

В. П. Метельский канд. техн. наук, В. А. Волков  
Запорожский национальный технический университет

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В ТРЕХФАЗНЫХ СЕТЯХ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ СИММЕТРИРОВАНИИ СЕТЕВЫХ ФАЗНЫХ ТОКОВ СИЛОВЫМ АКТИВНЫМ ФИЛЬТРОМ

*На основе анализа путей снижения сетевых потерь мощности при симметрировании сетевых фазных токов получены аналитические зависимости, позволяющие оценить возможность снижения энергопотребления в трехпроводной и четырехпроводной сетях переменного напряжения посредством использования для симметрирования силового активно-го фильтра.*

**Ключевые слова:** силовой активный фильтр, трехфазная сеть переменного напряжения, сетевые потери мощности, симметрирование сетевых фазных токов.

В связи с удорожанием электроэнергии в последние годы в мире и Украине уделяется большое внимание ее сбережению при передаче к потребителям. Наиболее эффективными из существующих технических средств энергосбережения в распределительных трехфазных сетях являются силовые активные фильтры (САФ) [1–3]. Они способны одновременно с высокой точностью и быстродействием осуществлять компенсацию потребляемой из сети реактивной и искажающей мощности, а также симметрировать сетевые фазные токи (СФТ) [3].

Основная часть известных публикаций по данной тематике в зарубежной и отечественной научно-технической литературе посвящена исследованиям эффективности компенсации реактивной и искажающей мощности [1–4], а также симметрированию СФТ [3, 5] и совершенствованию управления САФ [2–4]. Однако лишь очень незначительная часть из известных публикаций [6, 7] рассматривает количественную оценку сбережения сетевых потерь мощности (СПМ) в трехфазных сетях переменного напряжения (ТСПН) при применении САФ, что сдерживает промышленное внедрение указанных фильтров.

Целью статьи является оценка возможности снижения энергопотребления в трехфазных сетях переменного напряжения, достигаемого при симметрировании сетевых фазных токов с использованием САФ.

**Исходные теоретические положения.** Полагаем, что за счет применения САФ в трехпроводной и четырехпроводной ТСПН достигнута полная компенсация реактивной и искажающей мощности [4], что позволяет считать эквивалентную несимметричную трехфазную нагрузку (подключенную к данной ТСПН) линейной и активной. При последующем анализе будем учитывать только составляющую сетевых потерь мощности, вызванную токовой нагрузкой сети (фазных и нейтрально-

го проводов, силового трансформатора), а также оценивать снижение СПМ, достигнутое только симметрированием СФТ посредством САФ. Исходя из принятых допущений, в статье [7] показано, что посредством идеального (не учитывающего потери мощности в САФ) симметрирования СФТ достигается следующее снижение СПМ в ТСПН:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{cp} - \Delta P_0 = (1 - K_c) \Delta P_{cp}, \quad (1)$$

где  $\Delta P_{cp}$  и  $\Delta P_0$  – значения СПМ соответственно до и после указанного симметрирования СФТ;

$K_c$  – коэффициент снижения СПМ от идеального симметрирования. Причем, значения упомянутых параметров рассчитываются из следующих зависимостей [7]:

- для трехпроводной и четырехпроводной ТСПН

$$\Delta P_0 = K_c \Delta P_{cp}, \quad (2)$$

- для трехпроводной ТСПН

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{cp} &= \frac{3}{2} R_{\phi} (I_{np}^2 + I_{обр}^2), \\ K_c &= I_{np}^2 / (I_{np}^2 + I_{обр}^2) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

