

Marian PASKO

PROPOZYCJE MODYFIKACJI UKŁADÓW ZASILANYCH Z RZECZYWISTEGO ŹRÓDŁA JEDNOFAZOWEGO NAPIĘĆ ODKSZTAŁCONYCH W ZALEŻNOŚCI OD WARUNKÓW DLA STRUMIENIA MOCY CZYNNEJ

Streszczenie: W artykule przeprowadzono minimalizację funkcjonalów kwadratowych dla różnych wariantów dla strumienia mocy czynnej P . Minimalizację przeprowadzono, wykorzystując metodę mnożnika Lagrange'a. Na podstawie przeprowadzonej minimalizacji otrzymano prąd i napięcia w danym przekroju. Wielkości te stanowią dane wyjściowe do syntezy kompensatorów, które w ogólnym przypadku są aktywne.

PROPOSAL OF THE MODIFICATION OF NETWORKS SUPPLIED BY NONSINUSOIDAL PERIODIC VOLTAGE SOURCE ACCORDING TO THE AVERAGE POWER FLUX CONDITIONS

Summary: The minimization of quadratic functionals for various selections of average power flux has been carried out. Minimization has been realised by means of Lagrange multiplier method. The current and the voltage selected intersection has been obtained basing on the minimization. These parameters constitute a starting point for the synthesis of compensators, which generally are active.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ МОДИФИКАЦИИ СХЕМ ПИТАЕМЫХ ОТ РЕАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ДЛЯ ПОТОКА АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Резюме: В статье проведена минимизация квадратных функционалов для различных вариантов потока активной мощности P . Минимизация была проведена с применением умножителя Лагранжа. На основе минимизации были получены ток и напряжения в данном сечении. Эти величины являются исходными данными для синтеза компенсаторов, которые в общем случае являются активными.

1. WSTĘP

Rozważania dotyczące minimalizacji wartości skutecznej prądu lub zadanego kompromisu pomiędzy minimum wartości skutecznej prądu a jego zniekształceniami były prowadzone w pracach [11], [12], [14], [15]. W artykułach tych podano również warunki konieczne i wystarczające na minimum zaproponowanych funkcjonałów. W artykule [6] przeprowadzono minimalizację funkcjonału kwadratowego obejmującego wartość skuteczną prądu i wartość skuteczną napięcia w danym przekroju z odpowiednimi wagami. W pracy tej podano również zależności określające admitancję kompensatorów, które należy dołączyć równolegle na zaciski odbiornika, aby uzyskać optymalny prąd źródła.

Głównym celem niniejszego artykułu jest dobór kompensatorów zapewniających optymalny prąd źródła dla przyjętych kryteriów optymalizacyjnych.

2. SFORMUŁOWANIE CELU ARTYKUŁU

Dla układu przedstawionego na rys.1 określonego za pomocą danych:

- napięcie źródłowe

$$e(t) = E_0 + \sqrt{2} \operatorname{Re} \sum_{h=1}^n E_h \exp jh\omega t, \quad (1)$$

- impedancja wewnętrzna źródła

$$Z_n = R_n + jX_n, \quad R_n > 0, \quad h \in \{1, 2, \dots, n\}, \quad (2)$$

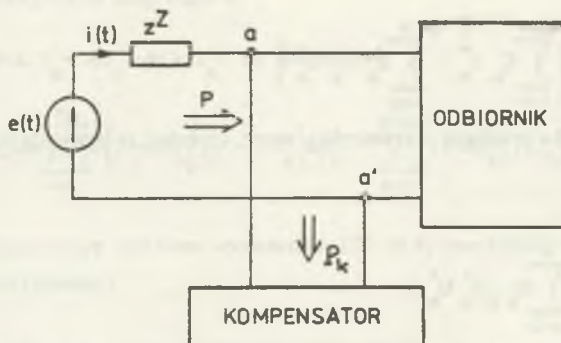
- admitancja odbiornika

$$Y_h = G_h + jB_h, \quad G_h > 0, \quad h \in \{1, 2, \dots, n\}, \quad (3)$$

należy poprzez dobór kompensatorów o admitancjach

$$Y_{k_h} = G_{k_h} + jB_{k_h}, \quad h \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (4)$$

przeprowadzić poniżej przedstawione zadania optymalizacyjne P1 i P2.



Rys.1. Układ: rzeczywiste źródło napięcia odkształconego, kompensator, odbiornik

Fig.1. System: Real nonsinusoidal voltage source, compensator, load

P1. Należy przeprowadzić minimalizację wartości skutecznej prądu źródła

$$\min \sum_{h=0}^n I_h I_h^* \quad (5)$$

P2. Należy przeprowadzić minimalizację zadanego kompromisu pomiędzy wartością skuteczną prądu a jego zniekształceniami

$$\min \sum_{h=0}^n \sqrt{I_h} I_h^* \quad (6)$$

gdzie I_h , (I_h^*) -wartości skuteczne zespolone (sprzężone) prądu dla h-tej harmonicznej,

$I_h = I_{1h} + j I_{2h} = (I_{1h}, I_{2h})$ -para uporządkowanych liczb rzeczywistych

$$\sqrt{I_h}^2 = \alpha_0 + \alpha_1 (h\omega)^2 + \alpha_2 (h\omega)^4 + \dots + \alpha_l (h\omega)^{2l} \quad (7)$$

$\alpha_0 > 0$, $\alpha_l > 0$, l-rząd pochodnej.

