

Krystyna STEC
Lesław TOPÓR-KAMIŃSKI

Instytut Podstawowych Problemów
Elektrotechniki i Energoelektroniki
Politechniki Śląskiej

ZASTOSOWANIE REZYSTANCJI PARAMETRYCZNYCH DO POPRAWY WSPÓŁCZYNNIKA MOCY

Streszczenie. W pracy rozpatrzono możliwość poprawy współczynnika mocy za pomocą rezystancji parametrycznych.

Pod uwagę wzięto układy z okresowymi niesinusoidalnymi przebiegami prądu i napięcia.

Wykazano, że za pomocą rezystancji parametrycznej można skompensować wybraną składową prądu.

Rozważano dwa możliwe sposoby poprawy współczynnika mocy:

1. przez kompensację mocy biernej;
2. przez kompensację całej mocy z wyjątkiem mocy czynnej.

W obu przypadkach przyjęto założenie, że wprowadzona do układu rezystancja parametryczna nie może generować nowych harmonicznych prądu. Podano teoretyczne reguły doboru rezystancji parametrycznej i sygnałów sterujących.

Przeprowadzono doświadczalną weryfikację rozważań teoretycznych w układzie kompensacyjnym małej mocy.

1. Wstęp

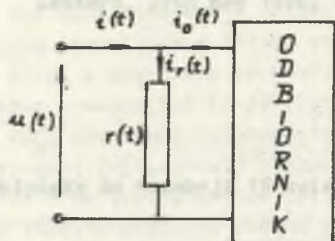
Wiadomo, że rezystancyjne liniowe układy parametryczne mogą pobierać nie tylko moc czynną, ale także moc bierną i moc deformacji, a nawet mogą nie pobierać w ogóle mocy czynnej. Powinno więc być możliwe zastosowanie ich do poprawy współczynnika mocy układu.

W ogólnym jednak przypadku [2] włączenie dwójnika o rezystancji $r(t) = R x(t)$ (gdzie $x(t)$ - parametr sterujący R - stała) powoduje pojawienie się w układzie dodatkowych harmonicznych, co może spowodować pogorszenie współczynnika mocy.

Celem niniejszej pracy jest wykazanie, że możliwe jest poprawienie współczynnika mocy układu za pomocą liniowych rezystancji sterowanych oraz podanie zasad doboru tych rezystancji.

2. Ogólne zasady poprawy współczynnika mocy za pomocą rezystancji sterowanej $r(t)$

Układ do poprawy współczynnika mocy pokazany jest na rys. 1. Przyjęte założenie, że napięcie i prąd odbiornika są przebiegami okresowymi niesinusoidalnymi i mogą być przedstawione za pomocą szeregu Fouriera



$$u(t) = \sum_{n=1}^{\infty} U_{mn} \sin(n\omega t + \alpha_n) \quad (1)$$

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_{mn} \sin(n\omega t + \alpha_n - \varphi_n) \quad (2)$$

Rys. 1. Ogólny układ kompensacyjny

W układzie takim stosowane są dwa sposoby podejścia do sprawy poprawy współczynnika mocy.

Fig. 1. General compensation network

2.1. Kompensacja mocy biernej

Pierwszy z nich to kompensacja mocy biernej Q określonej wzorem [1]

$$Q = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \mathcal{H}\{i(t)\} dt \quad (3)$$

Moc ta wywołana jest przez składową bierną prądu

$$i_p(t) = - \sum_{n=1}^{\infty} I_{mn} \sin \varphi_n \cos(n\omega t + \alpha_n) \quad (4)$$

a prąd odbiornika określony jest jako suma dwóch składowych $i_c(t)$ i $i_p(t)$

$$i_o(t) = i_c(t) + i_p(t) \quad (5)$$

Kompensację mocy biernej uzyskuje się przez równoległe dołączenie do zacisków odbiornika takiego elementu, który pobiera prąd