- для четырехпроводной ТСПН

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{cp} &= R_{\phi} (I_{A0}^2 + I_{B0}^2 + I_{C0}^2 + \xi I_{N0}^2), \\ K_c &= \frac{I_{A0}^2 + I_{B0}^2 + I_{C0}^2}{3(I_{A0}^2 + I_{B0}^2 + I_{C0}^2 + \xi I_{N0}^2)} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Используются следующие обозначения:  $I_{np}$  и  $I_{обр}$  – модули составляющих обобщенного вектора сетевого тока прямой и обратной последовательности;  $I_{A0}, I_{B0}, I_{C0}$  и  $I_{N0}$  – действующие значения СФТ и тока нейтрали соответственно;  $\xi$  – отношение активных сопротивлений нейтрального  $R_N$  и фазного  $R_\phi$  проводов сети

$$\xi = R_N / R_\phi. \quad (5)$$

С учетом (3) и (4) определим из (1) снижение СПМ при симметрировании СФТ для трехпроводной

$$\Delta P_\varnothing = \frac{3}{2} R_\phi I_{обр}^2 \quad (6)$$

и четырехпроводной ТСПН

$$\Delta P_\varnothing = R_\phi (I_{A0}^2 + I_{B0}^2 + I_{C0}^2 + \xi I_{N0}^2 - 3I_{\phi00}^2) = a R_\phi. \quad (7)$$

где  $I_{\phi00}$  – действующее значение СФТ в четырехпроводной ТСПН после идеального симметрирования;  $a$  – коэффициент, рассчитываемый для четырехпроводной ТСПН по зависимости

$$a = I_{A0}^2 + I_{B0}^2 + I_{C0}^2 + \xi I_{N0}^2 - 3I_{\phi00}^2. \quad (8)$$

Принимая во внимание фактическое наличие собственных потерь мощности в САФ, условием общего энергосбережения (т.е. снижения суммарных потерь в ТСПН и САФ) является соотношение

$$\Delta P'_\varnothing > \Delta P_{A\Phi}, \quad (9)$$

где  $\Delta P'_\varnothing$  – реальное снижение СПМ в ТСПН, учитывающее наличие потерь мощности в САФ и рассчитываемое по зависимости [7]

$$\Delta P'_\varnothing = (1 - K'_c) \Delta P_{cp}. \quad (10)$$

В последней зависимости фактическое значение  $K'_c$  коэффициента снижения СПМ находится из соотношения [7]

$$K'_c \approx (1 + \lambda_1)^2 K_c, \quad (11)$$

где поправочный коэффициент  $\lambda_1$  находится через потребляемое из ТСПН среднее значение  $P_{cp}$  активной мощности до симметрирования СФТ в виде

$$\lambda_1 = \left( \Delta P_{A\Phi} - \frac{3}{2} R_\phi I_{обр}^2 \right) / P_{cp} \quad (12)$$

для трехпроводной или

$$\lambda_1 = (\Delta P_{A\Phi} - a R_\phi) / P_{cp} - \quad (13)$$

для четырехпроводной ТСПН.

**Оценка энергосбережения для трехпроводной ТСПН.** Для данной сети с учетом (10)–(12) условие энергосбережения принимает вид

$$\Delta P_{A\Phi} + \frac{3}{2} R_\phi I_{np}^2 (1 + \lambda_1)^2 < \frac{3}{2} R_\phi (I_{np}^2 + I_{обр}^2). \quad (14)$$

Подставив значение  $\lambda_1$  из (12) в (14), преобразуем (14) к виду

$$\Delta P_{A\Phi} < \frac{3}{2} R_\phi \left\{ I_{обр}^2 - I_{np}^2 \left[ \left( \frac{\Delta P_{A\Phi} - \frac{3}{2} R_\phi I_{обр}^2}{P_{cp}} \right)^2 + 2 \left( \frac{\Delta P_{A\Phi} - \frac{3}{2} R_\phi I_{обр}^2}{P_{cp}} \right) \right] \right\}. \quad (15)$$

Введем дополнительную переменную

$$x = \Delta P_{A\Phi} - \frac{3}{2} R_\phi I_{обр}^2, \quad (16)$$

через которую определим сопротивление фазы  $R_\phi$  в виде

$$R_\phi = \frac{2}{3} \left( \frac{\Delta P_{A\Phi} - x}{I_{обр}^2} \right). \quad (17)$$

Подставив в (15) указанную переменную  $x$  и значение  $R_\phi$  из (17), получим

$$\Delta P_{A\Phi} < \frac{(\Delta P_{A\Phi} - x)}{I_{обр}^2} \left\{ I_{обр}^2 - I_{np}^2 \left[ \left( \frac{x}{P_{cp}} \right)^2 + 2 \frac{x}{P_{cp}} \right] \right\}. \quad (18)$$

