

Marian PASKO

Bogusław GRZESIK

#### KOMPENSACJA SKŁADOWYCH BIERNYCH PRĄDU ŹRÓDŁA NAPIĘCIA OKSZTAŁCONEGO ZASILAJĄCEGO ODBIORNIK LINIOWY Z WYKORZYSTANIEM UJEMNEJ REZYSTANCJI

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono dwie metody kompensacji składowych biernych prądu źródła napięcia oksztalconego z wykorzystaniem ujemnej rezystancji dla odbiornika liniowego. Opisano realizację energoelektroniczną ujemnej rezystancji będącej elementem kompensatorów. Obydwe metody zilustrowano przykładem.

#### COMPENSATION OF SCATTERED AND REACTIVE CURRENTS OF LINEAR LOAD SUPPLIED BY NONSINUSOIDAL VOLTAGE SOURCE USING NEGATIVE RESISTANCE

**Summary.** Two methods of compensation of scattered and reactive current of linear load supplied by nonsinusoidal voltage source are presented in the paper. The compensation is done with the help of one-port of LC type and negative resistance. The negative resistance, based on power electronic converter is an element of the compensator. Both methods has been illustrated with an example.

#### КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТОКА ИСТОЧНИКА НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАЮЩЕГО ЛИНЕЙНЫЙ ПРИЕМНИК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТРИЗАТЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

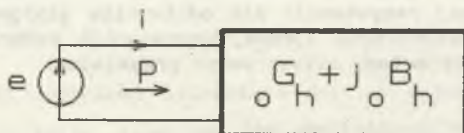
**Резюме.** В статье представлены два метода компенсации реактивных составляющих тока источника несинусоидального напряжения питающего линейный приемник с использованем отрицательного сопротивления. В работе описан способ реализации отрицательного сопротивления с активными элементами, являющегося элементом компенсатора. Представленные рассуждения проиллюстрированы примерами.

## 1. WSTĘP

Głównym celem niniejszego artykułu jest przedstawienia kompensacji niepożądanych składowych prądu idealnego źródła napięć odkształconych zasilającego odbiornik liniowy dwuzaciskowy. Do kompensacji wykorzystuje się oprócz elementów biernych rezystancję ujemną.

Kompensacja ta uzależniona jest od przyjętego kryterium optymalizacyjnego. W prezentowanej metodzie kompensacji wykorzystuje się dwa kryteria. Pierwsze kryterium wynika z prac [3], [6], [7], drugie podano w pracach [1], [2].

W pierwszym kryterium doprowadza się do minimalizacji wartości skutecznej prądu źródła przy zachowaniu stałości mocy czynnej odbiornika. Kryterium to można opisać w następujący sposób. Obwód elektryczny, w którym przeprowadza się kompensację pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Odbiornik zasilany ze źródła napięcia odkształconego okresowego

Fig. 1. Load supplied by voltage source with nonsinusoidal periodic voltage

Odształcone napięcie źródła można opisać zależnością (1).

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

gdzie  $E_h$  - wartość skuteczna zespolona h-tej harmonicznej.

Odbiornik opisany jest admitancją dla poszczególnych harmonicznych.

$$Y_{oh} = G_{oh} + j B_{oh}, \quad h \in \{1, 2, \dots, n\}. \quad (2)$$

Prąd źródła opisany jest zależnością (3).

$$i(t) = G_{00} E_0 + \sqrt{2} \operatorname{Re} \sum_{h=1}^n (G_{oh} + j B_{oh}) E_h \exp jh\omega t. \quad (3)$$

Prąd ten rozkłada się na trzy składowe ortogonalne w przestrzeni  $L^2(0, T)$ , [3].

$$i(t) = i_a + i_r + i_s \quad (4)$$

gdzie:  $i$  - całkowity prąd źródła,

$i_a$  - składowa czynna prądu źródła,

$i_r$  - składowa reaktancyjna prądu źródła,

$i_a$  - składowa rozproszenia prądu źródła.