Zadanie optymalizacyjne (5) nazywane jest w literaturze [1], minimalizacją w $L^2(0, T)$, natomiast (6) minimalizacją w $W^{2\alpha}(0, T)$.

Zadania optymalizacyjne P1, P2 należy przeprowadzić dla trzech wariantów dla strumienia mocy czynnej P.

Wariant A

$$P = \operatorname{Re} \left(\sum_{h=0}^n E_h I_h^* - \sum_{h=0}^n Z_h I_h I_h^* \right). \quad (8)$$

Wariant ten zapewnia stałość strumienia mocy czynnej w przekroju a-a' przed i po kompensacji.

Wariant B

$$P = \operatorname{Re} \sum_{h=0}^n U_h \circ Y_h^* U_h^*. \quad (9)$$

Wariant ten zapewnia stałość mocy czynnej odbiornika przed i po kompensacji.

Wariant C

$$\operatorname{Re} \left(\sum_{h=0}^n E_h I_h^* - \sum_{h=0}^n Z_h I_h I_h^* \right) = \operatorname{Re} \sum_{h=0}^n U_h \circ Y_h^* U_h^*, \quad (10)$$

W wariancie tym kompensator nie pobiera mocy czynnej P_{komp} . Ponadto w pracy zostanie przeprowadzona minimalizacja wartości skutecznej prądu dla każdej rozpatrywanej harmonicznej (wariant D)

$$\bigwedge_{h \in \mathbb{N}} \min |I_h|^2 \quad (11)$$

przy założeniu, że moc czynna kompensatora dla każdej harmonicznej jest równa zero tzn.

$$\bigwedge_{h \in \mathbb{N}} \frac{1}{T} \int_0^T u_h(t) i_{k_h}(t) dt = 0, \quad h \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (12)$$

gdzie:

$u_h(t)$, $i_{k_h}(t)$ - napięcie (prąd) kompensatora h-tej harmonicznej,

3. ROZWIĄZANIA POSZCZEGÓLNYCH ZADAŃ

W celu wyznaczenia prądu optymalnego np. problemu P1, w wariancie A należy ułożyć funkcjonal Lagrange'a o postaci

$$\Phi(\lambda, (I_{h_1}, I_{h_2})) = \sum_{h=0}^n I_h I_h^* + \lambda \left(P - \operatorname{Re} \sum_{h=0}^n E_h I_h^* + \sum_{h=0}^n R_h I_h I_h^* \right). \quad (13)$$

Przyrost funkcjonału Lagrange'a

$\Delta\phi(\lambda, I_h) = \phi(\lambda, I_h + \Delta I_h) - \phi(\lambda, I_h)$ ma postać:

$$\Delta\phi(\lambda, \{I_h\}) = \operatorname{Re} \sum_{h=0}^n \left[2(1+\lambda R_h) I_h - \lambda E_h \right] \Delta I_h + \sum_{h=0}^n (1+\lambda R_h) |\Delta I_h|^2. \quad (14)$$

Warunkiem koniecznym minimum wyrażenia (5) przy wariancie A [11], [15] jest spełnienie zależności

$$2(1+\lambda R_h) I_h - \lambda E_h = 0. \quad (15)$$

Warunek wystarczający jest spełniony gdy

$$(1+\lambda R_h) > 0. \quad (16)$$

Warunek ten jest spełniony zawsze dla $\lambda > 0$. Z warunku (15) wyznacza się prąd optymalny dla każdej rozważanej harmonicznej

$$I_h = \frac{\lambda}{2(1+\lambda R_h)} E_h, \quad h \in \{1, 2, \dots, n\}. \quad (17)$$

Podstawiając wyrażenie (17) do bilansu mocy (8) otrzymuje się równanie do wyznaczenia mnożnika Lagrange'a λ .

$$P = \sum_{h=0}^n \left[\frac{\lambda}{2(1+\lambda R_h)} - R_h \frac{\lambda^2}{4(1+\lambda R_h)^2} \right] |E_h|^2. \quad (18)$$

Poszukiwany mnożnik Lagrange'a λ_* powinien być dodatni. Wstawiając do równania (17) wyliczony λ_* , otrzymuje się prąd optymalny oraz napięcia w danym przekroju a-a'

$$I_h^{\text{opt}} = \frac{\lambda_*}{2(1+\lambda_* R_h)} E_h, \quad h \in \{1, 2, \dots, n\}, \quad (19)$$

$$U_h^{\text{opt}} = \frac{2 + \lambda_0 Z_h^*}{2(1 + \lambda_0 R_h)} E_h, \quad h \in \{1, 2, \dots, n\}. \quad (20)$$