$$i_r(t) = - i_p(t) \quad (6)$$

tzn. rezystancji

$$r(t) = - \frac{u(t)}{i_p(t)} \quad (7a)$$

lub konduktancji

$$g(t) = - \frac{i_p(t)}{u(t)} \quad (7b)$$

Przy kompensacji kilku wybranych harmonicznych np. k, l, m

$$i_r(t) = - [i_{pk}(t) + i_{pl}(t) + i_{pm}(t)] \quad (8)$$

gdzie

$$i_{pn} = |I_{nm}| \sin \varphi_n \cos n\omega t$$

$$n = k, l, m,$$

a rezystancja (konduktancja) powinna wyrażać się wzorem:

$$r(t) = - \frac{u(t)}{i_{pk}(t) + i_{pl}(t) + i_{pm}(t)} \quad (9a)$$

lub

$$g(t) = - \frac{i_{pk}(t) + i_{pl}(t) + i_{pm}(t)}{u(t)} \quad (9b)$$

Jak widać, rezystancja $r(t)$ musi być sterowana dwiema funkcjami

$$x(t) = k_1 u(t)$$

$$y(t) = k_2 [-i_p(t)]$$

lub funkcją proporcjonalną do ilorazu tych funkcji.

2.2. Kompensacja zadanego prądu zależnego od przyjętego rozkładu prądu odbiornika

Drugi sposób poprawy współczynnika mocy oparty jest na przyjęciu innego rozkładu prądu na składowe [6]. Prąd odbiornika przedstawiony jest jako suma

$$i_o(t) = i_a(t) + i_b(t), \quad (10)$$

w której wyłącznie składowa

$$i_a(t) = G u(t) \quad (11)$$

jest odpowiedzialna za pobór mocy czynnej, a konduktancja G dobrana jest tak, że

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) i_o(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) i_a(t) dt, \quad (12)$$

a więc

$$G = \frac{P}{|U|^2}. \quad (13)$$

Zakładamy tutaj całkowitą kompensację składowej $i_b(t)$ tak, że ze źródła pobierana będzie wyłącznie moc czynna.

Wymaga to zastosowania rezystancji

$$r(t) = \frac{u(t)}{-i_b(t)} = -\frac{u(t)}{i_o(t) - i_a(t)} \quad (14a)$$

lub konduktancji

$$g(t) = -\frac{i_b(t)}{u(t)} = -\frac{i_o(t) - i_a(t)}{u(t)} \quad (14b)$$

ewentualnie dwóch konduktancji połączonych równolegle

$$g_1(t) = \frac{-i_o(t)}{u(t)} \quad (15a)$$

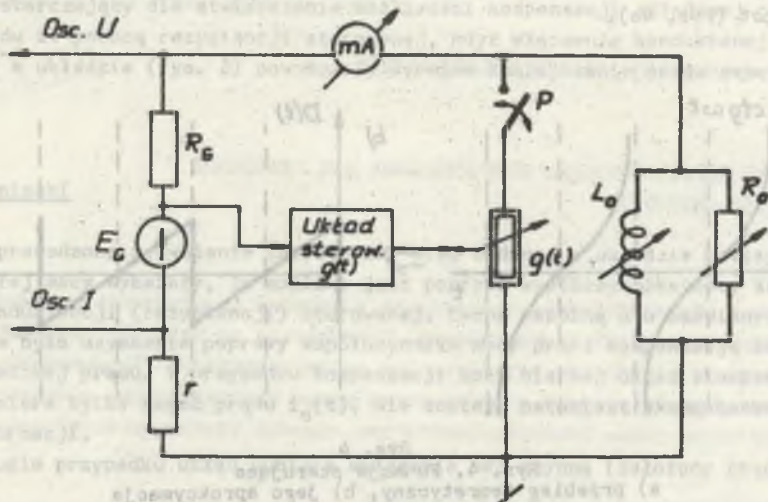
$$g_2(t) = \frac{i_a(t)}{u(t)} = G = \frac{P}{|U|^2}. \quad (15b)$$

Tak jak w poprzednie omówionym sposobie konduktancje te muszą być sterowane dwiema funkcjami lub funkcją proporcjonalną do ich ilorazu.

