

5. Zakladnyi O.O. Software functional diagnosis of electromechanical energy systems with induction motors / O.O. Zakladnyy, O.M. Zakladnyy // *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohiya, ekolohiya*. 2011. #2. S. 102-108.

УДК 621.311.001.57(063)

**О.А. Закладной, канд. техн. наук; А.Н. Закладной, канд. техн. наук; доцент
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
СРЕДСТВА ДИАГНОСТИЧЕСКОГО АУДИТА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ КАК ЭЛЕМЕНТ
ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА**

В соответствии с европейскими директивами и стандартами по повышению уровня энергоэффективности известно утверждение энергоменеджмента - «Не можешь измерять - не можешь управлять» - означает, что определение энергетических индикаторов является основой энергетического менеджмента. Таким образом, средства диагностического аудита, обеспечивающие контроль уровня энергетической эффективности потребителей путем мониторинга энергетических индикаторов, являются необходимым элементом современной системы энергетического менеджмента. Такие средства, разработанные в соответствии с принципами современных smart-технологий, позволяют реализовать на предприятии систему энергоменеджмента в соответствии со стандартом ISO 50001:2011.

Ключевые слова: система энергетического менеджмента, уровень энергетической эффективности, энергоанализ, электромеханическая система.

Надійшла 17.10.2013

Received 17.10.2013

УДК 621.31

**С.П. Денисюк, д-р. техн. наук, профессор; Т.М. Базюк
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»**

**ОПТИМАЛЬНИЙ ВІДБІР ПОТУЖНОСТІ В СИСТЕМАХ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

В статті розглядається можливість підвищення енергоефективності систем електропостачання та оптимізації енергетичних процесів шляхом оптимізації режимів споживання та відбору потужності. Виділено та проаналізовано критерії оптимального відбору потужності. Систематизовано виділені критерії оптимального відбору потужності. Проаналізовано характеристики критеріїв оптимальності. Сформовано систему показників і характеристики для оцінюючих алгоритмів оптимізації та розрахунку систем енергопостачання. Відзначено особливості реалізації компенсаторів реактивної потужності. Наведено алгоритм впровадження компенсаторів реактивної потужності в системі електропостачання. Розглянуто напрями підвищення ефективності споживання шляхом зміни режиму роботи навантаження споживачів.

Ключові слова: нерівномірність споживання, критерії відбору потужності, оптимальний відбір потужності, розосереджена генерація.

Вступ. Інтеграція розосереджених джерел енергії в систему енергопостачання створює нові можливості як для електроенергетичних систем, так і для споживачів [1]. Більшість джерел розосередженої генерації характеризуються нестійкими, нестабільними режимами роботи, що вимагає реалізації заходів із зменшення впливу негативних наслідків, підвищення ефективності роботи та підтримання постійної потужності в електричній мережі.

Мета та завдання. Для оптимізації енергетичних процесів в системах з пристроями силової електроніки необхідно сформулювати відповідні закони регулювання. Оцінити критерії оптимального споживання та оптимального відбору потужності.

Матеріал і результати дослідження. Формування законів регулювання можливе за умови вибору та реалізації критеріїв, зокрема, оптимального відбору потужності [2–7]. Це вимагає систематизації існуючих критеріїв.

Відповідно до вибраної множини критеріїв процес оптимізації може проводитися за напрямками [8]:

- оптимізація електромагнітних чи енергетичних процесів у перетинах виділених систем;
- оптимізація параметрів елементів системи;
- оптимізація структури системи.

На рис. 1. представлено класифікацію генеруючих потужностей та навантажень з точки зору особливостей оптимального відбору потужності.

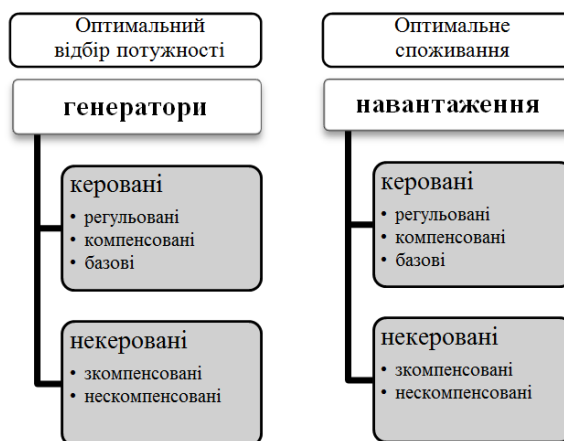


Рис. 1 Класифікація генеруючих потужностей та навантажень

Вибір критеріїв визначається типом гармонічних спектрів сигналів напруги та струму, необхідністю врахування заданої сукупності особливостей функціонування конкретних типів системи.