Składową czynną prądu źródła określa formuła (5)

$$i_a(t) = G_e e(t). \quad (5)$$

Składowa  $i_a$  zapewnia minimalną wartość skuteczną prądu źródła dla zadanej mocy czynnej odbiornika  $P$ . Prąd ten po raz pierwszy został wprowadzony i zdefiniowany przez Fryzego [6], [7]. Równoważna konduktancja odbiornika  $G_e$  zdefiniowana została wzorem (6).

$$G_e = \frac{P}{|E|^2} = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T e(t) i(t) dt}{\frac{1}{T} \int_0^T e^2(t) dt}. \quad (6)$$

Pozostałe składowe określone zależnościami (7), (8) są składowymi niepożądanymi i należy je wyeliminować.

$$i_r(t) = \sqrt{2} \operatorname{Re} \sum_{h=1}^n j B_h E_h \exp jh\omega t, \quad (7)$$

$$i_a(t) = (G_o - G_e) E_o + \sqrt{2} \operatorname{Re} \sum_{h=1}^n (G_h - G_e) E_h \exp jh\omega t. \quad (8)$$

Drugie kryterium jest wynikiem kompromisu pomiędzy dwoma wymogami - żądaniem minimalnej wartości skutecznej prądu źródła oraz żądaniem minimalnych jego zniekształceń.

Prąd według drugiego kryterium został wyznaczony na podstawie rozwiązania zadania optymalizacyjnego [1], [2], które można ująć następująco.

Jeżeli  $e(t)$  oraz  $i(t) \in W^{2,\lambda}(0, T)$ , to zadanie minimalizacyjne określone zależnością (9)

$$\min_{W(0,T)} \|i\|_{2,\lambda}^2 \quad (9)$$

przy warunku ubocznym narzuconym na zadaną moc czynną odbiornika, prowadzi do wyróżnienia prądu optymalnego w postaci (10).

$$i_w(t) = G_0 E_0 + \sqrt{2} \operatorname{Re} \sum_{h=1}^n G_h E_h \exp jh\omega t \quad (10)$$

gdzie:

$$\|i\|_{W^2, \lambda(0, T)}^2 = \sum_{k=0}^r \lambda_k \frac{1}{T} \int_0^T (i^{(r)}(t))^2 dt, \quad (11)$$

$\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_r > 0$  - wagi pochodnych funkcji  $i(t)$ ,

$i^{(r)}(t)$  -  $r$ -ta pochodna funkcji  $i(t)$ ,

$$G_h = \frac{P}{V_h^2 \sum_{k=0}^n \frac{|E_k|^2}{V_k^2}} \quad (12)$$

$$V_h^2 = \lambda_0 + \lambda_1 (h\omega)^2 + \lambda_2 (h\omega)^4 + \dots + \lambda_r (h\omega)^{2r}. \quad (13)$$

Z analizy wzorów (10) i (12) wynika, że w prądzie uwydatniane są znacznie niższe harmoniczne. Pozostałe składowe prądu źródła określone przez wzory (14), (15) nie uczestniczą w przekazywaniu mocy czynnej do odbiornika i należy je wyeliminować.

$$i_w(t) = \sqrt{2} \operatorname{Re} \sum_{h=1}^n j B_h E_h \exp jh\omega t, \quad (14)$$

$$i_w(t) = (G_0 - G_0) E_0 + \sqrt{2} \operatorname{Re} \sum_{h=1}^n (G_h - G_h) E_h \exp jh\omega t. \quad (15)$$

Z identyczności wzorów (7) i (14) wynika, że kompensacja składowych reaktancyjnych w przypadku obydwu kryteriów jest realizowalna w tej samej klasie układów dając identyczne układy kompensacyjne. Z podobieństwa wzorów (8) i (15) wynika, że kompensacja składowych rozproszenia w przypadku obydwu kryteriów jest realizowalna w tej samej klasie układów dając różniące się układy kompensacyjne.

Szczegółowy realizacji układów kompensacyjnych - kompensatorów dla obydwu kryteriów przedstawiono poniżej.



## 2. KOMPENSACJA PRĄDU ROZPROSZENIA $i$

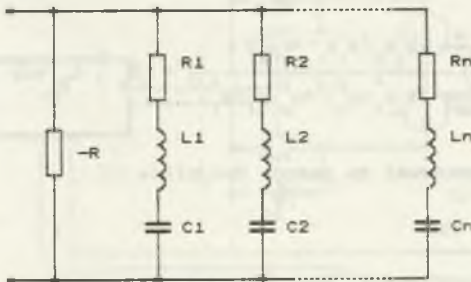
Na podstawie zależności (8) i (14) można stwierdzić, że kompensacja skończonej liczby harmonicznych prądu rozproszenia wymaga włączenia na zaciski odbiornika dwójników  $Y(s)$  spełniających warunki (16), (17). Zależność (16) odnosi się do wzoru (8) a zależność (17) do wzoru (14).

$$\bigwedge_{h \in N} \operatorname{Re} \left\{ Y_{we}(j\omega_h) \right\} \Big|_{\omega_h = h\omega} = G_e - G_h, \quad (16)$$

$$\bigwedge_{h \in N} \operatorname{Re} \left\{ Y_{we}(j\omega_h) \right\} \Big|_{\omega_h = h\omega} = G_h - G_e, \quad (17)$$

gdzie:  $\omega = 2\pi/T$ ,  $G_e, G_h, G_e \in R^+$ ,  $h \in N$ .