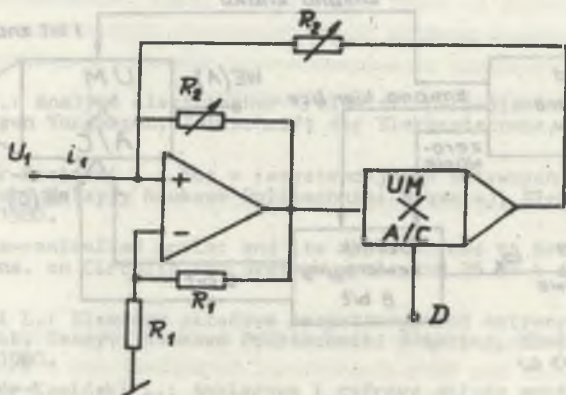
Konduktancje (rezystancje) takie można realizować za pomocą układów aktywnych zawierających elementy sterowane [3], [4], [5].

3. Doświadczalna weryfikacja zjawiska rezystancyjnej parametrycznej kompensacji

Działanie kompensacji sprawdzono w układzie małej mocy zasilanym z rzeczywistego źródła sinusoidalnego (rys. 2). Założono tu kompensację składowej biernej prądu.



Rys. 2. Doświadczalny układ małej mocy
Fig. 2. Experimental low power network



Rys. 3. Konduktancja sterowana
Fig. 3. Time varying conductance

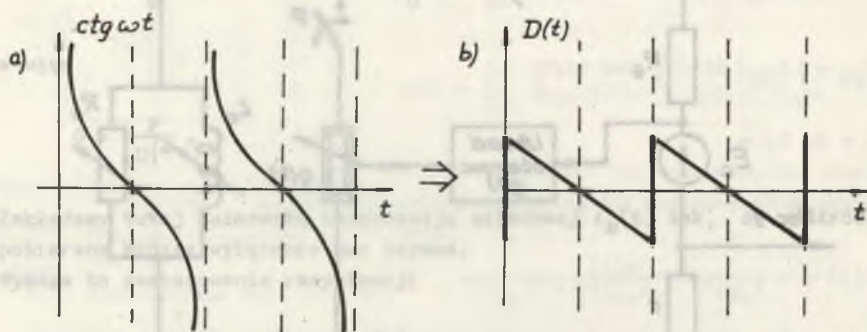
Jako element kompensujący zastosowano konduktancję zmienną z analogowo-cyfrowym układem mnożącym sterowanym sygnałem cyfrowym (rys. 3).

Konduktancja ta winna być równa:

$$g(t) = |Y| \sin \varphi \operatorname{ctg} \omega t, \quad (16)$$

gdzie $Y = |Y| e^{-j\varphi}$ jest admitancją odbiornika typu RL.

Z relacji (13) widać, że przebiegiem sterującym winna być funkcja $f(t) = \operatorname{ctg} \omega t$ (rys. 4a).