Далее, преобразуем (18) к виду

$$\Delta P_{A\Phi} \cdot I_{обр}^2 < (\Delta P_{A\Phi} - x) \left[ I_{обр}^2 - I_{np}^2 \frac{x^2}{P_{cp}^2} - 2 I_{np}^2 \frac{x}{P_{cp}} \right] \quad (19)$$

и окончательно к следующему выражению:

$$\Delta P_{A\Phi} \cdot I_{обр}^2 < \Delta P_{A\Phi} \cdot I_{обр}^2 - \Delta P_{A\Phi} I_{np}^2 \frac{x^2}{P_{cp}^2} - 2 I_{np}^2 \Delta P_{A\Phi} \frac{x}{P_{cp}} - x \cdot I_{обр}^2 + \frac{I_{np}^2}{P_{cp}^2} x^3 + \frac{2 I_{np}^2}{P_{cp}} x^2. \quad (20)$$

Перенеся все члены неравенства (20) в правую часть, получим

$$\left[ \frac{I_{np}^2}{P_{cp}^2} \right] x^3 - \left[ \frac{\Delta P_{A\Phi} I_{np}^2}{P_{cp}^2} - \frac{2 I_{np}^2}{P_{cp}} \right] x^2 - \left[ \frac{2 \Delta P_{A\Phi} I_{np}^2}{P_{cp}} + I_{обр}^2 \right] x + \Delta P_{A\Phi} \cdot I_{обр}^2 - \Delta P_{A\Phi} \cdot I_{обр}^2 > 0. \quad (21)$$

Из неравенства (21), в свою очередь, получим удобное для анализа эквивалентное соотношение в виде

$$x \left[ x^2 - (\Delta P_{A\Phi} - 2P_{cp})x - \left( 2\Delta P_{A\Phi}P_{cp} + P_{cp}^2 \frac{I_{\text{обор}}^2}{I_{np}^2} \right) \right] > 0. \quad (22)$$

Граничными условиями для последнего неравенства являются значения переменной  $x$

$$x_1 = 0 \text{ и } x_{2,3} = \frac{1}{2} \Delta P_{A\Phi} - P_{cp} \pm \sqrt{\left( \frac{1}{2} \Delta P_{A\Phi} - P_{cp} \right)^2 + 2\Delta P_{A\Phi}P_{cp} + P_{cp}^2 \frac{I_{\text{обор}}^2}{I_{np}^2}}. \quad (23)$$

Перейдя с учетом (17) от переменной  $x$  к искомому параметру  $R_{\phi}$ , получим окончательное решение (принимая, что  $R_{\phi} \geq 0$ ) в виде

$$R'_{\phi} < R_{\phi} < R''_{\phi}, \quad (24)$$

где

$$\left. \begin{aligned} R'_{\phi} &= \frac{2(\Delta P_{A\Phi} - x_1)}{3 I_{\text{обор}}^2} = \frac{2 \Delta P_{A\Phi}}{3 I_{\text{обор}}^2}, \\ R''_{\phi} &= \frac{2}{3 I_{\text{обор}}^2} [\Delta P_{A\Phi} - x_2] = \\ &= \frac{2}{3 I_{\text{обор}}^2} \left\{ \frac{\Delta P_{A\Phi} + 2P_{cp}}{2} + \left[ \frac{(\Delta P_{A\Phi} + 2P_{cp})^2}{4} + P_{cp}^2 \frac{I_{\text{обор}}^2}{I_{np}^2} \right]^{1/2} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

*Примечание.* Для переменной  $x = x_3$  значение  $R_{\phi}$  отрицательно, поэтому исключаем это решение из рассмотрения.