Для формування критеріїв оптимального відбору потужності виділимо чотири класи сигналів [8], де введено наступні позначення: клас I – напруга та струм синусоїдальні (u_1, i_1); клас II – напруга синусоїдальна, струм несинусоїдальний (присутні вищі гармонічні складові) (u_1, i_1+i_{\dots}); клас III – напруга несинусоїдальна, струм синусоїдальний (u_1+u_{\dots}, i_1); клас IV – напруга та струм несинусоїдальні ($u_1+u_{\dots}, i_1+i_{\dots}$).

Оскільки виділені класи II та III сигналів є дуальними, то надалі при розгляді енергетичних процесів і аналізі енергетичних характеристик та показників розглядатимемо особливості I, II і IV класів.

При оптимізації енергетичних процесів до систем з пристроями силової електроніки можуть пред'являтися різні, часто суперечливі критерії оптимальності електроспоживання. Критерії оптимальності, що накладають обмеження на форму миттєвих значень сигналів, зведені в табл. 1, де використовуються наступні позначення [8, 11]: W^+ – прямиий потік енергії, W^- – зворотний потік енергії, $p(t)$ миттєве значення потужності, $i(t)$ – миттєве значення струму, $u(t)$ – миттєве значення напруги, $Q_{об}$ – обмінна реактивна потужність, Q_{ϕ} – реактивна потужність по Фризе, $Q_{ЛЧ}$ – складова реактивної потужності Q_{ϕ} що компенсується лінійним двополюсником, $Q_{НЧ}$ – складова реактивної потужності Q_{ϕ} що компенсується активним компенсатором, P_1 – активна потужності по першій гармоніці, P_{∞} – активна потужність на вищих гармоніках. Приведені в табл. 1 критерії (умови) оптимальної передачі енергії від одного елемента системи до іншого в загальному випадку взаємодоповнюються, взаємозамінюються чи можуть бути відсутніми.

Для I, II і IV класів сигналів, в табл. 2 приведемо загальну характеристику критеріїв (умов) оптимальної передачі енергії від одного елемента системи електропостачання з розосередженою генерацією до іншого: « \otimes » – критерії однакові (взаємозамінні); « \oplus » – критерії описують різні сторони процесів; « \emptyset » – критерії відсутні.

Крім того, в табл. 2 [8] використовуються наступні індекси: індекси «(1)», «(2)», «(3)» – вказують на взаємозамінність по групі критеріїв; індекси «(2+3)» і «(6+7)» вказують на взаємозамінність відповідно критеріїв за №№ 2 і 3 щодо критерію № 4 і за №№ 6 і 7 щодо критерію за № 5.

Приведений аналіз дав можливість звести в табл. 3 і 4 опис енергетичних характеристик різних сторін енергетичних процесів в системах з пристроями силової електроніки (табл. 3) і особливостей реалізації компенсаторів реактивної потужності та/або спотворень сигналів струму і напруги (табл. 4)

тільки для I, II і IV класів сигналів.

Таблиця 1

Критерії оптимальності та їхні характеристики

№ п/п	Критерій	Характеристика
1	$u(t) / i(t) = const$	Забезпечення пропорційності напруги та струму (умова мінімуму втрат) $u(t) / i(t) = U^2 / P = const$
2	$W^+ \rightarrow \max$	Забезпечення максимального відбору електроенергії
3	$W^- \rightarrow 0$	Усунення зворотних потоків електроенергії
4	$Q_{OB} \rightarrow 0$ ($Q_{OB1} \rightarrow 0, Q_{OB2} \rightarrow 0$)	Компенсація обмінної енергії (усунення обмінних процесів)
5	$Q_{\phi} \rightarrow 0$	Компенсація потужності Фризе Q_{ϕ}
6	$Q_{ЛЧ} \rightarrow 0$	Усунення складової потужності Фризе Q_{ϕ} , що компенсується лінійним двополюсником
7	$Q_{НЧ} \rightarrow 0$	Усунення складової потужності Фризе Q_{ϕ} , що компенсується активним компенсатором
8	$Q_1 \rightarrow 0$	Компенсація реактивної потужності Q_1 за першою гармонікою
9	$P_1 \rightarrow \max$	Відбір активної потужності P_1 по першій гармоніці
10	$ p(t) - P \leq P_1$	Зниження амплітуди коливання миттєвої потужності $p(t)$ відносно рівня активної потужності P_1
11	$P_x / P_1 \rightarrow 0$	Усунення передачі активної потужності на вищих гармоніках
12	$\max \{i(t)\} \leq I_{\max}$	Мінімізація миттєвих значень струму $i(t)$; обмеження щодо максимальних значень струму $i(t)$
13	$\max \{di(t) / dt\} \leq I_{\max,D}$	Мінімізація "стрибків" миттєвих значень струму $i(t)$
14	$ i(t) - I_{CP} \leq I_{\Delta}$	Зниження амплітуди коливання миттєвого струму $i(t)$ відносно середнього значення струму I_{CP}
15	$I_{M(j)} \rightarrow 0$	Усунення j -ї гармоніки струму $i(t)$

