\tau_i}}+\frac{S_i}{R_i}\right]$.
5	Лінійно зростаюча функція

	$dep_i(t)=\int_0^{\tau_i}\left(A_i e^{-\sigma_i t}+B_i t+C_i\right)^2=-\frac{1}{\sigma_i}\left[\frac{1}{2}A_i^{\,2}e^{-2\sigma_i\tau_i}+2\frac{A_iB_i}{\sigma_i}\left[e^{-\sigma_i\tau_i}\sigma_i\tau_i+e^{-\sigma_i\tau_i}\right]+2A_iC_ie^{-\sigma_i\tau_i}-\right.$ $\left.-\frac{1}{3}B_i^2\sigma_i\tau_i^3-B_i\sigma_i\tau_i^2C_i-C_i^2\sigma_i\tau_i-\frac{1}{2}A_i^{\,2}-2\frac{A_iB_i}{\sigma_i}-2A_iC_i\right],$ де $A_i=\left[\frac{E_i}{L\tau_i\sigma_i^2}-\frac{S_i}{R_i}+Ex_i\right]$; $B_i=\left[\frac{E_i}{L\tau_i\sigma_i^2}\right]$; $C_i=\left[-\frac{E_i}{L\tau_i\sigma_i^2}+\frac{S_i}{R_i}\right]$.
6	Лінійно спадаюча функція вираз, аналогічний п. 5, відрізняються коефіцієнти: $A_i=\left[-\frac{E_i}{L\tau_i\sigma_i^2}-\frac{E_i+S_i}{R_i}+Ex_i\right]$; $B_i=\left[-\frac{E_i}{L\tau_i\sigma_i^2}\right]$; $C_i=\left[\frac{E_i}{L\tau_i\sigma_i^2}+\frac{E_i+S_i}{R_i}\right]$.

Інтегральні характеристики P, $Q_Ф$ та S розраховуються за формулами

$$P=\int_{t=0}^{T^*}u(t)i(t)dt;\quad S=UI;\quad Q_Ф=(S^2-P^2)^{1/2}. \tag{8}$$

Для відомої моделі навантаження обчислення (8) спрощується.

Для струму навантаження $i(t)$ при $n_R = 1$ формула для визначення активної потужності P записується у вигляді

$$P=\sum_{j=1}^{m_R}(R_j/T^*)\int_{t=0}^{\Delta t_j}i_{Rj}(t)^2dt, \tag{9}$$

де $j = 1, \ldots, m_R$, m_R – кількість виділених інтервалів сталості опору $R(t) = R_j$, $t \in \Delta t_j = (t_{j-1} - t_j)$, $j=1,\ldots, m_R$, на періоді T^*. Величина $i_{Rj}(t)$ визначається залежно від моделі навантаження. Так, для послідовного RL-навантаження $i_R(t) = i(t)$, t є [0, T^*) – вхідному струму навантаження.

За умови $n_R > 1$ вираз (9) набуде матричного виду із введенням додаткового знаку суми, що відображатиме множинність опорів R_l, $l = 1, \ldots, n_R$, у моделі навантаження та визначення величини $i_{Rj}(t)$ із побудови рівняння виходу.

Отримання енергетичних характеристик на ІСС у аналітичному вигляді дає змогу здійснити точні розрахунки цих коефіцієнтів та уникнути застосування чисельних методів з похибками. Побудовані аналітичні співвідношення дозволяють пришвидшити розрахунок інтегральних характеристик залежно від структури навантаження системи електроживлення та виду множини аналітичних функцій, якими моделюється еквівалентним генератором ЕРС.

1. *Денисюк С.П., Мельничук Г.В.* Застосування перетворення Лапласа для аналізу електромагнітних процесів у системах з циклічно змінюваними параметрами елементів // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2003. – № 3(6). – С. 102–108.
2. *Денисюк С.П., Мельничук Г.В.* Побудова перетворення Лапласа при аналізі електромагнітних процесів у колах з циклічно змінюваними параметрами // Електроніка та зв'язок. – 2005. – № 26. – С. 29–36.
3. *Денисюк С.П., Мельничук Г.В.* Формування системи рівнянь змінних стану для розрахунку процесів у електричних колах з циклічно змінними режимами // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2005. – № 3(12). – С. 132–137.
4. *Денисюк С.П., Мельничук Г.В., Колесник П.С.* Розрахунок електромагнітних процесів у системах з перетворювачами електричної енергії для технологічних систем з циклічно змінюваними параметрами // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2010. – № 25. – С. 140–144.
5. *Кириленко О.В., Жуйков В.Я., Денисюк С.П., Рибіна О.Б.* Системи силової електроніки та методи їх аналізу. – К.: Текст, 2006. – 488 с.
6. *Руденко В.С., Жуйков В.Я., Коротеев И.Е.* Расчет устройств преобразовательной техники. – К.: Техніка, 1980. – 136 с.

С.П. Денисюк[1], докт. техн. наук, **Г.В. Мельничук**[2], аспирант, **П.С. Колесник**[3], студент
1,2 – Институт електродинамики НАН Украины,

пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина;
3,4 – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
пр. Победы, 37, Киев-56, 03056, Украина

Анализ интегральных характеристик систем электропитания с циклически заданными параметрами

Рассмотрены особенности использования модификации метода отдельных составляющих к расчету интегральных характеристик систем электропитания с циклически заданными параметрами. Приведены аналитические соотношения, которые позволяют ускорить расчет интегральных характеристик в зависимости от вида множества аналитических функций, которыми моделируется эквивалентным генератором ЭДС. Библ. 6.
Ключевые слова: электропитание, интегральные характеристики, аналитические функции.

S. Denysyuk[1], **G. Melnychuk**[2], **P. Kolesnik**[3]
1,2 – Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,
Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine;
3,4 – National Technical University of Ukraine "Kyiv polytechnic institute",
Peremogy, 37, Kyiv-56, 03056, Ukraine

The analysis of integral characteristics of electric power supply systems with cyclically variable parameters

The peculiarities of modification of individual components for the calculation of integral characteristics of power systems with cyclically variable parameters were considered. Analytical ratios, which allow to faster the calculation of integral characteristics which depend on the set of analytical functions used to model the equivalent generator of equivalent EMF are shown. References 6.
Key words: power supply, integral characteristics, analytical functions.

Надійшла 25.02.2011
Received 25.02.2011