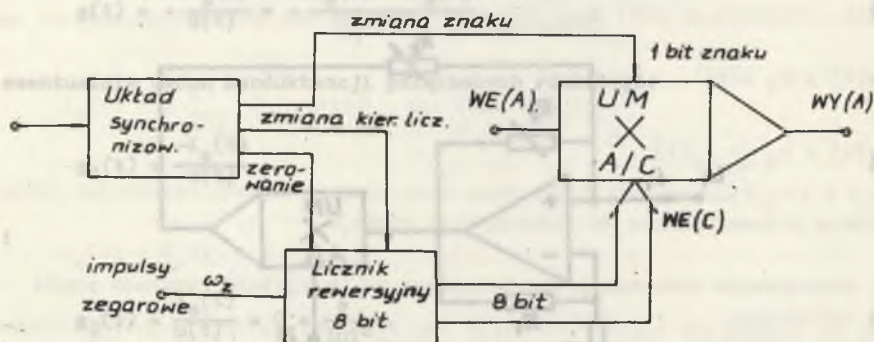
Rys. 4

Rys. 4. Funkcja sterująca

a) przebieg teoretyczny, b) jego aproksymacja

Fig. 4. Control function

a) theoretical, b) its approximation



$$\omega_z \gg \omega$$

Rys. 5. Generator napięcia piłowego

Fig. 5. Triangular signal generator

Ze względu na możliwości realizacyjne przebieg ten został przybliżony przebiegiem piłowym (rys. 4b) łatwym do uzyskania w układzie cyfrowym. Układ do otrzymywania cyfrowego piłowego przebiegu zsynchronizowanego z napięciem generatora pokazano na rys. 5. Przy wprowadzeniu takiego przybliżonego przebiegu sterującego uzyskano efekt kompensacyjny wprawdzie niepełny, lecz wystarczający dla stwierdzenia możliwości kompensacji składowej biernej prądu za pomocą rezystancji sterowanej, gdyż włączenie konduktancji sterowanej w układzie (rys. 2) powodowało wyraźne zmniejszenie prądu generatora.

4. Wnioski

Przeprowadzone rozważanie teoretyczne oraz badanie w układzie rzeczywistym małej mocy wykazały, że możliwa jest poprawa współczynnika mocy za pomocą konduktancji (rezystancji) sterowanej. Cechą wspólną obu omówionych sposobów było uzyskanie poprawy współczynnika mocy przez kompensację zadanej składowej prądu. W przypadku kompensacji mocy biernej układ skompensowany pobiera tylko część prądu $i_0(t)$. Nie zostaje natomiast skompensowana moc deformacji.

W drugim przypadku układ pobiera wyłącznie moc czynną (założony prąd $i_a(t)$).

Praktyczna realizacja proponowanych sposobów poprawy współczynnika mocy wymaga zbudowania konduktancji (rezystancji) sterowanych dużej mocy.

LITERATURA

- [1] Nowowiejski Z.: Analyse elektrischer Kreise mit periodischen nicht sinusoidalformigen Vorgängen, Zeitschrift der Elektrotechnik, No 8, 1967, ss. 244-254.
- [2] Stec K., Topór-Kamiński L.: Moc w rezystancyjnych aktywnych obwodach parametrycznych, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka nr 68, ss. 115-122. 1980.
- [3] Goras L. The x-controlled scalar and its applications to Netwok Synthesis, IEEE Trans. on Circuits and Systems, vol. CAS 26 No 4 April 1979 pp. 288-290.
- [4] Topór-Kamiński L.: Elementy składowe rezystancyjnych aktywnych obwodów parametrycznych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka nr 68, ss. 103-114. 1980.
- [5] Frycz S., Topór-Kamiński L.: Analogowe i cyfrowe układy mnożące. Materiały VII SPETO, Gliwice-Ustroń 1984.
- [6] Czarnecki L.: Interpretacja, identyfikacja i modyfikacja właściwości energetycznych obwodów jednofazowych z przebiegami odkształconymi. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka nr 91, 1984.

- [7] Stec K., Kamiński L.: Projekt patentu. Sposób kompensacji prądu i lub mocy biernej całkowitej i lub wybranych harmoniczných, nr P-254442, 1985.

Recenzent:

Doc. dr hab. inż. Maciej Siwczyński

Wpłynęło do Redakcji dn. 15 kwietnia 1986 r.

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Резюме

В статье рассматривается возможность улучшения коэффициента мощности при помощи параметрических сопротивлений. Принимаются во внимание системы, в которых токи и напряжения периодические несинусоидальные. Указывается, что при помощи параметрической резистивности можно компенсировать избранную составную часть тока. Рассматриваются два способа улучшения коэффициента мощности:

1. путём компенсации реактивной мощности,
2. путём компенсации всей мощности, за исключением активной мощности.