**Оценка энергосбережения в четырехпроводной ТСПН.** Для данной сети с учетом (10), (11) и (13) условие энергосбережения принимает вид

$$\Delta P_{A\Phi} + 3R_{\phi} I_{\phi\partial 0}^2 (1 + \lambda_1)^2 < R_{\phi} (I_{A\partial}^2 + I_{B\partial}^2 + I_{C\partial}^2 + \xi I_{N\partial}^2). \quad (26)$$

Преобразуем (26) к виду

$$\Delta P_{A\Phi} < 3R_{\phi} I_{\phi\partial 0}^2 \times \left[ \frac{I_{A\partial}^2 + I_{B\partial}^2 + I_{C\partial}^2 + \xi I_{N\partial}^2}{3I_{\phi\partial 0}^2} - 1 - 2\lambda_1 - \lambda_1^2 \right]. \quad (27)$$

Введем с учетом (8) и (13) дополнительную переменную

$$y = \lambda_1 P_{cp} = \Delta P_{A\Phi} - aR_{\phi}, \quad (28)$$

через которую определим сопротивление фазы  $R_{\phi}$  в виде

$$R_{\phi} = \frac{\Delta P_{A\Phi} - y}{a}. \quad (29)$$

Подставив в (27) указанную переменную  $y$  и значение  $R_{\phi}$  из (29), получим

$$\Delta P_{A\Phi} < \frac{3(\Delta P_{A\Phi} - y)}{a} I_{\phi\partial 0}^2 \left[ \frac{a}{3I_{\phi\partial 0}^2} - \frac{2y}{P_{cp}} - \frac{y^2}{P_{cp}^2} \right]. \quad (30)$$

Далее, преобразуем (30) к виду

$$\frac{\Delta P_{A\Phi} \cdot a}{3I_{\phi\partial 0}^2} < (\Delta P_{A\Phi} - y) \cdot \left[ \frac{a}{3I_{\phi\partial 0}^2} - \frac{2y}{P_{cp}} - \frac{y^2}{P_{cp}^2} \right] \quad (31)$$

и окончательно к следующему выражению:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta P_{A\Phi} \cdot a}{3I_{\phi\partial 0}^2} &< \frac{a \cdot \Delta P_{A\Phi}}{3I_{\phi\partial 0}^2} - \frac{2\Delta P_{A\Phi}}{P_{cp}} y - \\ &- \frac{\Delta P_{A\Phi}}{P_{cp}^2} y^2 - \frac{a}{3I_{\phi\partial 0}^2} y + \frac{2y^2}{P_{cp}} + \frac{y^3}{P_{cp}^2}. \end{aligned} \quad (32)$$

Перенеся все члены неравенства (32) в правую часть, получим

$$\begin{aligned} \frac{y^3}{P_{cp}^2} + y^2 \left[ \frac{2}{P_{cp}} - \frac{\Delta P_{A\Phi}}{P_{cp}^2} \right] - y \left[ \frac{2\Delta P_{A\Phi}}{P_{cp}} + \frac{a}{3I_{\phi\partial 0}^2} \right] + \\ + \frac{\Delta P_{A\Phi} \cdot a}{3I_{\phi\partial 0}^2} - \frac{\Delta P_{A\Phi} \cdot a}{3I_{\phi\partial 0}^2} > 0. \end{aligned} \quad (33)$$

Из неравенства (33), в свою очередь, получим удобное для анализа эквивалентное соотношение в виде

$$y \left[ y^2 - (\Delta P_{A\Phi} - 2P_{cp})y - \left( 2\Delta P_{A\Phi}P_{cp} + \frac{a \cdot P_{cp}^2}{3I_{\phi\partial 0}^2} \right) \right] > 0. \quad (34)$$

Граничными условиями для последнего неравенства являются значения переменной  $y$

$$y_1 = 0 \text{ и } y_{2,3} = \frac{1}{2} \Delta P_{A\Phi} - P_{cp} \pm \sqrt{\left( \frac{1}{2} \Delta P_{A\Phi} - P_{cp} \right)^2 + 2\Delta P_{A\Phi}P_{cp} + \frac{a \cdot P_{cp}^2}{3I_{\phi\partial 0}^2}}. \quad (35)$$