Prawe strony równań (16), (17) przyjmują wartości dodatnie i ujemne. Z faktu tego wynika, że nie jest możliwa kompensacja prądów rozproszenia za pomocą dwójników pasywnych. Możliwa natomiast jest kompensacja tych prądów za pomocą dwójników aktywnych zawierających jedną rezystancję ujemną,  $(RLC, -R^{(1)})$ , [11], [12]. Taki dwójnik o strukturze Fostera pokazano na rys. 2.



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

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

Admitancja tego dwójnika,  $(RLC, -R^{(1)})$ , wyraża się zależnością (18). Warunki kompensacji, (16), (17) przyjmują postać (19) dla kryterium w  $L^2(0, T)$  i (20) dla kryterium w  $W^{2,\lambda}(0, T)$ .

$$Y_{we}(j\omega) = k_0 + \sum_{i=1}^n \frac{-(s_i + s_i^*)\omega^2 k_i}{(s_i s_i^* - \omega^2)^2 + \omega^2 (s_i + s_i^*)^2} + j \sum_{i=1}^n \frac{k_i \omega (s_i s_i^* - \omega^2)}{(s_i s_i^* - \omega^2)^2 + \omega^2 (s_i + s_i^*)^2} \quad (18)$$

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

$s_i = -\sigma_i + j\beta_i$ ,  $s_i^* = -\sigma_i - j\beta_i$  - założone bieguny funkcji.

$$\bigwedge_{h \in N} \sum_{i=1}^n \frac{-(s_i + s_i^*)\omega_h^2 k_i}{(s_i s_i^* - \omega_h^2)^2 + \omega_h^2 (s_i + s_i^*)^2} = {}_e G - {}_o G_h - k_0, \quad (19)$$

$$\bigwedge_{h \in N} \sum_{i=1}^n \frac{-(s_i + s_i^*)\omega_h^2 k_i}{(s_i s_i^* - \omega_h^2)^2 + \omega_h^2 (s_i + s_i^*)^2} = {}_e G_h - {}_o G_h - k_0. \quad (20)$$

Warunkiem koniecznym i wystarczającym istnienia fizykalnego rozwiązania jest dodatniość współczynników  $k_i$  dla obydwóch kryteriów, (19), (20) przy założonych wartościach  $k_0$  i biegunach  $s_i$ .

Po kompensacji składowych rozproszenia w źródle pozostają bezużyteczne składowe prądu  $i_r$  oraz składowe wprowadzone przez część urojona dwójników (RLC,  $-R^{(1)}$ ) postaci  $(i_r + i_{rs})$ , które są zapisane we wzorze (21).

$$i_r + i_{rs} = \sqrt{2} \operatorname{Re} \int_{h=1}^n j \left( \sum_{i=1}^n \frac{k_i \omega (s_i s_i^* - \omega_h^2)}{(s_i s_i^* - \omega_h^2)^2 + \omega_h^2 (s_i + s_i^*)^2} + {}_o B_h \right) E_h \exp j\omega t. \quad (21)$$

Prąd ten można skompensować za pomocą dwójników LC.

### 3. KOMPENSACJA PRĄDU $(i_r + i_{rs})$ ZA POMOCĄ DWÓJNIKÓW LC

Warunki jakie musi spełniać susceptancja dwójnika kompensującego prąd  $(i_r + i_{rs})$ , (21) są określone wzorem (22).