В обоих случаях принято предложение, что введённое в систему параметрическое сопротивление не может вырабатывать новые гармоники в токе. Даются теоретические правила подбора параметрического сопротивления и управляющих сигналов. Была проведена экспериментальная проверка теоретических рассуждений в компенсационной системе малой мощности.

THE USE OF TIME - VARYING LINEAR RESISTANCES FOR THE IMPROVEMENT OF POWER FACTOR

Summary

A problem of the improvement of power factor by the use of time - varying linear resistances has been elaborated. Periodical non - sinusoidal voltage and current signals were regarded.

It has been proved that the compensation of any required component of power circuit current by means of time - varying linear resistances is possible.

The two possibilities have been concerned:

1. compensation of reactive power
2. compensation of whole power except of its active component

Both possibilities have been elaborated under assumption that time - varying linear resistances cannot generate any new current harmonics. The theoretical rules of determination of the time - varying resistance functions and their control signals have been given. The experimental low-power system has been used to verify theoretic considerations.

O ZMIENNOŚCI SIŁY W DYNAMICZNYM WYPOSKIBIE KONTROLNYM

Wprowadzenie. W artykule przedstawiono teoretyczne rozważania o korekcie zakłóceń siły w dynamicznej metodzie kontrolowania siłownika z algorytmem rozkładu siły - metoda macierzywymi opóźnionych błędów czasu rzeczywistego. Pokazano, że w praktyce koniecznością jest, aby siła była kontrolowana. Wynikano na przykładzie dynamicznego układu sterowania.

1. Wstęp

Celem pracy jest przedstawienie sposobu sterowania siłownika w dynamicznej metodzie rozkładu siły - metodzie macierzywymi opóźnionych błędów czasu rzeczywistego.

$$Z(s) = Ag(s^2 + as) + A_2^* + K. \quad (1)$$

Wzrost [1] dla tej metody sterowania siłownika można wyznaczyć z równania różniczkowego pierwszego rzędu $\dot{x} + ax = b$, gdzie x - wychylenie siłownika, a - współczynnik tłumienia, b - wartość siły sterującej. Wzrost \dot{x} - wychylenie siłownika można wyznaczyć z równania różniczkowego drugiego rzędu $\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = \omega_n^2u$, gdzie ω_n - częstotliwość własna, ζ - współczynnik tłumienia, u - wartość siły sterującej. Wzrost \ddot{x} - wychylenie siłownika można wyznaczyć z równania różniczkowego trzeciego rzędu $\dddot{x} + 3\zeta\omega_n^2\dot{x} + 3\zeta\omega_n^2\dot{x} + \omega_n^3x = \omega_n^3u$, gdzie ω_n - częstotliwość własna, ζ - współczynnik tłumienia, u - wartość siły sterującej.

Jeżeli weźmie się pod uwagę dynamiczne zachowanie siłownika, to wzrost \dot{x} - wychylenie siłownika można wyznaczyć z równania różniczkowego pierwszego rzędu $\dot{x} + ax = b$, gdzie x - wychylenie siłownika, a - współczynnik tłumienia, b - wartość siły sterującej. Wzrost \ddot{x} - wychylenie siłownika można wyznaczyć z równania różniczkowego drugiego rzędu $\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = \omega_n^2u$, gdzie ω_n - częstotliwość własna, ζ - współczynnik tłumienia, u - wartość siły sterującej. Wzrost \ddot{x} - wychylenie siłownika można wyznaczyć z równania różniczkowego trzeciego rzędu $\dddot{x} + 3\zeta\omega_n^2\dot{x} + 3\zeta\omega_n^2\dot{x} + \omega_n^3x = \omega_n^3u$, gdzie ω_n - częstotliwość własna, ζ - współczynnik tłumienia, u - wartość siły sterującej.

$$W(s, A) = A^*F(s) + [1 - A^*] (ms^2 + as + A) = 0. \quad (2)$$

gdzie $0 = \text{diag} [0, \dots, 0, \dots, 0]$