Таблиця 2

Основні критерії оптимального відбору потужності

Клас	Номер критерію оптимальної передачі електроенергії															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	∅	⊗	⊗	⊗ ₍₁₎	⊗ ₍₁₎	∅	⊕	⊕	⊕	∅
II	⊗	⊗ ₍₁₎	⊗ ₍₁₎	⊗ ₍₂₊₃₎	⊗ ₍₆₊₇₎	⊕	⊕	⊗ ₍₂₎	⊗ ₍₂₎	⊗ ₍₃₎	⊗ ₍₃₎	∅	⊕	⊕	⊕	⊕
IV	⊗	⊗ ₍₁₎	⊗ ₍₁₎	⊗ ₍₂₊₃₎	⊗ ₍₆₊₇₎	⊕	⊕	⊕	⊗ ₍₂₎	⊕	⊕	⊗ ₍₂₎	⊕	⊕	⊕	⊕

Проведений аналіз критеріїв оптимального відбору потужності дозволив звести основні з них до табл. 3, де використовуються наступні позначення: $W_{н,т}$ – необхідні втрати енергії, $W_{д,т}$ – додаткові втрати енергії, R_L – опір лінії. На основі взаємодоповнення, взаємозаміни та відсутності деяких критеріїв для певних класів сигналів була побудована табл. 3 [8], яка дозволяє спростити процедуру оптимізації та розрахунку систем електропостачання. Аналіз та систематизація критеріїв також дозволили описати енергетичні характеристики різних сторін енергетичних процесів та особливостей реалізації компенсаторів реактивної потужності при спотвореннях сигналів струму і напруги.

Спрощена таблиця для оптимізації та розрахунку систем електропостачання

№ з/п	Енергетичний фактор	I клас сигналів	II клас сигналів	IV клас сигналів
1	Миттєва потужність в перетині $p(t)$	$p(t) = u_1(t)i_1(t);$ $p(t) = UI \cos \varphi -$ $-UI \cos(2\omega t - \varphi)$	$p(t) = u_1(t)(i_1(t) + i_-(t));$ $p(t) = p_0(t) + p_H(t)$	$p(t) = (u_1(t) + u_-(t)) \cdot$ $\cdot(i_1(t) + i_-(t))$ $p(t) = p_0(t) + p_H(t)$
2	Активна потужність P	$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1$	$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1$	$P = P_1 + P_-$
3	Реактивна потужність Q	$Q_1 = U_1 I_1 \sin \varphi_1$	$Q_\phi^2 = S^2 - P_1^2$	$Q_\phi^2 = S^2 - P^2$
4	Прямий потік енергії W^+	$W^+ = 2\pi P_1 / \omega - W^-$	$W^+ = \int_0^t p(t) dt$	$W^+ = \int_0^t p(t) dt$
5	Зворотній потік енергії W^-	$W^- = 2\varphi P_1 / \omega -$ $-2Q_1 / \omega$	$W^- = \int_0^t p(t) dt$	$W^- = \int_0^t p(t) dt$
6	Обмінна потужність Q_{OB}	$Q_{OB} = \pi Q_1$	$Q_{OB1}, Q_{OB2} - \text{var}$	$Q_{OB1}, Q_{OB2} - \text{var}$
7	Баланс інтегральних характеристик	$S_1^2 = P_1^2 + Q_1^2;$ $Q_1 = \sum Q_L - \sum Q_C;$ $Q_1 = (W_{L\max} - W_{C\max})$	$S^2 = P_1^2 + Q_\phi^2$	$S^2 = P^2 + Q_\phi^2$
8	Баланс миттєвих характеристик	$u_{1,\Gamma}(t)i_{1,\Gamma}(t) =$ $= u_{1,H}(t)i_{1,H}(t)$	$u_{1,\Gamma}(t)(i_{1,\Gamma}(t) + i_{\infty,\Gamma}(t)) =$ $= u_{1,H}(t)(i_{1,H}(t) + i_{\infty,H}(t));$ $p_\Gamma(t) = p_{0,H}(t) + p_{H,H}(t)$	$(u_{1,\Gamma}(t) + u_{\infty,\Gamma}(t))(i_{1,\Gamma}(t) +$ $+ i_{\infty,\Gamma}(t)) = (u_{1,H}(t) +$ $+ u_{\infty,H}(t))(i_{1,H}(t) + i_{\infty,H}(t));$ $p_\Gamma(t) = p_{0,H}(t) + p_{H,H}(t)$
9	Баланс потоків електроенергії	$W^+ + W^- = 2\pi P_1 / \omega$	$W(t) = \int_0^t p(t) dt =$ $= \int_0^t p_0(t) dt + \int_0^t p_H(t) dt$	$W(t) = \int_0^t p(t) dt =$ $= \int_0^t p_0(t) dt + \int_0^t p_H(t) dt$
10	Причини втрат електроенергії	Наявність реактивної потужності Q_1	Наявність реактивної потужності Q_ϕ ; наявність неоптимальної форми кривої струму $i(t)$ або напруги $u(t)$	Наявність реактивної потужності Q_ϕ ; наявність неоптимальної форми кривої струму $i(t)$ або напруги $u(t)$
11	Ортогональні складові струму $i(t)$	$i(t) = i_A(t) + i_P(t);$ $i_A(t) = i_{1,A}(t);$ $i_P(t) = i_{1,P}(t)$	$i(t) = i_A(t) + i_P(t);$ $i_A(t) = i_{1,A}(t);$ $i_P(t) = i_{1,P}(t) + i_-(t)$	$i(t) = i_A(t) + i_P(t);$ $i_A(t) = i_{1,A}(t) + i_{-A}(t);$ $i_P(t) = i_{1,P}(t) + i_{-P}(t)$
12	Необхідні втрати електроенергії	$W_{H,T} = R_L I_{1,A}^2 T$	$W_{H,T} = R_L \int_0^T (i_{1,A}(t))^2 dt$	$W_{H,T} = R_L \int_0^T (i_{1,A}(t) +$ $+ i_{-A}(t))^2 dt$
13	Додаткові втрати електроенергії	$W_{д,T} = R_L I_{1,P}^2 T$	$W_{д,T} = R_L \int_0^T (i_{1,P}(t) +$ $+ i_{\infty,P}(t))^2 dt$	$W_{д,T} = R_L \int_0^T (i_{1,P}(t) +$ $+ i_{\infty,P}(t))^2 dt$
14	Оптимальний відбір електроенергії зі сторони генератора	$Q_1 = 0$	Умови: $-Q_\phi = 0;$ $-Q_{OB1} = 0; -Q_{OB2} = 0;$ $-W^- = 0$	Умови: $-Q_\phi = 0;$ $-Q_{OB1} = 0; -Q_{OB2} = 0;$ $-W^- = 0$