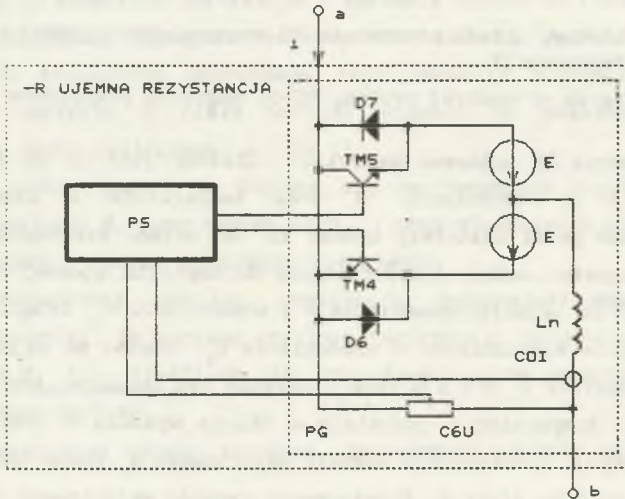
$$\bigwedge_{h \in N} {}_k B(\omega_h) = - \left( \sum_{i=1}^n \frac{k_i \omega_h (s_i s_i^* - \omega_h^2)}{(s_i s_i^* - \omega_h^2)^2 + \omega_h^2 (s_i + s_i^*)^2} + {}_o B_h \right). \quad (22)$$

Realizacja dwójników LC służących do kompensacji prądu reaktancyjnego  $i$  została opisana w pracach [3], [4], [5], [8], [9] i [10]. Dwójniki LC służące do kompensacji prądu  $r_{rs}$  i realizowane są identycznie jak dwójniki do kompensacji prądu  $i$ . W pracy [10] podano algorytm numeryczny syntezy tych dwójników - wykorzystano go do rozwiązania zamieszczonego w pracy przykładu ilustracyjnego.

#### 4. REALIZACJA ENERGOELEKTRONICZNA REZYSTANCJI UJEMNEJ

O przydatności przedstawionej koncepcji decyduje techniczna realizacja rezystancji ujemnej. Realizacja energoelektroniczna rezystancji ujemnej jest realizacją najkorzystniejszą ponieważ straty energetyczne w przekształtniku, obiekcie fizycznym związane z przekształcaniem energii elektrycznej są niewielkie. Wstępna koncepcję realizacji technicznej zamieszczono w pracy [13]. W niniejszej pracy prezentuje się wszystkie szczegóły takiego rozwiązania.

Schemat realizacji energoelektronicznej rezystancji ujemnej pokazano na rys. 3.



Rys.3. Schemat realizacji energoelektronicznej ujemnej rezystancji

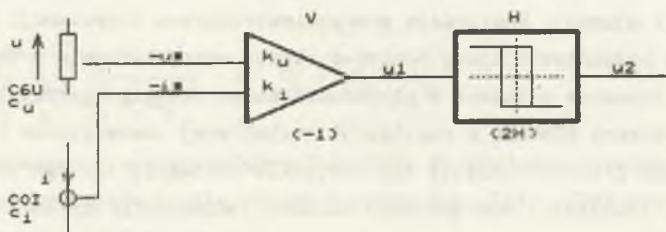
Fig.3. Negative resistance made by means of power electronic

Obiekt widziany z zacisków a-b ma właściwości ujemnej rezystancji. Ujemna rezystancja realizowana jest z przybliżeniem na jakie pozwala zasada

działania i użyte do jej konstrukcji elementy. Układ z rys.3, złożony jest z trzech części: obwodów głównych PG, układu sterowania PS oraz układu pomiarowego C6U, COI.

Obwód główny PG złożony jest z dwóch tranzystorów mocy TM5, TM6, dwóch diod D7, D6, źródeł E1, E2 oraz dławika Ln. Tranzystory pracują jako przełączniki sterowane odpowiednio sygnałami wypracowywanymi w układzie sterowania PS.

Do układu sterowania PS doprowadzane są dwa sygnały: proporcjonalny do napięcia rezystancji ujemnej (z elementu C6U) oraz proporcjonalny do prądu ujemnej rezystancji (z elementu COI).



Rys.4. Schemat blokowy układu sterowania PS energoelektronicznej realizacji ujemnej rezystancji