Z wzorów (19) i (20) oraz znajomości Y_h wyznacza się admitancję potrzebnego kompensatora dla poszczególnych harmonicznych

$$\frac{I_h^{\text{opt}}}{U_h^{\text{opt}}} = Y_k + Y_0, \quad h \in \{1, 2, \dots, n\}. \quad (21)$$

Dla rozpatrywanego przypadku

$$Y_k = \frac{\lambda_0}{2 + \lambda_0 Z_h^*} - Y_0, \quad h \in \{1, 2, \dots, n\}. \quad (22)$$

Postępując analogicznie dla pozostałych przypadków wyznaczono prądy optymalne a z ich pomocą wartości admitancji kompensatorów, które należy podłączyć równolegle do zacisków odbiornika. Wyniki dla poszczególnych przypadków zestawiono w tabelach

WARIANT	$\min \sum_{h=0}^n I_h I_h^*$	
A	$I_h^{\text{opt}} = \frac{\lambda_0}{2(1 + \lambda_0 R_h)} E_h$	$U_h^{\text{opt}} = \frac{2 + \lambda_0 Z_h^*}{2(1 + \lambda_0 R_h)} E_h, h \in \{1, \dots, n\}$
	ADMITANCJA KOMPENSATORA $Y_k = G_k + j B_k$	
	$Y_k = \frac{\lambda_0}{2 + \lambda_0 Z_h^*} - Y_0, h \in \{1, 2, \dots, n\}$	
	WARUNEK MOCOWY	
$P = \sum_{h=0}^n \left[\frac{\lambda}{2(1 + \lambda R_h)} - R_h \frac{\lambda^2}{4(1 + \lambda R_h)^2} \right] E_h ^2$		

WARIANT	$\min \sum_{h=0}^n I_h I_h^*$	
B	$I_h^{opt} = \frac{{}_0G_h \lambda_* Z_h^*}{1 + {}_0G_h \lambda_* Z_h ^2} E_h$	$U_h^{opt} = \frac{1}{1 + {}_0G_h \lambda_* Z_h ^2} E_h, h \in \{1, \dots, n\}$
	ADMITANCJA KOMPENSATORA ${}_k Y_h = {}_k G_h + j {}_k B_h$	
	${}_k Y_h = {}_0G_h \lambda_* Z_h^* - {}_0Y_h, h \in \{1, 2, \dots, n\}$	
	WARUNEK MOCOWY $P = \sum_{h=0}^n {}_0G_h \left(\frac{ E_h }{1 + {}_0G_h \lambda_* Z_h ^2} \right)^2$	

WARIANT	$\min \sum_{h=0}^n I_h I_h^*$	
C	$I_h^{opt} = \frac{{}_2{}_0G_h \lambda_* Z_h^* + \lambda_*}{2(1 + {}_0G_h \lambda_* Z_h ^2 + \lambda_* R_h)} E_h$	$U_h^{opt} = \frac{2 + \lambda_* Z_h^*}{2(1 + {}_0G_h \lambda_* Z_h ^2 + \lambda_* R_h)} E_h$
	ADMITANCJA KOMPENSATORA ${}_k Y_h = {}_k G_h + j {}_k B_h$	
	${}_k Y_h = \frac{{}_2{}_0G_h \lambda_* Z_h^* + \lambda_*}{2 + \lambda_* Z_h^*} - {}_0Y_h, h \in \{1, 2, \dots, n\}$	
	WARUNEK MOCOWY $P = \sum_{h=0}^n \left\{ {}_0G_h - \frac{\lambda}{2\theta} a + \left(\frac{\lambda}{2\theta} \right)^2 ab \right\} E_h ^2 = 0$ <p>gdzie $\theta = 1 + \lambda(R_h + {}_0G_h Z_h ^2)$; $a = 1 + 4{}_0G_h R_h + 4{}_0G_h^2 Z_h ^2$ $b = R_h + {}_0G_h Z_h ^2$</p>	

WARIANT	$\min I_h I_h^*$	
D	$I_h^{\text{opt}} = \frac{2 G_h \lambda_0 Z_h^* + \lambda_0}{2(1 + G_h \lambda_0 Z_h ^2 + \lambda_0 R_h)} E_h$	$U_h^{\text{opt}} = \frac{2 + \lambda_0 Z_h^*}{2(1 + G_h \lambda_0 Z_h ^2 + \lambda_0 R_h)} E_h$
	ADMITANCJA KOMPENSATORA $Y_{kh} = G_{kh} + j B_{kh}$	
	$Y_{kh} = \frac{2 G_h \lambda_0 Z_h^* + \lambda_0}{2 + \lambda_0 Z_h^*} - Y_{0h}, h \in \{1, 2, \dots, n\}$	
	WARUNEK MOCOWY	
$G_h - \frac{\lambda}{\theta} a + \left(\frac{\lambda}{2\theta}\right)^2 ab = 0$		
gdzie $\theta = 1 + \lambda(R_h + G_h Z_h ^2)$; $a = 1 + 4G_h R_h + 4G_h^2 Z_h ^2$		
$b = R_h + G_h Z_h ^2$		