Перейдя с учетом (29) от переменной  $y$  к искомому параметру  $R_\phi$ , получим окончательное решение (принимая, что  $R_\phi \geq 0$ ) в виде (24), где

$$\left. \begin{aligned} R'_\phi &= \frac{\Delta P_{A\Phi} - y_1}{a} = \frac{\Delta P_{A\Phi}}{a}, \\ R''_\phi &= \frac{\Delta P_{A\Phi} - y_2}{a} = \\ &= \frac{1}{a} \left\{ \frac{\Delta P_{A\Phi} + 2P_{cp}}{2} + \left[ \frac{(\Delta P_{A\Phi} + 2P_{cp})^2}{4} + \frac{a \cdot P_{cp}^2}{3I_{\phi\Delta 0}^2} \right]^{1/2} \right\} \end{aligned} \right\} (36)$$

*Примечания.* 1. Для переменной  $y = y_3$  значение  $R_\phi$  отрицательно, поэтому исключаем это решение из рассмотрения.

2. Верхние границы  $R''_\phi$  из диапазона (24) изменения активного сопротивления  $R_\phi$  фазы для трехпроводной и четырехпроводной ТСПН на практике не всегда достижимы, поскольку реально обычно выполняется соотношение

$$10R_\phi < R_1, R_2, R_3,$$

(где  $R_1, R_2, R_3$  – значения активных сопротивлений несимметричных трехфазных нагрузок).

**Имитационное моделирование.** Для исследования электромагнитных процессов и сетевых потерь мощности в трехпроводной и четырехпроводной ТСПН при симметрировании СФТ посредством САФ были созданы цифровые имитационные модели соответствующих электротехнических комплексов, схемы которых пока-

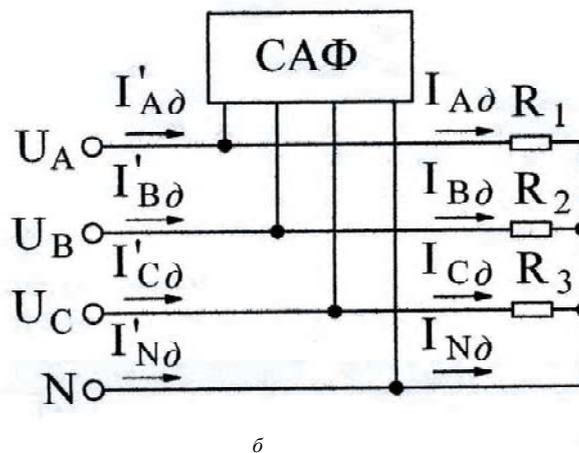
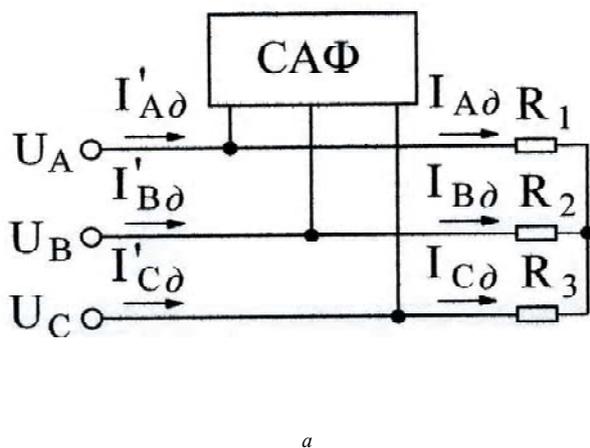
заны на рис. 1. На данных схемах используются следующие обозначения:  $I_{A\Delta}, I_{B\Delta}, I_{C\Delta}$  и  $I_{N\Delta}$  – действующие значения сетевых токов и тока нейтрали сети до симметрирования (равные сетевым токам несимметричных трехфазных нагрузок  $R_1, R_2, R_3$ );  $I'_{A\Delta}, I'_{B\Delta}, I'_{C\Delta}$  и  $I'_{N\Delta}$  – действующие значения сетевых токов и тока нейтрали сети после симметрирования СФТ посредством САФ;  $U_A, U_B, U_C$  – сетевые фазные напряжения (синусоидальной формы, частотой 50 Гц и действующим значением, равным 220 В). Параметры ТСПН (активное сопротивление  $R_\phi$  и индуктивность  $L_\phi$  фазы, активное сопротивление  $R_N$  и индуктивность  $L_N$  нейтрали) приведены в табл. 1, а параметры несимметричных трехфазных активных нагрузок – в табл. 2.