Fig.4. Block diagram of control system, PS of negative resistance

Układ sterowania PS pokazano na rys.4. Złożony jest on ze wzmacniacza odwracającego V o wzmacnieniu  $-1$  oraz komparatora z histerezą H, którego szerokość pętli histerezy wynosi  $2H$ . Do układu sterowania doprowadzone są dwa sygnały. Jeden, proporcjonalny do napięcia ujemnej rezystancji  $-u = c_u u$  wchodzi na wejście wzmacniacza V o wzmacnieniu  $k_u$ . Drugi,  $-i = c_i i$  wchodzi na wejście wzmacniacza o wzmacnieniu  $k_i$ . Sygnał na wyjściu wzmacniacza V jest postaci  $u_1 = c_u k_u u + c_i k_i i$ . Sygnał ten podawany jest na komparator H. Jeżeli komparator H pozostaje w stanie wysokim W oraz  $du_1/dt > 0$ ,  $u_1 = H$ , to następuje przełączenie sygnału wyjściowego  $u_2$  komparatora H z poziomu wysokiego W na niski N. Przełączenie sygnału wyjściowego  $u_2$  komparatora H z poziomu niskiego N na wysoki odbywa się wtedy, gdy  $du_1/dt < 0$  oraz  $u_1 = -H$ . Gdy sygnał ma wartość  $u_2 = N$  toysterowany jest tranzystor TM4, w przypadku przeciwnym,  $u_2 = W$ ,ysterowuje się tranzystor TM5. W przypadku, gdy prąd ujemnej rezystancji  $i$ , zastrzałkowany w sposób podany na rys.3, ma wartość ujemną wówczas, gdyysterowany jest tranzystor TM4 to prąd  $i$



przepływa przez ten tranzystor. Przy ujemnym prądzie  $i < 0$  i niewysterowanym tranzystorze TM4 prąd  $i$  przepływa przez diodę D7. Przy dodatnim prądzie  $i > 0$ , gdy wysterowany jest tranzystor TM5 prąd  $i$  przepływa przez ten tranzystor. Przy dodatnim prądzie  $i > 0$ , gdy tranzystor TM5 nie jest wysterowany, prąd  $i$  przepływa przez diodę D6. Gdy  $i < 0$  oraz przewodzi tranzystor TM4 to prąd zmniejsza swoją wartość,  $di/dt < 0$ . Gdy przewodzi dioda przy ujemnym prądzie,  $i < 0$  to prąd  $i$  zwiększa wartość,  $di/dt > 0$ . Poprawne funkcjonowanie układu jest wyznaczone następującą zależnością wynikającą, np. z warunku przełączania komparatora H przy  $i < U/R$ :

$$I_{\max} (1+\delta) c_{i1} k_1 - U_{\max} c_u k_u = H, \quad (23)$$

gdzie:  $I_{\max} = U_{\max} / R$  - wartość maksymalna składowej podstawowej prądu ujemnej rezystancji  $i$ ,

$$\delta = (i - I_{\max}) / I_{\max} - \text{względna odchyłka prądu maksymalnego,}$$

$U_{\max}$  - wartość maksymalna napięcia ujemnej rezystancji równa maksymalnej wartości napięcia źródła  $e$  (rys.1).

Wzór (23) oraz konkretne informacje o sprzęcie użytym do realizacji układu sterowania pozwalają zaprojektować wszystkie elementy tego układu.

Warunkiem koniecznym poprawnego funkcjonowania prezentowanego układu jest, aby napięcie  $E$  miało wartość większą od maksymalnej wartości  $U_{\max}$  napięcia sieci zasilającej  $e$  (rys.1).

Wartość indukcyjności  $L_m$  dobiera się na podstawie względnej odchyłki prądu maksymalnego  $\delta$ , sumy napięć  $(E + U_{\max})$  oraz minimalnego czasu pozostawiania tranzystora w stanie załączenia/wyłączenia.

Z przedstawionej analizy realizacji energoelektronicznej ujemnej rezystancji wynika, że wartość chwilowa rezystancji zmienia się w czasie, w zakresie od  $U_{\max} / (I_{\max} (1+\delta))$  do  $U_{\max} / (I_{\max} (1-\delta))$ , przy czym zakłada się, że  $\delta$  ma niewielką wartość.

W przedstawionym opisie założono, że wartość ujemnej rezystancji jest stała.

Należy podkreślić, że wartość tej rezystancji może być zmieniana np. poprzez zmianę współczynnika wzmocnienia  $k_u$  i przyjmować wartości zarówno ujemne jak i dodatnie.

Należy dodać, że źródła  $E$  (rys.3) są wydajnikami energii.

## 5. PRZYKŁAD

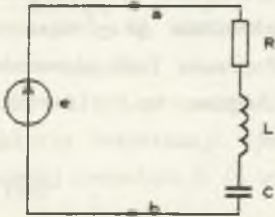
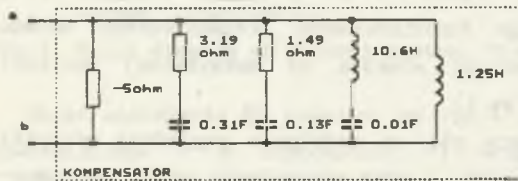


Fig.5. Source-load system

Rys.5. Układ źródło odbiornik

Dla obwodu rzedstawionego na rys.5 o danych:

$e(t) = 100\sqrt{2}\cos\omega t + 20\sqrt{2}\cos 5\omega t$ ,  $R=1\Omega$ ,  $L=1\text{H}$ ,  
 $C=0,5\text{F}$ ,  $\omega = 1\text{rad/s}$ , należy dobrać kompensatory dla obu kryteriów optymalizacyjnych.



