

Lesław TOPÓR-KAMIŃSKI

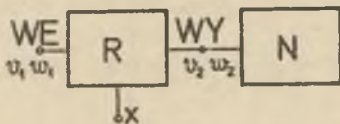
Politechnika Śląska
Instytut Podstawowych Problemów
Elektrotechniki i Energoelektroniki

UOGÓLNIONY ROTATOR STEROWANY

Streszczenie. Podano definicję uogólnionego rotatora sterowanego jako wielozaciskowego aktywnego rezystancyjnego układu parametrycznego, o parametrach sterowanych sygnałem x . Pokazano możliwość realizacji rotatora sterowanego jednoźwiartkowego przy użyciu konwerterów impedancyjnych sterowanych.

1. Wstęp

Rozpatrywany będzie wielozaciskowy obiekt rezystancyjny (rys. 1), posiadający wyjście, do którego przyłącza się element o zadanej charakterystyce nieliniowej, wejście na którym widziana jest ta charakterystyka odpowiednio przekształcona oraz zaciski sygnału sterującego x , zmieniającego własności całego układu.



Rys. 1

Wejściem i wyjściem tego układu mogą być pary zacisków lub dwie pary zacisków, i w zależności od tego nieliniowość elementu przyłączonego oraz jej przekształcenie będą krzywymi w układach współrzędnych zmiennych zaciskowych I-U, U-U lub I-I, przy ograniczeniu rozważań tylko do elementów bezinercyjnych. Jeżeli układ z rys. 1 będzie

opisywany równaniami (1)

$$\left. \begin{aligned} \psi_1 &= \psi_2 \cos \Theta(x) - k \omega_2 \sin \Theta(x) \\ \omega_1 &= k \psi_2 \sin \Theta(x) + \omega_2 \cos \Theta(x) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

gdzie:

ψ_1, ω_1 - zmienne zaciskowe wejściowe

ψ_2, ω_2 - zmienne zaciskowe wyjściowe

k - współczynnik skali zależny od obranych jednostek zmiennych zaciskowych,

to można go nazwać uogólnionym rotatorem sterowanym, czyli układem obracającym zadaną nieliniowość wokół środka układu współrzędnych o kąt $\theta(x)$, będący funkcją sygnału sterującego x . W zależności od doboru układu współrzędnych dla nieliniowości zadanej i przekształconej można wyróżnić cztery rodzaje rotatorów sterowanych, przedstawione w tabelicy 1.

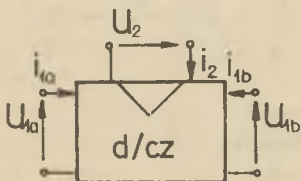
Tabelica 1

Lp.	Rodzaj rotatora	Schemat blokowy	Współrz. nieliniowości zadanej	Współrz. nieliniowości przekształ.
1	dwójnikowo-dwójnikowy		$i_2 = f_2(u_2)$ $u_2 = f_2(i_2)$	$i_1 = f_2(u_1)$ $u_1 = f_2(i_1)$
2	dwójnikowo-czwórnikowy		$i_2 = f_2(u_2)$ $u_2 = f_2(i_2)$	$u_{1b} = f_1(u_{1a})$ $i_{1b} = f_1(u_{1a})$ $u_{1b} = f_1(i_{1a})$ $i_{1b} = f_1(u_{1a})$
3	czwórnikowo-dwójnikowy		$u_{2b} = f_2(u_{2a})$ $i_{2b} = f_2(u_{2a})$ $u_{2b} = f_2(i_{2a})$ $i_{2b} = f_2(i_{2a})$	$i_1 = f_1(u_1)$ $u_1 = f_1(i_1)$
4	czwórnikowo-czwórnikowy		$u_{2b} = f_2(u_{2a})$ $i_{2b} = f_2(u_{2a})$ $u_{2b} = f_2(i_{2a})$ $i_{2b} = f_2(i_{2a})$	$u_{1b} = f_1(u_{1a})$ $i_{1b} = f_1(u_{1a})$ $u_{1b} = f_1(i_{1a})$ $i_{1b} = f_1(u_{1a})$

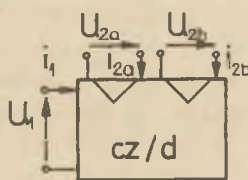
2. Bloki składowe uogólnionego rotatora sterowanego i ich realizacja