Продовження таблиці 3

15	<i>Оптимальне споживання електроенергії зі сторони навантаження</i>	$Q_1 = 0$	Умови: $-u(t) / i(t) = const;$ $-P_{\sim} = 0$	Умови: $-u(t) / i(t) = const;$ $-P_{\sim} = 0$
16	<i>Генерація кондуктивних завод</i>	<i>Відсутня</i>	<i>Визначається струмом $i_j(t), j > 1$</i>	<i>Визначається струмом $i_j(t), j > 1$</i>
17	<i>Взаємний вплив між j_1 та j_2 елементами системи</i>	<i>Визначається реактивною потужністю Q_1</i>	<i>Визначається: – обмінною потужністю $Q_{ОБ1}$ або $Q_{ОБ2}$; – умовою $i_{j1,\Gamma}(t) = i_{j2,H}(t)$</i>	<i>Визначається: – обмінною потужністю $Q_{ОБ1}$ або $Q_{ОБ2}$ умовою $i_{j1,\Gamma}(t) = i_{j2,H}(t)$</i>
18	<i>Взаємозалежність $p(t)$ і систем інтегральних характеристик</i>	<i>Однозначна</i>	<i>Неоднозначна</i>	<i>Неоднозначна</i>

Таблиця 4

Особливості реалізації компенсаторів реактивної потужності та/або спотворень сигналів струму і напруги [8]