WARIANT	$\min \sum_{h=0}^n \nabla_h^2 I_h I_h^*$	
A	$I_h^{\text{opt}} = \frac{\lambda_0}{2(\nabla_h^2 + \lambda_0 R_h)} E_h$	$U_h^{\text{opt}} = \frac{2\nabla_h^2 + \lambda_0 Z_h^*}{2(\nabla_h^2 + \lambda_0 R_h)} E_h, h \in \{1, \dots, n\}$
	ADMITANCJA KOMPENSATORA $Y_{kh} = G_{kh} + j B_{kh}$	
	$Y_{kh} = \frac{\lambda_0}{2\nabla_h^2 + \lambda_0 Z_h^*} - Y_{0h}, h \in \{1, 2, \dots, n\}$	
	WARUNEK MOCOWY	
$P = \sum_{h=0}^n \left[\frac{\lambda_0}{2(\nabla_h^2 + \lambda_0 R_h)} - R_h \frac{\lambda^2}{4(\nabla_h^2 + \lambda_0 R_h)^2} \right] E_h ^2$		

WARIANT	$\min \sum_{h=0}^n \nabla_h^2 I_h I_h^*$	
B	$I_h^{opt} = \frac{{}_0G_h \lambda_* Z_h^*}{\nabla_h + {}_0G_h \lambda_* Z_h ^2} E_h$	$U_h^{opt} = \frac{\nabla_h^2}{\nabla_h + {}_0G_h \lambda_* Z_h ^2} E_h, h \in \{1, \dots, n\}$
	ADMITANCJA KOMPENSATORA $Y_{kh} = G_{kh} + j B_{kh}$	
	$Y_{kh} = \frac{{}_0G_h \lambda_* Z_h^*}{\nabla_h} - {}_0Y_h, h \in \{1, 2, \dots, n\}$	
	WARUNEK MOCOWY	
$P = \sum_{h=0}^n {}_0G_h \left(\frac{\nabla_h E_h }{\nabla_h + {}_0G_h \lambda_* Z_h ^2} \right)^2$		

WARIANT	$\min \sum_{h=0}^n \nabla_h^2 I_h I_h^*$	
C	$I_h^{opt} = \frac{{}_0G_h \lambda_* Z_h^* + \lambda_*}{2(\nabla_h + {}_0G_h \lambda_* Z_h ^2 + \lambda_* R_h)} E_h$	$U_h^{opt} = \frac{2\nabla_h^2 + \lambda_* Z_h^*}{2(\nabla_h + {}_0G_h \lambda_* Z_h ^2 + \lambda_* R_h)} E_h$
	ADMITANCJA KOMPENSATORA $Y_{kh} = G_{kh} + j B_{kh}$	
	$Y_{kh} = \frac{{}_0G_h \lambda_* Z_h^* + \lambda_*}{2\nabla_h^2 + \lambda_* Z_h^*} - {}_0Y_h, h \in \{1, 2, \dots, n\}$	
	WARUNEK MOCOWY	
$P = \sum_{h=0}^n \left\{ {}_0G_h - \frac{\lambda}{2\theta_1} a + \left(\frac{\lambda}{2\theta_1} \right)^2 ab \right\} E_h ^2 = 0$		
gdzie $\theta_1 = \nabla_h^2 + \lambda(R_h + {}_0G_h Z_h ^2)$; $a = 1 + 4{}_0G_h R_h + 4{}_0G_h^2 Z_h ^2$		
$b = R_h + {}_0G_h Z_h ^2$		

Uwaga: We wszystkich wariantach wartość λ_0 jest różna ($\lambda_0 > 0$) i wyznaczona dla każdego wariantu z warunku mocowego.

4. MODYFIKACJA UKŁADU ZE WZGLĘDU NA OPTIMALNY PRĄD ŹRÓDŁA

Zapewnienie optymalnego prądu źródła, dla skończonej liczby harmoniczných wymaga włączenia na zaciski a-a' kompensatora o admitancji wynikającej z rozwiązania zadania optymalizacyjnego. Admitancja kompensatora może posiadać konduktancję (G_{kh}), $h \in \{1, 2, \dots, n\}$ zarówno dodatnią jak i ujemną. Fakt ten przesądza, że należy użyć kompensatorów aktywnych. Natomiast część urojona admitancji kompensatora można zrealizować za pomocą dwójników pasywnych LC.

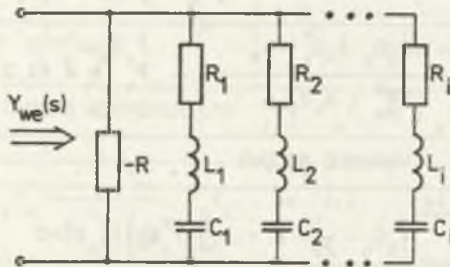
Synteza dwójników o ujemnej konduktancji realizowanych w klasie (RLC, $-R^1$) była poruszana w pracach [9], [16].