Rotatory sterowane przedstawione w tablicy 1 można zbudować z trzech bloków składowych łącząc je w odpowiedni sposób. Blokami tymi są: rotator sterowany podstawowy (dwójnikowo-dwójnikowy, tablica 1, p. 1), przetwornik transmitancji w immitancję (cz/d) oraz przetwornik immitancji w transmitancję (d/cz). Ostatnie dwa bloki przedstawione są schematycznie na rys. 2a, b. Na rys. 3 przedstawione są rotatory sterowane dwójnikowo-dwójnikowy (rys. 3a), czwórnikowo-dwójnikowy (rys. 3 b) oraz czwórnikowo-czwórnikowy (rys. 3c), zbudowane z wymienionych wyżej bloków podstawowych.

a)



b)



Rys. 2a, b

Przetworniki d/cz oraz cz/d można wykonać praktycznie jako liniowe układy aktywne z wykorzystaniem źródeł sterowanych. Na rys. 4 przedstawiony jest schemat układu przetwornika d/cz do przetwarzania nieliniowości we współrzędnych $i_2 = f(u_2)$ na nieliniowość we współrzędnych $u_{1b} = f(u_{1a})$.

Jego realizacje przy użyciu wzmacniaczy operacyjnych przedstawiono na rys. 5a (dla dwójnika nieliniowego nieuziemionego) i na rys. 5b (dla uzziemionego).

Jeżeli dany dwójnik nieliniowy (rys. 5a) opisuje zależność:

$$i_2 = G_N(u_2), \quad (2)$$

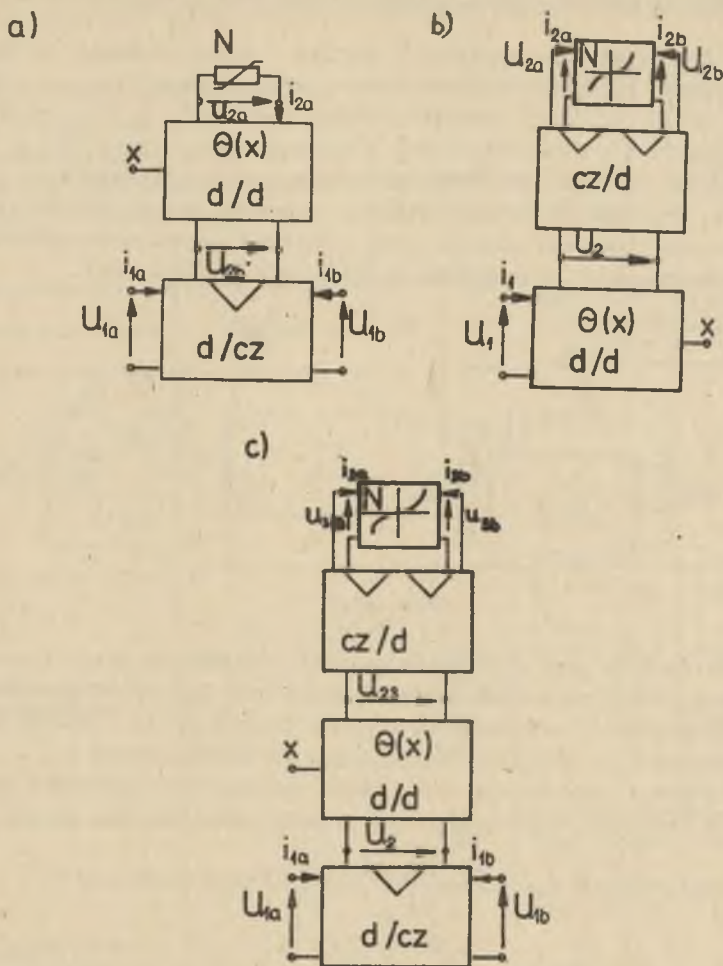
to

$$u_{1b} = -RG_M(k u_{1a}), \quad (3)$$

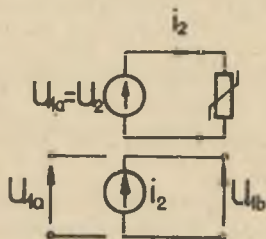
gdzie wartości R i $k = R_2/R_1$ dobiera się w zależności od przyjętej skali współrzędnych.

Schemat ideowy przetwornika cz/d i jego przykładową realizację przedstawia rys. 6.

