

1. Божко А. Е. К концепции о переходных процессах в электрических цепях // Доп. НАН України. – 2003. – № 12. – С. 72–76.
2. Божко А. Е. Новая интерпретация переходных процессов в электрических цепях // Там само. – 2004. – № 9. – С. 83–87.
3. Божко А. Е. О новой трактовке переходных процессов в электроцепях переменного тока // Там само. – 2005. – № 4. – С. 81–86.
4. Божко А. Е. Об автоматической реструктуризации электрических цепей с реактивными элементами при полигармонических входных сигналах // Там само. – 2002. – № 11. – С. 101–103.
5. Андре Анго. Математика для электро- и радиоинженеров. – Москва: Наука, 1966. – 780 с.
6. Белецкий А. Ф. Основы теории линейных электрических цепей. – Москва: Связь, 1967. – 608 с.
7. Гинзбург С. Г. Методы решения задач по переходным процессам в электрических цепях. – Москва: Сов. радио, 1959. – 404 с.

Институт проблем машиностроения
им. А. Н. Подгорного НАН Украины, Харьков

Поступило в редакцию 24.02.2006

УДК 621.31.1.017

© 2007

Академік НАН України Г. Г. Півняк, О. В. Волков,
О. Г. Мирошніченко

Розподіл електричної активної потужності окремого електроспоживача на ділянках енергосистеми

The dependences that characterize the separate energy-consumer active electric power distribution in different parts of the energy system are obtained.

У зв'язку з подорожчанням електричної енергії (e/e), що відбулося останніми роками, стає актуальним і гостро потрібним у практиці встановлення об'єктивного тарифу на e/e в Україні. Зокрема, даний тариф повинен об'єктивно враховувати як збиток (у вигляді втрат активної потужності), що фактично завдається енергосистемі (ЕС) при транспортуванні e/e до окремого електроспоживача (ЕСп), так і фактичну відпускну ціну електростанцій на e/e , від яких її отримує конкретний окремий ЕСп [1]. Врахування зазначених чинників вимагає попереднього визначення кількісного розподілу активної потужності (АП) окремого ЕСп на всіх ділянках ЕС, чому й присвячена дана робота.

При подальшому аналізі енергосистема розглядається як сукупність вузлів і ділянок. Під ділянкою енергосистеми (ДЕС) розумітимемо її складові елементи: лінію, що передає електроенергію, трансформатор або автотрансформатор. Під відповідними ДЕС розумітимемо ділянки, по яких до даного вузла передається АП, а під ДЕС, що відходять, навпаки, ділянки, по яких АП передається від заданого вузла (у нормальному режимі роботи енергосистеми). Також домовимося прийняти за позитивний напрям протікання потужності у відповідних ДЕС до вузла, а в ДЕС, що відходять, навпаки, — від вузла.

На першому етапі знайдемо значення $P'_{k(n)}$ активної потужності, що передається (у схемі фрагмента енергосистеми на рис. 1) до n -го ЕСп через довільний відповідний k -й з K ділянок енергосистеми. Вважаємо, що від даного вузла безпосередньо отримують живлення N електроспоживачів.

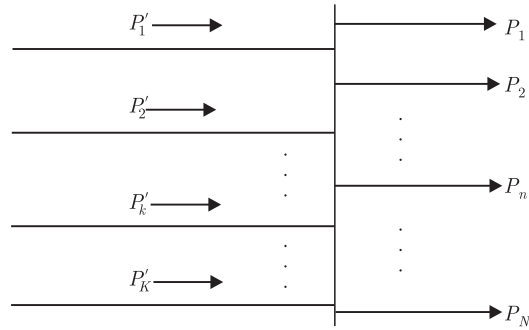


Рис. 1

Заздалегідь задамося наступним важливим допущенням (розглянутим раніше стосовно реактивної потужності в роботі [2]) — прямо пропорційною залежністю розподілу часток активних потужностей $P'_{k(n)}$ (створюваних в кожному k -му відповідній ДЕС дією активної потужності P_n довільного n -го електроспоживача) від поточного значення АП P_n вказаного ЕСП і від поточного значення АП P'_k даного k -го відповідній ДЕС:

$$\left. \begin{aligned} P'_{k(n)} &= \xi_k P_n, \\ \xi_k &= \frac{0,5 \left[(\text{sign } P'_k) + \left(\text{sign } \sum_{n=1}^N P_n \right) \right] \cdot P'_k}{\sum_{n=1}^N P_n + \sum_{k=1}^K 0,5 \left[(\text{sign } P'_k) - \left(\text{sign } \sum_{n=1}^N P_n \right) \right] \cdot P'_k} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де ξ_k — коефіцієнт розподілу активної потужності від будь-якого з $1, \dots, N$ електроспоживачів до k -го відповідній ДЕС. Згадане допущення найкраще відповідає подальшому справедливому і об'єктивному розрахунку втрат активної потужності на ділянках ЕС [2].

При даному “справедливому” розподілі додатково враховується також те, що, по-перше, через k -й відповідній ДЕС відбувається надходження активної потужності до ЕСП тільки в тому випадку, якщо сумарна активна потужність $\sum_{n=1}^N P_n$ усіх ЕСП збігається із знаком АП P'_k . По-друге, через k -й відповідній ДЕС відбувається надходження активної потужності до сусідньої відповідній ДЕС тільки у тому випадку, якщо знак активної потужності в даній сусідній відповідній ДЕС є протилежним знаку АП P'_k .

На другому етапі знайдемо значення АП в будь-якій m -й ДЕС (не сполученій безпосередньо з тим вузлом енергосистеми, від якого отримує живлення розглядуваний n -й ЕСП), що передається через нього до n -го ЕСП. Для цього розглянемо дві найбільші загальні і характерні типові схеми виконання існуючих енергосистем, показаних на рис. 2 у вигляді послідовного (а) або послідовно-паралельного (б) з'єднання ділянок і вузлів енергосистеми. Остання схема (б) на рис. 2 утворена з ідентичного виду Ф фрагментів Ф1 ... ФG першої схеми (а). В обох схемах у дужках вказано нумерацію вузлів енергосистеми.

Виходячи із запропонованого раніше “справедливого” розподілу часток активної потужності n -го ЕСП у відповідних до вузла ділянках енергосистеми, обчислимо (для схеми на рис. 2, а) значення активних потужностей:

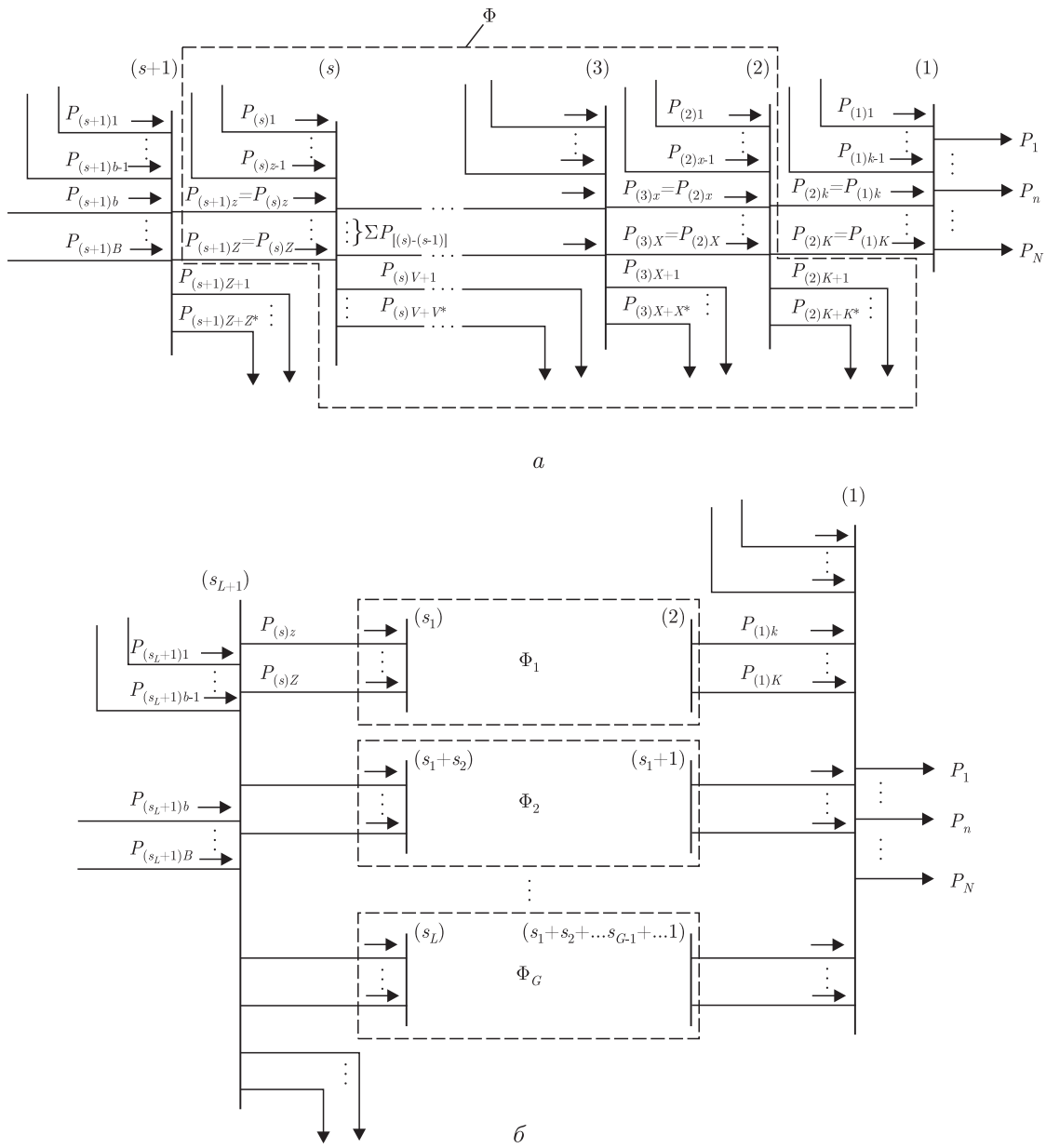


Рис. 2

$$\left. \begin{aligned}
 P_{(2-1)n} &= \eta_{(2-1)} P_n = \eta_{(2)} P_n, \\
 P_{(3-2)n} &= \eta_{(3-2)} P_{(2-1)n} = \eta_{(3-2)} \eta_{(2-1)} P_n = \eta_{(3)} P_n, \\
 \dots\dots\dots \\
 P_{[(s+1)-(s)]n} &= \eta_{[(s+1)-(s)]} P_{[(s)-(s-1)]} = \\
 &= \eta_{(2-1)} \eta_{(3-2)} \cdot \dots \cdot \eta_{[(s+1)-(s)]} P_n = \eta_{(s+1)} P_n,
 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

що передаються відповідно: між другим і першим, третім і другим ... (s + 1)-м і s-м вузлами в енергосистемі, які пов'язані з АП, що їх викликає, P_n даного окремого n-го ЕСП через результуючі у вузлах ... η_(s+1) і міжвузлові ... η_[(s+1)-(s)] передавальні коефіцієнти

за активною потужністю:

$$\left. \begin{aligned}
 \eta_{(2-1)} &= \frac{0,5 \sum_k^K \left(\left\{ (\text{sign } P_{(1)k}) + (\text{sign } \sum_{n=1}^N P_n) \right\} P_{(1)k} \right)}{\sum_{n=1}^N P_n + \sum_{k=1}^K \left(0,5 \left\{ (\text{sign } P_{(1)k}) - (\text{sign } \sum_{n=1}^N P_n) \right\} P_{(1)k} \right)}, \\
 \eta_{(3-2)} &= \frac{0,5 \sum_x^X \left(\left\{ (\text{sign } P_{(2)x}) + (\text{sign } \sum_{k=k}^{K+K^*} P_{(2)k}) \right\} P_{(2)x} \right)}{\sum_{k=k}^{K+K^*} P_{(2)k} + \sum_{x=1}^X \left(0,5 \left\{ (\text{sign } P_{(2)x}) - (\text{sign } \sum_{k=k}^{K+K^*} P_{(2)k}) \right\} P_{(2)x} \right)}, \\
 &\dots\dots\dots, \\
 \eta_{[(s+1)-(s)]} &= \frac{0,5 \sum_z^Z \left(\left\{ (\text{sign } P_{(s)z}) + (\text{sign } \sum_{v=v}^{V+V^*} P_{(s)v}) \right\} P_{(s)z} \right)}{\sum_{v=v}^{V+V^*} P_{(s)v} + \sum_{z=1}^Z \left(0,5 \left\{ (\text{sign } P_{(s)z}) - (\text{sign } \sum_{v=v}^{V+V^*} P_{(s)v}) \right\} P_{(s)z} \right)}, \\
 \eta_{(2)} &= \eta_{(2-1)}, \\
 \eta_{(3)} &= \eta_{(2-1)} \cdot \eta_{(3-2)}, \\
 &\dots\dots\dots \\
 \eta_{(s+1)} &= \eta_{(2-1)} \cdot \eta_{(3-2)} \cdot \dots \cdot \eta_{[(s+1)-(s)]} = \prod_{s=1}^s \eta_{[(s+1)-(s)]}.
 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Для схеми енергосистеми на рис. 2, б (з послідовно-паралельним з'єднанням ділянок і вузлів) результуюча (сумарна) активна потужність $P_{[(s_L+1)\Sigma]n}$, що передається від $(s_L + 1)$ -го вузла до (1) -го вузла (від якого отримує живлення n -й ЕСП), і викликана впливом тільки власної АП P_n n -го ЕСП, що розглядається, знаходиться у вигляді:

$$\begin{aligned}
 P_{[(s_L+1)\Sigma]n} &= P_{[(s_L+1)-s_1]n} + P_{[(s_L+1)-(s_1+s_2)]n} + \dots + P_{[(s_L+1)-s_L]n} = \\
 &= \{ \eta_{[(s_L+1)-(s_1)]} \eta_{(s_1)} + \eta_{[(s_L+1)-(s_1+s_2)]} \eta_{(s_1+s_2)} + \dots + \eta_{[(s_L+1)-(s_L)]} \eta_{(s_L)} \} P_n = \\
 &= \sum_1^G \left\{ \prod_{s=1}^{s_L+1} \eta_{[(s+1)-(s)]} \right\} P_n = \eta_{(s_L+1)} P_n,
 \end{aligned} \quad (4)$$

де $\eta_{(s_L+1)}$ — результуючий (еквівалентний) передавальний коефіцієнт за активною потужністю для паралельно сполучених ДЕС; G — кількість паралельно сполучених фрагментів Φ в схемі ЕС на рис. 2, б.

Враховуючи (2) і (4), визначимо поточне значення активної потужності, що передається через будь-яку m -ну ділянку енергосистеми до n -го ЕСП:

$$P_{m(n)} = \xi_{(s)m} \cdot \eta_{(s)} \cdot P_n, \quad (5)$$

де $\xi_{(s)m}$ — еквівалентний коефіцієнт розподілу за активною потужністю для m -ї ДЕС; $\eta_{(s)}$ — передавальний коефіцієнт за активною потужністю для (s) -го вузла енергосистеми; (s) — вузол енергосистеми, з яким пов'язана безпосередньо відповідна m -на ДЕС.

Одержана залежність (5) з урахуванням (3) і (4) дозволяє кількісно визначити поточний розподіл (у вигляді значення $P_{m(n)}$) активної потужності P_n окремого n -го ЕСП на будь-якій m -й ділянці енергосистеми. Така залежність універсальна і справедлива для будь-якої кількості ділянок, що містяться в енергосистемі, та вузлів, для довільної (будь-якої, зокрема, що змінюється в процесі функціонування) схемної конфігурації енергосистеми, а також при довільних поточних значеннях і різних напрямках протікання АП на ділянках енергосистеми.

1. *Дерзский В. Г.* Тарифная политика и потери электроэнергии в распределительных сетях // Сети и системы. – 2003. – № 4. – С. 25–30.
2. *Волков А. В., Мирошниченко О. Г.* Расчет потерь в энергосистеме, вызванных реактивной мощностью отдельного электропотребителя // Техн. електродинаміка. – 2005. – № 5. – С. 62–69.

*Національний гірничий університет, Дніпропетровськ
Запорізький національний технічний університет*

Надійшло до редакції 28.03.2007