Próbie realizacji rezystancji ujemnej za pomocą przekształtnika energoelektronicznego podjęto w pracy [7].

Dwójnik o wymaganej konduktancji wprowadza dodatkową susceptancję, którą należy wyeliminować za pomocą dodatkowego układu LC. Dlatego też całkowita kompensację należy rozpocząć od syntezy konduktancji kompensatorów (G_{kh}).

4.1. Synteza dwójników w klasie (RLC, $-R^1$)

Rozpatrywany dwójnik złożony jest z równoległego połączenia rezystancji ujemnej ($-R$) i dwójnika RLC. Struktura Fostera przedstawiona jest na rys.2.



Rys.2. Dwójnik aktywny należący do klasy (RLC, $-R^{(1)}$)

Fig.2. Active one-port of (RLC, $-R^{(1)}$) class

Admitancja przedstawionego dwójnika wyraża się wzorem:

$$Y_{we}(j\omega) = k_0 + \sum_{i=0}^n \frac{-(s_1 + s_1^*)\omega^2 k_1}{(s_1 s_1^* - \omega^2)^2 + \omega^2 (s_1 + s_1^*)^2} + j \sum_{i=0}^n \frac{k_1 \omega (s_1 s_1^* - \omega^2)}{(s_1 s_1^* - \omega^2)^2 + \omega^2 (s_1 + s_1^*)^2} \quad (23)$$

gdzie: $k_0 = -\frac{1}{R}$, $R_1 = \frac{-(s_1 + s_1^*)}{k_1}$, $L_1 = \frac{1}{k_1}$, $C_1 = \frac{1}{L_1 s_1 s_1^*}$.

$s_1 = -\sigma_1 + j\beta_1$, $s_1^* = -\sigma_1 - j\beta_1$ - założone bieguny funkcji.

Wyznaczenie elementów dwójnika sprowadza się do rozwiązania równania macierzewego postaci:

$$V k = g \quad (24)$$

gdzie

$$V = \begin{bmatrix} \frac{-(s_1 + s_1^*)\omega_1^2}{(s_1 s_1^* - \omega_1^2)^2 + \omega_1^2 (s_1 + s_1^*)^2} & \frac{-(s_2 + s_2^*)\omega_1^2}{(s_2 s_2^* - \omega_1^2)^2 + \omega_1^2 (s_2 + s_2^*)^2} & \frac{-(s_n + s_n^*)\omega_1^2}{(s_n s_n^* - \omega_1^2)^2 + \omega_1^2 (s_n + s_n^*)^2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{-(s_1 + s_1^*)\omega_n^2}{(s_1 s_1^* - \omega_n^2)^2 + \omega_n^2 (s_1 + s_1^*)^2} & \frac{-(s_2 + s_2^*)\omega_n^2}{(s_2 s_2^* - \omega_n^2)^2 + \omega_n^2 (s_2 + s_2^*)^2} & \frac{-(s_n + s_n^*)\omega_n^2}{(s_n s_n^* - \omega_n^2)^2 + \omega_n^2 (s_n + s_n^*)^2} \end{bmatrix}$$

$$k = [k_1, k_2, \dots, k_n]^T - \text{macierz szukanych współczynników } k_i, \quad (25)$$

$$g = [g_1, g_2, \dots, g_n]^T \quad g_i = k_i G_i - k_0. \quad (26)$$

Wobec założenia biegunów s_1 i s_1^* tak, aby macierz V była nieosobliwa układ (24) jest układem Cramera i posiada rozwiązania niezerowe o postaci:

$$k = V^{-1} g. \quad (27)$$

Warunkiem koniecznym i wystarczającym fizycznej realizacji dwójnika przedstawionego na rys.2 jest dodatniość współczynników k_i wektora k [9],[16]. Dobór biegunów s_1, s_1^* oraz współczynnika k , tak aby wektor k posiadał wszystkie współrzędne dodatnie jest trudne i możliwe tylko z wykorzystaniem algorytmu numerycznego.

4.2. Synteza części urojonej admitancji kompensatora

Za pomocą dwójników LC realizuje się część urojoną admitancji kompensatora i część urojoną admitancji dwójnika (RLC, $-R^1$) służącego do realizacji G_{kh} $h \in \{1, 2, \dots, n\}$. Wiadomo, że każdy dwójnik LC jest opisany funkcją reaktancyjną $B_r(\omega)$ określoną za pomocą wzoru.