**Таблица 1** – Параметры ТСПН

Наименование параметра	$R_\phi$	$R_N$	$L_\phi$	$L_N$
Размерность	Ом	Ом	мГн	мГн
Значение	0,093	0,146	0,075	0,02

**Таблица 2** – Параметры несимметричных трехфазных нагрузок

Наименование	$R_1$	$R_2$	$R_3$	Примечание
Размерность	Ом	Ом	Ом	
Варианты асимметрии трехфазной нагрузки	1	$R/1,4$	$R$	$1,4R$
	2	$R/2$	$R$	$2R$
	3	$R/3$	$R$	$3R$
	4	$R$	$R$	$\infty$
	5	$R/2$	$R$	$\infty$
	6	$R$	$\infty$	$\infty$



**Рис. 1.** Исследуемые схемы электротехнических комплексов:

*a* – для трехпроводной, *б* – для четырехпроводной ТСПН

Результаты расчетов для трехпроводной (при пяти вариантах) и четырехпроводной ТСПН (при шести вариантах значений нагрузок) представлены соответственно в табл. 3 и табл. 4. В этих же таблицах приведены расчетные значения  $R'_{\phi}$  и  $R''_{\phi}$  границ диапазона изменения активных сопротивлений  $R_{\phi}$  фаз сети, при которых достигается общее энергосбережение. Как показали результаты моделирования, благодаря симметрированию САФ достигнутая асимметрия действующих значений сетевых фазных токов не превышает 3 %, а относительное отклонение упомянутых границ диапазона  $R'_{\phi}$

и  $R''_{\phi}$ , вычисленных из соотношений (25) и (36), от рассчитанных на имитационной модели, не превышает 2 %.

**Выводы**

Полученные аналитические зависимости позволяют количественно определить диапазон изменения значений активных сопротивлений  $R_{\phi}$  фазных проводов сети, в котором обеспечивается общее энергосбережение в трехпроводной и четырехпроводной ТСПН при симметрировании сетевых фазных токов силовым активным фильтром.

**Таблица 3** – Рассчитанные данные для трехпроводной ТСПН

Наименование	Размерность	Варианты несимметрии трехфазной нагрузки				
		1	2	3	4	5
$I'_{A\delta}$	А	10,83	10,90	10,98	5,672	7,48
$I'_{B\delta}$	А	10,71	10,64	10,59	5,30	7,05
$I'_{C\delta}$	А	10,84	10,88	10,92	5,54	7,34
$I_{A\delta}$	А	12,4	13,98	15,38	9,28	12,36
$I_{B\delta}$	А	11,06	12,11	13,57	9,28	12,36
$I_{C\delta}$	А	8,86	6,99	5,13	0	0
$\Delta P_{A\Phi}$	Вт	102,3	105,9	111,5	95,9	124,02
$\lambda_1$	о.е.	0,0133	0,0133	0,0134	0,0231	0,0217
$K'_c$	о.е.	0,9908	0,8996	0,7868	0,5238	0,5222
$R'_{\phi}$	Ом	8,165	2,167	1,06	0,986	0,641
$R''_{\phi}$	Ом	10,96	10,71	10,35	35,36	20,65

**Таблица 4** – Рассчитанные данные для четырехпроводной ТСПН

Наименование	Размерность	Варианты асимметрии трехфазной нагрузки					
		1	2	3	4	5	6
$I'_{A\delta}$	А	11,33	12,78	15,94	7,483	11,09	3,7798
$I'_{B\delta}$	А	11,23	12,51	15,35	7,293	10,74	3,6611
$I'_{C\delta}$	А	11,09	12,65	15,82	7,113	10,98	3,8044
$I'_{N\delta}$	А	0,528	0,531	0,526	0,524	0,545	0,5224
$I_{A\delta}$	А	14,94	21,31	31,88	10,70	21,34	10,7335
$I_{B\delta}$	А	10,67	10,66	10,64	10,70	10,68	0
$I_{C\delta}$	А	7,620	5,331	3,545	0	0	0
$I_{N\delta}$	А	6,356	14,09	25,54	10,70	18,47	10,7335
$\Delta P_{A\Phi}$	Вт	126,01	183,54	304,58	120,65	209,60	113,04
$\lambda_1$	о.е.	0,011	0,0152	0,0116	0,0202	0,0254	0,0315
$K'_c$	о.е.	0,8228	0,5293	0,3369	0,3894	0,3264	0,1398
$R'_{\phi}$	Ом	1,3832	0,4132	0,2094	0,4697	0,2742	0,4394
$R''_{\phi}$	Ом	186,29	48,657	21,055	53,166	28,3701	38,271