Rys.6. Kompensator dla pierwszego kryterium

Fig.6. Compensator made due to the first criteria

Dla rozpatrywanego układu moc czynna odbiornika wynosi  $P = 5018\text{W}$ , wartość skuteczna prądu źródła przed kompensacją  $|I| = 70,83\text{A}$ . Obliczone wartości admittancji kompensatorów wynoszą:

- dla minimalizacji wartości skutecznej prądu źródła

$$Y_{k1} = -0,0172 - j0,5 \text{ S}, \quad Y_{k5} = 0,437 + j0,207 \text{ S}.$$

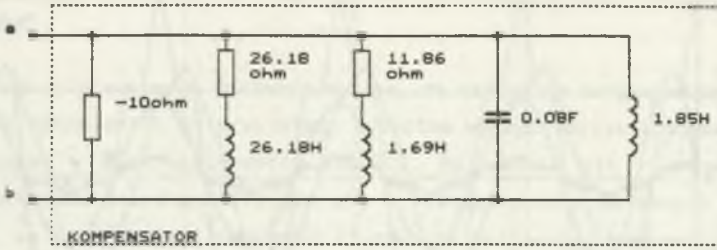
- dla zadanego kompromisu pomiędzy minimum wartości skutecznej prądu źródła a jego odkształceniem od przebiegu sinusoidalnego

$$Y_{k1} = 0,0017 - j0,5 \text{ S}, \quad Y_{k5} = -0,042 + j0,2075 \text{ S}.$$

Kompensator realizujący pierwsze kryterium ma postać przedstawioną na rys.6.

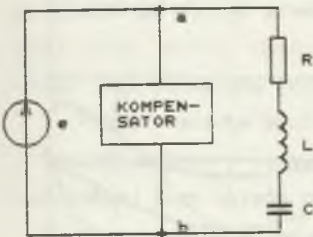
Wartość skuteczna prądu źródła po kompensacji wynosi  $|I| = 49,2\text{A}$ .

Kompensator realizujący kryterium optymalizacyjne (9) (dla  $\lambda_0=1$ ,  $\lambda_1=1$ ,  $\lambda_2=1$ ) przedstawiono na rys.7.



Rys.7. Kompensator dla drugiego kryterium Rys.8 Układ sieć-kompensator-odb.  
 Fig.7. Kompensator made due to the second criteria

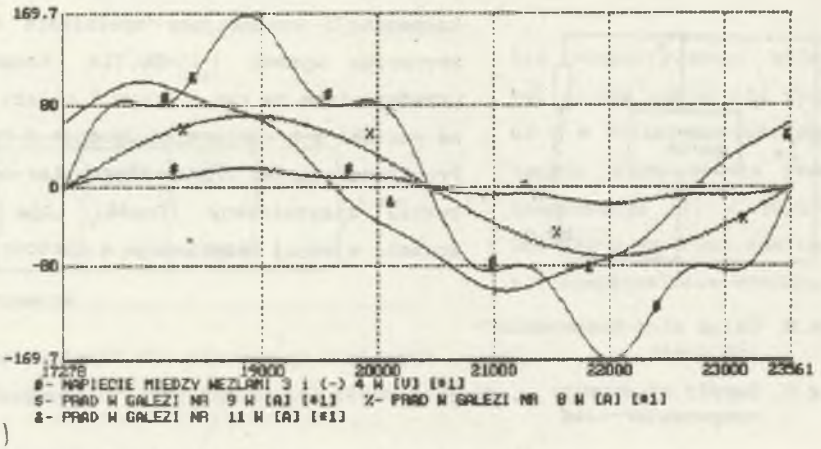
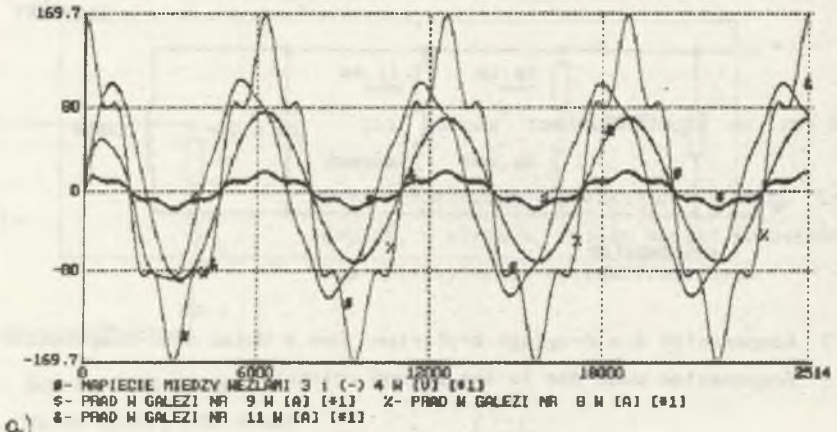
Wartość skuteczna prądu źródła po kompensacji warunkująca spełnienie drugiego kryterium wynosi  $|I_{a\omega}|=50,71A$ . Kompensatory przedstawione na rys.6 i rys.7 należy włączyć na zaciski a-b odbiornika zgodnie z rys.8. Przykładowy układ źródło-kompensator-odbiornik został zasymulowany (Tcad4). Dla zrealizowania ujemnej rezystancji o wartości  $-10 \Omega$