$$B_r(\omega) = \frac{A \prod_{i=1}^n (\omega^2 - \omega_{2i\pm 1}^2)}{\omega \prod_{i=1}^n (\omega^2 - \omega_{2i}^2)}, \quad (28)$$

gdzie: $A \in \mathbb{R}$, $n \in \mathbb{N}$

$$\omega_i^* = \begin{cases} \text{dla } i=2k\pm 1, k \in \mathbb{N} - \text{zera funkcji reaktancyjnej,} \\ \text{dla } i=2k, k \in \mathbb{N} - \text{bieguny funkcji reaktancyjnej,} \end{cases}$$

ponadto

$$0 < \omega_1^* < \omega_2^* < \omega_3^* < \dots < \omega_{2n}^*.$$

Problem syntezy sprowadza się do wyznaczenia susceptancji $B_r(\omega)$ określonej wzorem (27) przy założeniu, że dane są wartości susceptancji kompensatora w skończonej liczbie punktów $\omega_h \in \mathbb{R}^+$ oraz spełniony jest warunek:

$$\frac{A(\omega_h^2 - \omega_1^{*2})(\omega_h^2 - \omega_3^{*2})(\omega_h^2 - \omega_5^{*2}) \dots}{\omega_h (\omega_h^2 - \omega_2^{*2})(\omega_h^2 - \omega_4^{*2})(\omega_h^2 - \omega_6^{*2}) \dots} = B_{kh} - \text{Im}\{Y_{we}(j\omega_h)\}. \quad (29)$$

gdzie:

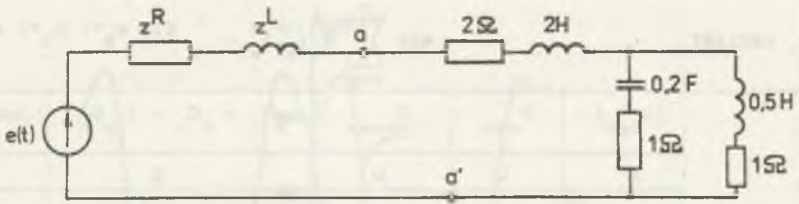
B_{kh} - susceptancja kompensatora dla rozpatrywanego wariantu,

$\text{Im}\{Y_{we}(j\omega_h)\}$ - susceptancja dwójnika realizującego G_{kh} (por. (23)).

Przedstawiony powyżej problemu syntezy sprowadza się do rozwiązania układu równań i został omówiony w pracach [2], [5], [10]. W pracy [8] podano algorytm numeryczny, z którego korzysta się do rozwiązania przedstawionego przykładu.

5. PRZYKŁAD

Dla układu przedstawionego na rys.3 o danych: $e(t) = 60\sqrt{2}\cos\omega t - 20\sqrt{2}\cos 3\omega t$
 $L = 0,1\text{H}$, $R = 0,5\Omega$, $\omega = 1\text{rad/s}$ admitancje odbiornika: $Y_0 = 0,2089 - j 0,1524S$;
 $Y_1 = 0,0737 - j 0,1194S$.



Rys.3. Przykładowy obwód: źródło, odbiornik

Fig.3. Exemplary circuit source-load

Należy przeprowadzić modyfikację układu dla wszystkich rozważanych przypadków, podając wartości admitancji kompensatorów. Podać wartości prądów optymalnych dla każdego przypadku i wariantu. Podać przebiegi prądów źródła przed i po kompensacji. Do rozwiązania przedstawionych problemów sporządzono pakiet programów komputerowych. W trakcie rozwiązania obliczono:

-moc czynną odbiornika $P = 627,36$ W, wartość skuteczną prądu źródła $I = 13,36$ A, współczynnik mocy źródła $\cos\varphi = 0,84$.

W tabelach zestawiono, admitancję kompensatora oraz następujące wielkości po kompensacji dla poszczególnych wariantów:

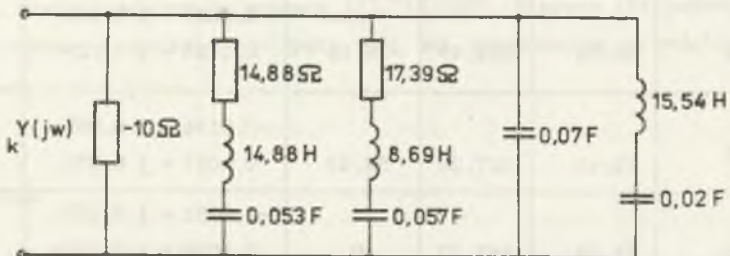
prąd optymalny, moc czynną odbiornika, moc czynną kompensatora, $\cos\varphi$ źródła.

WARIANT	$\min \sum_{h=0}^n I_h I_h^*$				
	$ I_{Opt} $	P_{odb}	P_{komp}	$Y_{kh} = G_{kh} + j B_{kh}$	$\cos\varphi$
	A	W	W	S	
A	10,85	653,49	-26,13	$-0,0213 + j 0,132$ $0,1133 + j 0,129$	1
B	12,61	627,36	58,43	$-0,0194 + j 0,081$ $0,0067 + j 0,072$	0,96
C	11,24	647,30	0	$-0,0151 + j 0,122$ $0,1015 + j 0,120$	0,99