№ n/n	Задача компенсації	I клас сигналів	II клас сигналів	IV клас сигналів
1	<i>Компенсація Q_1</i>	$Q_K = -Q_1$	$i_K(t) = -i_{1,P}(t)$	$i_K(t) = -i_{1,P}(t)$
2	<i>Компенсація W^-</i>	$Q_K = -Q_1$	$\int_0^{\tau} p_{H,H}(t)dt = -\int_0^{\tau} p_{H,K}(t)dt,$ <i>для інтервалу часу $\tau \in [0, T]$</i>	$\int_0^{\tau} p_{H,H}(t)dt = -\int_0^{\tau} p_{H,K}(t)dt$ <i>для інтервалу часу $\tau \in [0, T]$</i>
3	<i>Компенсація $Q_{ОБ}$</i>	$Q_K = -Q_1 = -\frac{Q_{ОБ}}{\pi}$	$Q_{ОБ1} \rightarrow 0; Q_{ОБ2} \rightarrow 0;$	$Q_{ОБ1} \rightarrow 0; Q_{ОБ2} \rightarrow 0;$
4	<i>Компенсація Q_{Φ}</i>	$Q_K = -Q_1 \equiv -Q_{\Phi}$	$i_K(t) = -i_{1,P}(t) - i_{\sim,P}(t)$	$i_K(t) = -i_{1,P}(t) - i_{\sim,P}(t)$
5	<i>Компенсація $Q_{ЛЧ}$</i>	$Q_K = -Q_1 \equiv -Q_{ЛЧ}$	$Q_K = -Q_1 \equiv -Q_{ЛЧ}$	$i_K(t) = -i_{P1}(t)$
6	<i>Компенсація $Q_{НЧ}$</i>	<i>$Q_{НЧ}$ – відсутня</i>	$i_K(t) = -i_{\sim}(t)$	$i_K(t) = -i_{P2}(t)$
7	<i>Компенсація $i_p(t)$</i>	$i_K(t) = -i_{1,P}(t)$	$i_K(t) = -i_{1,P}(t) - i_{\sim,P}(t)$	$i_K(t) = -i_{1,P}(t) - i_{\sim,P}(t)$
8	<i>Компенсація $i_p^*(t)$, де $i_p^*(t) \in i_p(t)$ ($t \in [0, T]$)</i>	<i>$i_p^*(t)$ – відсутня</i>	$i_K(t) = -i_p^*(t)$	$i_K(t) = -i_p^*(t)$
9	<i>Компенсація $i_j(t)$, де $j > 1$</i>	<i>Відсутня</i>	$i_{(j),K}(t) = -i_j(t)$	$i_{(j),K}(t) = -i_j(t)$
10	<i>Компенсатор пасивний</i>	<i>Компенсуюча ємність C або індуктивність L</i>	<i>Компенсуюча ємність C або індуктивність L (варіант $C_{ОПТ}$ або $L_{ОПТ}$); резонансні системи для $i_j(t), j > 1$, гармоніки струму</i>	<i>Компенсація: $i_K(t) = -i_{P1}(t)$ – компенсація $Q_{ЛЧ}$ пасивним двополосником; резонансні системи для складової $i_{(j),P}(t), j > 1, j$-ї гармоніки струму</i>

Продовження таблиці 4

11	Компенсатор активний	Напівпровідниковий регулятор реактивної потужності Q_1	Компенсатор з модуляцією сигналу відповідно $i_K(t) = -i_{1,P}(t) - i_{\sim,P}(t)$	Компенсатор з модуляцією сигналу відповідно $i_K(t) = -i_{1,P}(t) - i_{\sim,P}(t)$
12	Компенсатор гібридний	Відсутня	Компенсація струму: формування $i_{P,OPT}(t)$ – ємність $C_{OPT}(L_{OPT})$; $i_K(t) = -i_{1,P}(t) - i_{\sim,P}(t) - i_{P,OPT}(t)$ – активний компенсатор	Компенсація: $i_K(t) = -i_{P1}(t) -$ компенсація $Q_{ЛЧ}$ пасивним двополюсником; $i_K(t) = -i_{P2}(t) -$ компенсація $Q_{ПЧ}$ активним компенсатором

Вибір оптимального рішення, що відповідає поставленим критеріям (найчастіше забезпеченню заданої якості роботи об'єкта при мінімальному терміні окупності інвестицій або мінімумі вартості володіння), є складним завданням. Вирішення цього завдання вимагає застосування спеціальних методик, а часто й дорогого моделювання для підтвердження отриманих результатів до початку проектування [8].

Для забезпечення ефективного та якісного впровадження нового обладнання що постачається (компенсаторів реактивної потужності, джерел розосередженої генерації і т.д.), а також мінімізації витрат часу і витрат на проектні та пусконаладжувальні роботи необхідно здійснювати комплекс робіт з системного аналізу на перед проектному етапі та в ході робіт з проектування і виготовлення та монтажу устаткування:

- аналіз об'єкта та його режимів роботи (підстанції, мережевого району, розподільних мереж підприємства, міжсистемних зв'язків, технологічного обладнання та інших навантажень);
- дослідження статичної та динамічної стійкості енергосистем при введенні нових генеруючих потужностей, при проектуванні будуються або модернізуються підстанцій, при підключенні нових споживачів;
- рішення задач координації струмів короткого замикання;
- обґрунтований вибір параметрів спрацювання і пристроїв релейного захисту та протиаварійної автоматики;
- визначення «вузьких місць» і вироблення рекомендацій щодо вдосконалення структури і режимів мережі;
- вибір типів, потужностей та місць встановлення пристроїв компенсації реактивної потужності з метою оптимізації режимів роботи об'єкта;
- аналіз точок підключення пристроїв силової електроніки;
- аналіз взаємодії пристроїв силової електроніки з прилеглими енергооб'єктами в межах аналізованого об'єкта і навантаженнями;
- розробку стратегії управління обладнанням і аналіз досягнення поставлених завдань з оптимізації режимів роботи об'єкта й впливу на об'єкт в цілому;
- аналіз взаємного впливу пристроїв силової електроніки і знаходиться в зоні його впливу електрообладнання, в тому числі їх електромагнітна сумісність, вимоги до пристроїв релейного захисту пристроїв силової електроніки і прилеглої електрообладнання;
- аналіз вимог до рівня ізоляції;
- економічне порівняння розглянутих варіантів пристроїв силової електроніки;
- розробка ТЕО і проекту ТЗ на обладнання для затвердження замовником [8].

У деяких випадках ефективність електроспоживання (компенсація $Q_{об.}$, $Q_{ф.}$, Q_{fm}) можна підвищити не тільки з допомогою додаткових компенсуючих пристроїв, а змінюючи режими роботи навантаження. Розглянемо принцип керування системою, яка складається із генератора напруги $u(t)$ з періодом T і паралельно включених навантажень, із яких n керованих та m некерованих. Керованим навантаженням будемо вважати i -те навантаження із струмом $i_i^{(k)}(t; t_i^{(k)})$ і періодом енергетичних процесів $T_i^{(k)}$, для якого можлива зміна зсуву в часі $t_i^{(k)}$ умовного початку періоду $T_i^{(k)}$ відносно початкового періоду T генератора напруги без зміни споживаної активної потужності. За некероване навантаження приймемо j -те навантаження $i_j^{(n)}(t; t_j^{(n)})$ з періодом енергетичних процесів $T_j^{(n)}$, для якого величина $t_j^{(n)}$, що за своєю суттю аналогічна величині $t_i^{(k)}$, є незмінною [8].

Струм генератора можна записати в наступному вигляді [3]:

$$i(t) = \sum_{i=1}^{n'} i_i^{(k)}(t; t_i^{(k)}) + \sum_{i=1}^{m'} i_i^{(n)}(t; t_i^{(n)}).$$

Вигляд кривої $i(t)$ залежить від інтервалів $t_i^{(k)}$, тому їх зміна призводить до зміни енергоспоживання в системі що розглядається [11].

Завдання системи керування і-ми навантаженнями полягає в формуванні струму $i(t)$ шляхом зміни інтервалів $t_i^{(k)}$ таким чином, щоб уникнути повернення енергії в генератор (компенсація $Q_{об}$) або знизити втрати при транспортуванні енергії (компенсація Q_{ϕ} , $Q_{\phi m}$) (виконується при умові $i(t) = g_0 u(t)$).

В загальному випадку між струмом $i(t)$ та напругою $u(t)$ існує залежність $i(t) = g_0 u(t)$, де миттєва провідність є сумою постійної і змінної складових, які для системи що розглядається рівні [10-12]:

$$g_0 = \sum_{i=1}^{n'} g_{0i}^{(k)} + \sum_{j=1}^{m'} g_{0j}^{(n)};$$

$g(t) = g^{(k)}(t) + g^{(n)}(t)$, де $g^{(k)}(t)$; $g^{(n)}(t)$ – відповідно керована та некерована частини миттєвої провідності $g(t)$, $g^{(k)}(t) = \sum_{i=1}^{n'} g_i^{(k)}(t; t_i^{(k)})$, $g^{(n)}(t) = \sum_{j=1}^{m'} g_j^{(n)}(t; t_j^{(n)})$. Умовою компенсації Q_{ϕ} і $Q_{\phi m}$ є $g^{(k)}(t) = g^{(n)}(t)$ відповідно на періоді T й на інтервалі τ , а умовою компенсації $Q_{об}$: $-g(t) > 0$.

Висновки.

Для ефективної роботи систем енергопостачання потрібно здійснювати оптимальний відбір потужності від генераторів та оптимальний відбір енергії з мережі обладнанням споживачів (оптимальне енергоспоживання), особливо це стосується систем із джерелами розосередженої генерації. З метою підвищення ефективності роботи систем енергопостачання із відновлювальними джерелами енергії та розосередженою генерацією була проведена оцінка та систематизація критеріїв оптимального відбору потужності. Аналіз та систематизація критеріїв дозволили сформулювати систему енергетичних характеристики для опису різних сторін енергетичних процесів. Як один із варіантів підвищення ефективності роботи систем енергопостачання із розосередженою генерацією розглядається можливість оптимального керування обладнанням споживача.