Rys.8. Układ sieć-kompensator-odbiornik

Fig.8. Supply of supply-compensator-load

przyjęto następujące dane:  $c_u=0,04 V/V$ ,  $c_1=0,2 A/V$ ,  $k_u=0,2 V/V$ ,  $k_1=3.757 V/V$ ,  $H=0,74 V$ ,  $U_m=\sqrt{2} 120V$ ,  $\delta=0,1$ . Wyniki symulacji-przebiegi czasowe odpowiednich napięć i prądów przedstawiono na rys. 9. Są to: napięcie źródła oznaczone znakiem #, prąd odbiornika RLC oznaczony & , prąd źródła po kompensacji, zrealizowanej we- dług drugiego drugiego kryterium, oznaczony jako % oraz ujemny prąd ujemnej rezystancji, który oznaczono jako \$ . Na rys. 9b zamieszczono fragment przebiegów z rys. 9a dla zakresu czasu 17,278 s do 23,561 s .



Rys.9. Przebiegi czasowe napięcia źródła (#, między węzłami 3 i (-) 4), prądu odbiornika (&, prąd w gałęzi 11), prąd źródła po kompensacji (% , prąd w gałęzi 8) oraz ujemny prąd ujemnej rezystancji (\$, prąd w gałęzi 9)

Fig.9. Waveforms of source voltage (#, between nodes 3 and (-) 4), load current (&, current in branch no 11), source current with compensation applied (% , current in branch no 8) and negative current of negative resistance (\$, current in branch no 9)



## 6. ZAKOŃCZENIE

### WNIOSKI

1. Z przedstawionych rozważań wynika, że całkowita kompensacja składowych biernych niezależnie od przyjętego kryterium wymaga użycia kompensatora zrealizowanego w klasie elementów ( $\pm R, LC$ ). Pojawienie się w przedstawionych kompensatorach rezystancji wiąże się z wystąpieniem dodatkowych strat cieplnych, co może obniżać zasadność stosowania całkowitej kompensacji.

2. W przypadku, gdy kompensator zawiera wyłącznie układy LC możliwe jest jedynie wyeliminowanie składowej reaktancyjnej a zatem obniżenie wartości skutecznej prądu źródła. W tym przypadku obwód widziany z zacisków źródła jest obwodem czysto rezystancyjnym. Uzyskane wartości skuteczne prądu źródła, jak i ich kształt dla obydwu opisanych kryteriów są takie same.

3. Przedstawiona teoria i pewne aspekty techniczne w opisywanym rodzaju kompensacji mogą stanowić wytyczne do dalszych poszukiwań rozwiązania spełniającego wymogi praktyczne. Poszukiwania takie winny iść w kierunku minimalizacji strat cieplnych w kompensatorze ( $RLC -R^{(1)}$ ) i minimalizacji liczby jego elementów rezystancyjnych w przypadku całkowitej kompensacji.

4. Przeprowadzona synteza nie uwzględniała aspektów energetycznych.

5. Opis ujemnej rezystancji wykazuje, że istnieje możliwość realizacji technicznej tego układu przy zastosowaniu tyrystorów GTO lub tranzystorów.