WARIANT	$\min \sum_{h=0}^n \nabla_h^2 I_h I_h^*$ dla $\alpha_0=1, \alpha_1=1, \alpha_2=1$				
	$ I_{Opt} $	P_{odb}	P_{komp}	$Y_{k_h} = G_{k_h} + j B_{k_h}$	$\cos\varphi$
	A	W	W	S	
A	11,51	644,24	-16,88	0,00315 + j 0,113 -0,0659 + j 0,119	0,95
B	12,74	627,36	42,19	0,0246 + j 0,079 -0,0709 + j 0,117	0,93
C	11,78	640,17	0	0,0091 + j 0,123 -0,0672 + j 0,119	0,94

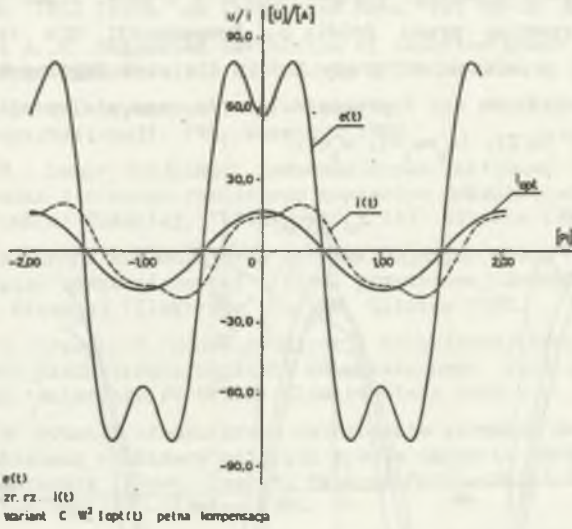
WARIANT	$\min I_h I_h^*$				
	$ I_{Opt} $	P_{odb}	P_{komp}	$Y_{k_h} = G_{k_h} + j B_{k_h}$	$\cos\varphi$
	A	W	W	S	
D	11,44	643,32	0	j 0,148 j 0,123	0,97

Dla przedstawionego przykładu dobrano kompensator z wariantu C dla optymalizacji w $W^{2,a}(0,T)$, ($\alpha_0=\alpha_1=1, \alpha_2=1$), dla założonych biegunów: $s_1=-0,5+j1$, $s_2=-1+j1$ oraz $k_0=-0,1$. Kompensator ten przedstawiono na rys. 4.



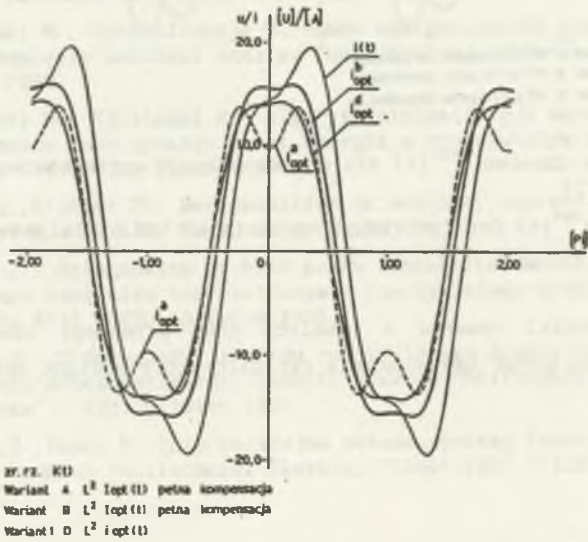
Rys. 4. Pełny schemat kompensatora

Fig. 4. Full scheme of the compensator



Rys.5. Przebiegi czasowe $e(t)$, $i(t)$, $i^{opt(C)}(t)$ dla przykładu z rys.3 dla wariantu C

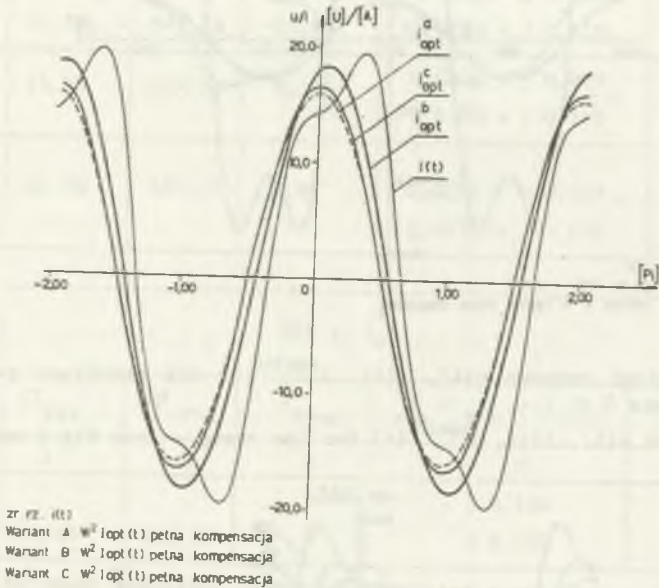
Fig.5. Plot of $e(t)$, $i(t)$, $i^{opt(C)}(t)$ for the example from Fig.3 variant C



Rys.6. Przebiegi czasowe prądu źródła dla poszczególnych wariantów optymalizacji w $L^2(0, T)$

Fig.6. Plot of source current for individual variants of the optimization in $L^2(0, T)$

Na rys.5 przedstawiono przebiegi czasowe napięcia źródła, prądu źródła przed kompensacją oraz przebieg prądu źródła po kompensacji dla tego samego wariantu. Na rys.6 przedstawiono prądy źródła dla poszczególnych wariantów optymalizacji w $L^2(0,T)$. Na rys.7 przedstawiono te same wielkości dla optymalizacji w $W^{2,\alpha}(0,T)$, ($\alpha_0 = \alpha_1 = 1$, $\alpha_2 = 1$).