Список літератури

1. Стогній Б.С., Прахоренко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. Інтелектуальні електричні мережі: світовий досвід і перспективи України // Пр.Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб.наук.пр. Спец. випуск. Ч. 1. – К.:ІЕД НАНУ, 2011.– с. 5-20.
2. Агунов М.В., Агунов А.В., Вербова Н.М. Новый подход к измерению электрической мощности // Пром. энергетика. – 2004. – № 2. – С. 30–33.
3. Баланс энергии установившихся режимов цепей несинусоидального тока и напряжения // В.Е. Тонкаль, В.Я. Жуйков, С.П. Денисюк и др. // Докл. АН УССР. Сер. А. – 1987. – № 7. – С. 71–74.
4. Бородин Д. В. Средства измерительной техники для измерения показателей качества электрической энергии // Электроэнергетика. – 2008. – №1. – С. 30–35.
5. Бохмат И.С., Воротницкий В.Э., Татаринев Е.П. Снижение коммерческих потерь в электрических системах // Электрические станции. – 1998. – № 9.
6. Вагин Г.Я., Иванов В.Б., Смирнов С.А. Влияние высших гармоник тока и напряжения на погрешность электросчетчиков // Пром. энергетика. – 1976. – №4.
7. Вариводов В.Н. Интеллектуальные электроэнергетические системы / В.Н. Вариводов, Ю.А. Коваленко // Электричество. – 2011. – № 9. – С. 4–9.
8. Жуйков В.Я., Денисюк С.П. Енергетичні процеси в електричних колах з ключовими елементами. – К.: [Текст], 2010.– 264 с.
9. Денисюк С.П., Дерев'янюк Д.Г., Колесник П.С. Оптимізація режимів електропостачання в локальних системах з розосередженою генерацією // Пр.Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб.наук.пр. Спец. випуск. Ч. 2. – К.:ІЕД НАНУ, 2011. – 30-36.
10. Тонкаль В.Е., Жуйков В.Я., Денисюк С.П. Компенсация энергии в цепях несинусоидального тока и напряжения. // Допов. АН УССР. Сер. А. – 1988.– №4.– с. 76-78.
11. Тонкаль В.Е., Новосельцев А.В., Денисюк С.П. та ін.. Баланс энергий в электрических цепях. – Київ. Наукова думка. – 1992. с. 310.

OPTIMAL POWER CONSUMPTION IN ELECTRICAL POWER SYSTEMS

The article covers the possibility of the electric power system efficiency improvement and energetic processes optimization by means of use conditions and power take-off optimization. It marks off and analyses the criteria of the optimal power take-off. These criteria are then systematized. The comprehensive analysis of the optimality criteria characteristics is made. The index system and the characteristics for assessing optimization algorithms and electric power system analysis are formed. The article also marks the peculiarities of the reactive power compensator realization. It puts forward the algorithm of the reactive power compensator implementation into the electric power system and, finally, reviews the ways of consumption efficiency improvement by means of the load use condition alteration.

Key words: unevenness of consumption, power selection criteria, the optimal selection of power, distributed generation.

1. Stogniy B., Kyrylenko A., Prakhovnik A., Denysiuk S. Smart grids: international experience and prospects of Ukraine // Pr.In th Electrodynamics of NAS of Ukraine: Special. release. Part 1. - K.: IER NAS, 2011. - P. 5-20.
2. Ahunov M., Ahunov A., Verbova N. New Approach of electric power measurement // Prom. energy. - 2004. - № 2. - p. 30-33.
3. Energy balance established modes of non-sinusoidal current circuit and voltage // V. Tonkal, V. Zhuikov, S. Denysiuk et al // Doc. USSR Academy of Sciences., August . A. - 1987 . - № 7. - p. 71-74 .
4. Borodin D. Measuring equipment for measuring the quality of electrical energy // Electroenergetyka. - 2008.- №1. - p. 30-35.
5. Bohmat Y., Vorotnytsky V., Tatarinov E. Reduction commercial losses in power systems // Electucheskies stantsii. - 1998. - № 9.
6. Vagin G., Ivanov V., Smirnov S. Effect of high society harmonic threshing floor and voltage for electric meters errors // Prom. energy. - 1976. - № 4
7. Varivodov V. Smart power systems / V. Varivodov, Y. Kovalenko // Electricity. - 2011. - № 9. - P. 4-9.
8. Zhuikov VY, Denysiuk SP Energy processes in electric circuit with kay elements. -K. [Text], 2010. - 264.
9. Denysiuk S., Derevyanko D., Kolesnik P. Optimization of power in local systems with distributed generation // Pr.Inst. Electrodynamics of NAS of Ukraine: Zb.nauk.pr. Special. release. Part 2. - K.: IER NAS, 2011. -30-36.
10. Tonkal VE, VY Zhuikov, Denysiuk S. Compensation for energy chains non-sinusoidal current and voltage // Speaker. USSR Academy of Sciences. August. A. - 1988. - № 4. - P. 76-78.
11. Tonkal V., A. Novoseltsev A., Denysiuk S. etc. . Energy balance in electric circuits. - Kyiv. Naukova dumka. - 1992. p. 310.