6. Przedstawiona metoda doboru kompensatorów optymalizujących warunki pracy idealnego źródła może być przeniesiona na model źródła rzeczywistego.

### LITERATURA

- [1] Brodzki M., Pasko M., Umińska-Bortliczek M., Walczak J.: Propozycja nowego wskaźnika jakości energii elektrycznej dla układów z przebiegami odkształconymi. Prace XI Sminarium z Podstaw Elektrotechniki i Teorii Obwodów (Materiały XI-SPETO), Gliwice-Wiśła 1988.
- [2] Brodzki M., Pasko M., Umińska-Bortliczek M., Walczak J.: Ortogonalny rozkład prądu odbiornika dwuzaciskowego zasilanego napięciem odkształconym w przestrzeni Sobolewa. Prace XI Sminarium z Podstaw Elektrotechniki i Teorii Obwodów (Materiały XI-SPETO), Gliwice-Wiśła 1988.
- [3] Czarnecki L., S.: Interpretacja, identyfikacja i modyfikacja właściwości energetycznych obwodów jednofazowych z przebiegami odkształconymi. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej "Elektryka" z. 91, 1984 Gliwice.

- [4] Carnecki L., S.: Minimization of reactive power under nonsinusoidal conditions. IEEE Trans. on Instr. and Meas. Vol IM-36, No 1, March 1987.
- [5] Emanuel A., E.: Suggested definition of reactive power nonsinusoidal systems. Proc. IEEE Vol 121, No 7, July 1974.
- [6] Fryze S.: Moc czynna, bierna i pozorna w obwodach o przebiegach odkształconych prądu i napięcia. Przegląd Elektrotechniczny Nr 7,8 1931.
- [7] Fryze S.: Wybrane zagadnienia teoretycznych podstaw elektrotechniki. IPPT PAN, Monografie zagadnień elektrotechniki teoretycznej, PWN, Warszawa-Wrocław 1966.
- [8] Pasko M.: Dobór dwójników kompensujących składową reaktancyjną prądu odbiornika liniowego zasilanego napięciem odkształconym. Materiały XII-SPETO, Gliwice-Wisła 1989.
- [9] Pasko M., Walczak J.: A synthesis of a current reactance component of two-terminal receiver with deformed voltage supply. XIV Int. Conf. Math. Opt.Theory and Appl. Eisenach. December 1989.
- [10] Pasko M., Dybek M.: Komputerowe wyznaczanie struktur dwójników kompensujących składową reaktancyjną prądu źródła napięcia odkształconego zasilającego odbiornik liniowy. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej "Elektryka" z.122, Gliwice 1991.
- [11] Walczak J., Pasko M.: Interpolacyjna metoda syntezy funkcji rzeczywistych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej "Elektryka" z.122, Gliwice 1992.
- [12] Pasko M.: Minimalizacja wartości skutecznej prądu źródła zasilającego odbiornik dwuzaciskowy napięciem odkształconym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej "Elektryka" z.119, Gliwice 1991.
- [13] Pasko M., Grzesik B.: Model realizacji technicznej kompensacji składowych biernych prądu źródła napięcia odkształconego zasilającego odbiornik liniowy. Materiały XV-SPETO, Gliwice-Wisła 1992.
- [14] Sun S. Q., Kiyokawa H.: Decomposition of voltage, current and power. IEE Proc. part-B Vol 138, No1, January 1991.
- [15] Tunia H, Winiarski B.: Podstawy energoelektroniki, WNT, Warszawa 1987
- [16] Grzesik B.: Teoria przekształtników statycznych. Skryпт Politechniki Śląskiej nr 1360, Gliwice 1987.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Kazimierz Mikołajuk

Wpłynęło do Redakcji dnia 25 maja 1992 r.

**A b s t r a c t**

The paper develops the results of the papers [12], [13] in which the selection of one-ports minimizing the given performance indices of electric energy have been presented. Acceptance of a given electric energy performance index leads to distinction in the source current an orthogonal component; this component is responsible for minimization of the index. The other components reciprocally orthogonal are undesirable and they should be compensated. The main aim of the paper is to present compensation of scattered and reactive currents for case the linear load is supplied from nonsinusoidal voltage source. The compensation is made by means of one-port of LC type and negative resistance. Minimal realization of synthesis problem is solved for demand of having minimal number of negative resistances. There is the negative resistance based on power electronic converter described in the paper. The theory is illustrated by an example.