Rys. 7. Przebiegi czasowe $i^{opt}(t)$ dla poszczególnych wariantów w optymalizacji w $W^{2,\alpha}(0,T)$

Fig. 7. Plot of $i^{opt}(t)$ for individual variants of the optimization in $W^{2,\alpha}(0,T)$

Analizując wyniki zawarte w tabelach oraz przebiegi czasowe należy stwierdzić, że nie można jednoznacznie określić który wariant optymalizacji jest najlepszy.

LITERATURA

- [1] Brodzki M., Pasko M., Umińska Bortliczek M., Walczak J.: "Propozycja nowego wskaźnika jakości energii elektrycznej dla układów dwuzaciskowych z przebiegami odkształconymi". Materiały XI-SPETO Gliwice-Wisła 1988.

- [2] Czarnecki L., S.: Minimization of reactive power under nonsinusoidal conditions. IEEE Trans. on Instr. and Meas. Vol AM-36, No 1. March 1987.
- [3] Emanuel A., E.: Suggested definition of reactive power nonsinusoidal systems. Proc IEEE Vol 121, No 7, July 1974.
- [4] Findeisen W., Szymanowski J., Wierzbicki A.: Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji. PWN, Warszawa 1980.
- [5] Pasko M.: Dobór dwójników kompensujących składową reaktancyjną prądu odbiornika liniowego zasilanego napięciem odkształconym. Zeszyty Nauko-Politechniki Śląskiej, "Elektryka" z. 117, Gliwice 1991.
- [6] Pasko M.: Dobór kompensatorów optymalizujących pracę rzeczywistego źródła napięć odkształconych i linii przesyłowej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej "Elektryka" z. 126, Gliwice 1992.
- [7] Pasko M., Grzesik B.: Model realizacji technicznej kompensacji składowych biernych prądu źródła napięcia odkształconego zasilającego odbiornik liniowy. Materiały XV-SPETO, Gliwice-Wisła 1992.
- [8] Pasko M., Dybek M.: Komputerowe wyznaczanie struktur dwójników kompensujących składową reaktancyjną prądu źródła napięcia odkształconego zasilającego odbiornik linowy. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, "Elektryka" z. 122, Gliwice 1991.
- [9] Pasko M.: Minimalizacja wartości skutecznej prądu źródła zasilającego odbiornik dwuzaciskowy napięciem odkształconym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej "Elektryka" z. 119, Gliwice 1991.
- [10] Pasko M., Walczak J.: A synthesis of compensation systems of current reactance component of two terminal receiver with deformed voltage supply. Math. Opt. Theory and Appl. Eisenach, Dec 1989.
- [11] Siwczyński M.: Optymalizacja warunków energetycznych rzeczywistego źródła napięcia metodami analizy funkcjonalnej. Materiały XIII SPETO, Gliwice 1990.
- [12] Siwczyński M., Kłosiński R.: Algorytm minimalizacji warunkowej kwadratowych funkcjonalów strat energii w rzeczywistym źródle napięcia. Materiały XIV SPETO, Gliwice 1991.
- [13] Sun S., Q., Kiykova H.: Decomposition of voltage, current and power. IEE Proc. part-B, Vol 138, No 1, January 1991.
- [14] Walczak J.: Ortogonalny rozkład prądu odbiornika dwuzaciskowego zasilanego napięciem odkształconym z rzeczywistego źródła napięcia. Materiały XIII SPETO, Gliwice 1990.
- [15] Walczak J.: O dekompozycji prądu rzeczywistego źródła napięcia i możliwości jego ortogonalizacji. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej "Elektryka" z. 122, Gliwice 1991.
- [16] Walczak J., Pasko M.: Interpolacyjna metoda syntezy funkcji rzeczywistych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, "Elektryka" z. 122, Gliwice 1991.

Recenzent: prof. dr inż. Stanisław Bolkowski

Wpłynęło do Redakcji dnia 20 marca 1992 r

Abstract

Theories of current power and nonsinusoidal voltages belong to important present theoretical and practical problems. Recently they have been closely related to the problem of optimization and modification of onephase and multiphase systems. To achieve the optimum source action it is necessary to adjoin compensating systems.

In the paper the minimization of quadratic functionals for various selections for average power flux has been carried out. Minimization has been realised by means of Lagrange multiplier method. The current and the voltage selected intersection has been obtained washing on the minimization. These parameters constitute a starting point for the synthesis of compensators, which generally are active.

The considerations have been illustrated by an example.