УДК 621.31

С.П. Денисюк, д-р.техн. наук, профессор; **Т.М. Базюк**

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
ОПТИМАЛЬНЫЙ ОТБОР МОЩНОСТИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

В статье рассматривается возможность повышения энергоэффективности систем электроснабжения и оптимизации энергетических процессов путем оптимизации режимов потребления и отбора мощности. Выделены и проанализированы критерии оптимального отбора мощности. Систематизированы выделенные критерии оптимального отбора мощности. Проанализированы характеристики критериев оптимальности. Сформирована система показателей и характеристики для оценочных алгоритмов оптимизации и расчета систем энергоснабжения. Отмечены особенности реализации компенсаторов реактивной мощности. Приведен алгоритм внедрения компенсаторов реактивной мощности в системе электроснабжения. Рассмотрены направления повышения эффективности потребления путем изменения режима работы нагрузки потребителей.

Ключевые слова: неравномерность потребления, критерии отбора мощности, оптимальный отбор мощности, распределенная генерация.

Надійшла 21.09.2013

Received 21.09.2013

ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТА ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПО РАЗВИТИЮ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье проведен анализ действующей методики технико-экономического обоснования проектных решений по перспективному развитию электроэнергетических систем. Показаны потенциальные угрозы, направленные на снижение качества принимаемых проектных решений, среди которых – недостаточная объективность экономических критериев эффективности технических решений, искусственное ограничение пространства поиска на предварительном этапе отбора возможных решений. В статье представлены математические модели и метод формирования и технико-экономического обоснования принятия проектных решений по перспективному развитию электроэнергетических систем на основе математического аппарата генетических алгоритмов. Показано, что предлагаемый подход обеспечивает устойчивую сходимость процесса поиска за приемлемое количество шагов без искусственного ограничения пространства поиска и использования дополнительной экспертной информации о целесообразности возможных проектных решений.

Ключевые слова. Электроэнергетическая система, принятия проектных решений, технико-экономическое обоснование, оптимизация, интеллектуальный поиск, генетический алгоритм

Введение

Эффективность функционирования систем производства, передачи и распределения электрической энергии во многом определяется конструкторскими решениями, которые были использованы в процессе формирования электрических сетей и систем. В общем случае, задача проектирования развития электроэнергетических систем и электрических сетей состоит в разработке и экономическом обосновании технических решений, обеспечивающих надёжное и качественное энергоснабжение потребителей электрической энергии с учётом всех технических, технологических, экологических, социальных и других ограничений.

При этом суть технико-экономического обоснования конструкторского решения состоит в решении оптимизационной задачи минимизации функции экономической эффективности, например, приведенных дисконтированных затрат, среди возможных альтернативных вариантов проектных решений [1-5]. Следует заметить, что экономические показатели эффективности проектных решений в энергетической области являются объективированными и не обеспечивают в полном объеме всестороннюю оценку альтернативных вариантов конструкторских решений. В первую очередь, это объясняется многофакторностью критериального пространства поиска. Здесь выбор наиболее эффективного варианта развития электроэнергетической системы часто связан с необходимостью учёта взаимоисключающих, а, иногда, и несопоставимых факторов [6, 9]. В современных моделях технико-экономического обоснования проектных решений обычно используют косвенные показатели качества, надёжности и экологичности функционирования объектов электрических сетей. Это позволяет реализовать масштабирование различных функциональных показателей и построить функцию приведенных дисконтированных затрат, подлежащую минимизации с целью поиска наиболее эффективного решения [7-9].

Вместе с тем, в современных условиях реформирования рынка электрической энергии Украины, особенно с учётом монополизации энергетического производства, влияния финансово-экономических кризисов банковских систем и ряда других факторов такие показатели не обеспечивают объективность оценки предлагаемых технических решений. Указанные факторы свидетельствуют о существенном недостатке коммерческой свободы субъектов экономической деятельности, несостоятельности применения положений кредитного покрытия, неадекватной конкуренции, неэффективном формировании цен на электрическую энергию, незавершенности структуры контрактов, существенных препятствиях для частных инвесторов, перекрестных субсидиях в оптовых ценах на электроэнергию, практически полном отсутствии рынка вспомогательных услуг.

Помимо того, традиционные методы многомерной оптимизации, используемые в задачах технико-экономического обоснования, являются методами локального поиска, их эффективность существенно зависит от выбора начальной точки поиска, а сами методы накладывают дополнительные ограничения на