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Quinn C.A. Active filtering of harmonic currents in three-phase four-wire systems with three-phase and single-phase non-linear loads / C. A. Quinn, N. Mohan // Proc. APEC 92. – 1992. – P. 829 – 836.
2. Шрейнер Р. Т. Активный фильтр как новый элемент энергосберегающих систем электропривода / Р. Т. Шрейнер, А. А. Ефимов // Электричество. – 2000. – № 2. – С. 46 – 54.
3. Волков А.В. Энергосберегающая система электропитания на основе активного фильтра для автоматизированных электроприводов / А. В. Волков, В. П. Метельский, В. А. Волков // Тем. вип. Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика. – Львів : Електроінформ. – 2009. – С. 153–154.
4. Волков А. В. Компенсация мощности искажений и реактивной мощности посредством активного фильтра с прогнозируемым релейным управлением / А. В. Волков, В. А. Волков // Электротехника. – 2008. – № 3. – С. 2–10.
5. Bor-Ben L. Three-phase quality compensator under the unbalanced source and non-linear loads / L. Bor-Ben, L. Yung-Chuan // IEEE Transactions on industrial electronics. – 2004. – Vol. 51. – N 5. – P. 1009–1017.
6. Энергоэффективность коррекции фазы тока и компенсации пульсаций активной и реактивной мощности в трехфазной системе электроснабжения / [Г. Г. Жемеров, И. Ф. Домнин, О. А. Ильина, Д. В. Тугай] // Технічна електродинаміка. – 2007. – № 1. – С. 52–57.
7. Волков В. А. Снижение сетевых потерь мощности посредством симметрирования сетевых фазных токов активным фильтром / В. А. Волков // Вісник КДУ. – 2010. – Вип. 3 (62). – Ч. 2. – С. 61–64.

Стаття надійшла до редакції 17.06.2010 р.

Метельський В.П., Волков В.О. Оцінка загального енергозбереження у трьохфазних мережах змінної напруги при симетруванні фазних струмів мережі силовим активним фільтром  
*В результаті аналізу шляхів зниження втрат потужності мережі при симетруванні фазних струмів мережі отримано аналітичні залежності, які дозволяють оцінити можливість зниження енергоспоживання в трипровідній і чотирипровідній мережі змінної напруги за допомогою використання для симетрування силового активного фільтра.*

**Ключові слова:** силовий активний фільтр, трифазна мережа змінної напруги, мережні втрати потужності, симетрування фазних струмів мережі.

Metel'sky V., Volkov V. Estimation of general energy-savings in three-phase ac power circuits by balancing phase currents using power active filter  
*Analyzing the ways of circuit power loss decreasing by balancing phase currents, the authors obtained analytical relations permitting to estimate power consumption decrease in a three-wire and four-wire ac circuit using a power active filter.*

**Key words:** power active filter, three-phase ac power circuit, circuit power loss, balancing of circuit phase currents.

УДК 658.265:658.27

Ю. Г. Качан, д-р техн. наук, В. Л. Коваленко

Запорізька державна інженерна академія

## ЩОДО ВПЛИВУ ДИНАМІКИ ВТОРИННИХ ВОДОСТОКІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЗГЕНЕРОВАНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

*Для визначення показників якості електричної енергії, що отримуємо на виході асинхронного генератора, який входить до складу системи гідроенергетичної утилізації, було створено її комп'ютерну математичну модель. Виявлено, що нестабільність водотоку призводить до вироблення електроенергії, яка є неприпустимою для живлення більшості споживачів підприємства.*

**Ключові слова:** показники якості електроенергії, математична модель, гідроенергетична утилізація, промислове підприємство.