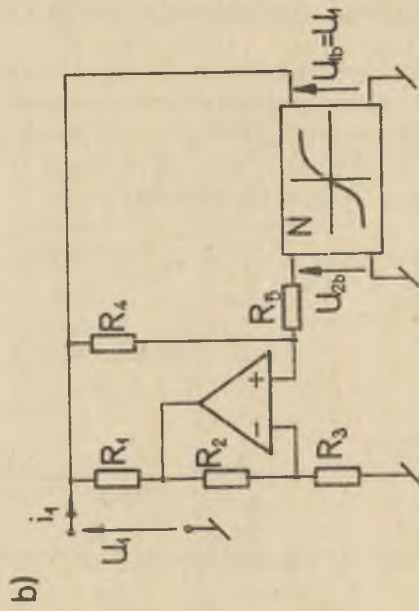
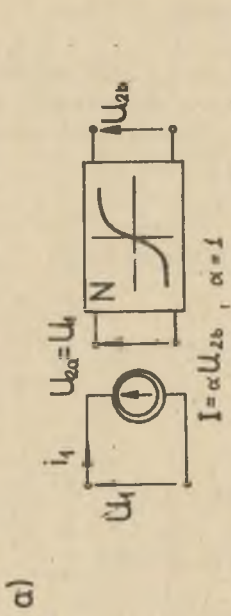
Przekształca on nieliniowość we współrzędnych $u_{2b} = f(u_{2a})$ na nieliniowość we współrzędnych $i_1 = f(u_1)$, przy założeniu $R_{wej} = \infty$ i $R_{wyj} = 0$ dla czwórnikownika nieliniowego N .



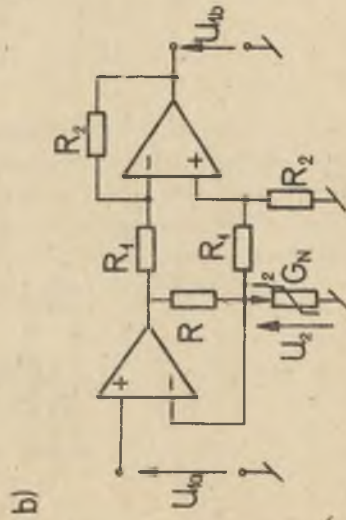
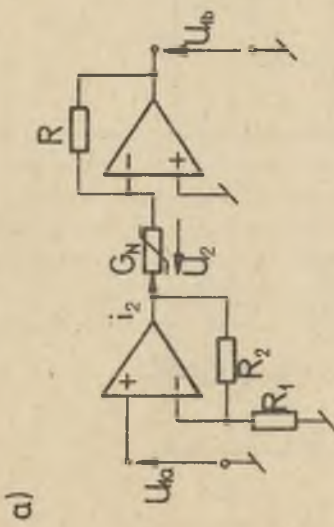
Rys. 3a, b, c



Rys. 4



Rys. 6



Rys. 5

3. Realizacja podstawowego rotatora sterowanego

Podstawowy rotator sterowany (tablica 1 p. 1) jest bezinercyjnym aktywnym czwórnikiem parametrycznym zbudowanym z rezystancji lub konduktancji sterowanych sygnałami x lub pewną jego funkcją nieliniową $f(x)$ (rys. 7a, b).

Układy te opisują równania (4):

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= u_2 \cos \theta(x) - i_2 R \sin \theta(x) \\ i_1 &= \frac{u_2}{R} \sin \theta(x) + i_2 \cos \theta(x) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

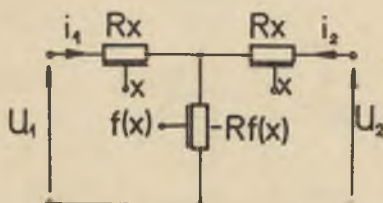
w których:

$$\theta(x) = 2 \operatorname{arctg} x, \quad (5)$$

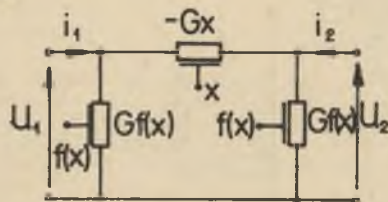
wtedy funkcja sygnału sterującego x (rys. 7) wynosi:

$$f(x) = \operatorname{cosec} (2 \operatorname{arctg} x). \quad (6)$$

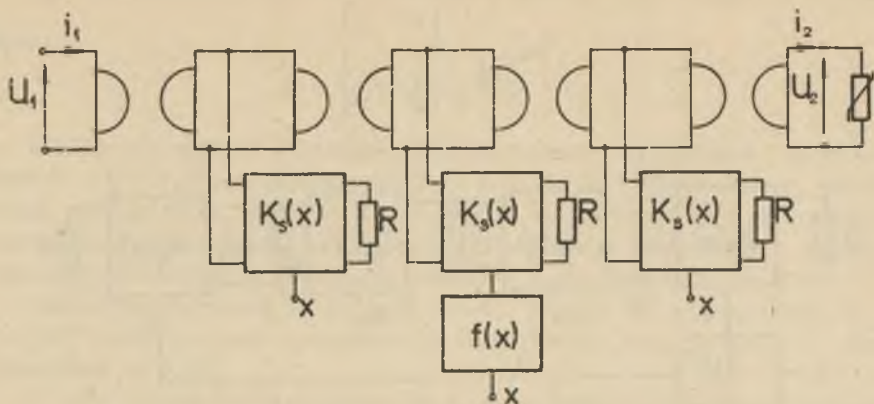
a)



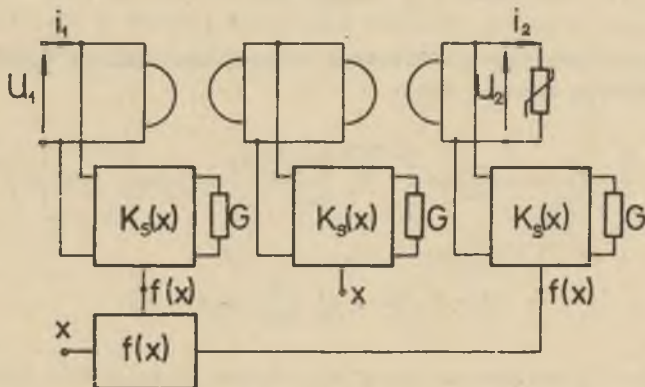
b)



Rys. 7



Rys. 8



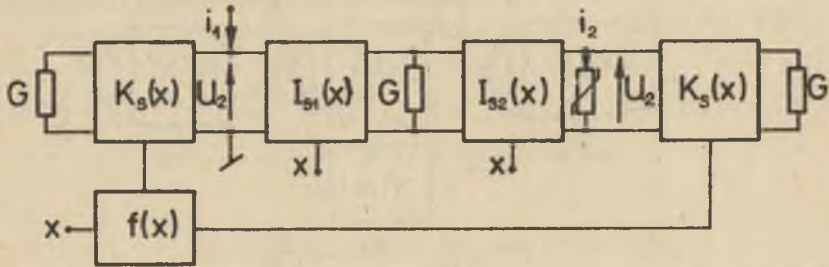
Rys. 9

W oparciu o powyższe relacje podstawowy rotator sterowany można zrealizować przy użyciu konwerterów impedancyjnych sterowanych [6], żyratorów oraz bloku nieliniowego realizującego funkcję $f(x)$. Przykładowe realizacje układów z rys. 7a, b przedstawiono odpowiednio na rys. 8 i rys. 9.

Na rysunku 10 przedstawiona jest wersja rotatora sterowanego, w której w miejsce żyratorów zastosowano inwerty impedancyjne sterowane, posiadające macierze łańcuchowe (7) i (8)

$$[A]_{I_{S1}} = \begin{bmatrix} 0 & r \\ \frac{1}{X} & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$[A]_{I_{B2}} = \begin{bmatrix} 0 & x \\ \frac{1}{x} & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$



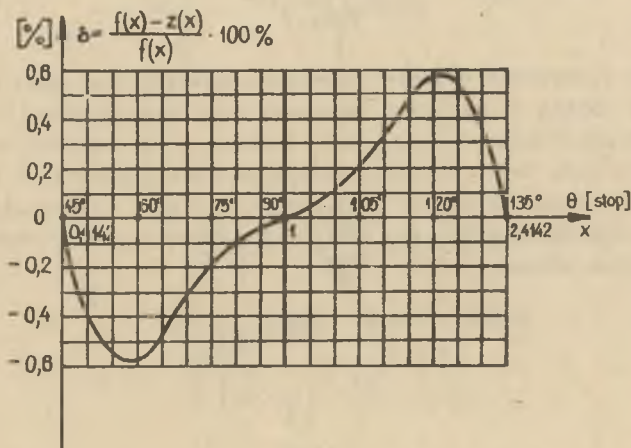
Rys. 10

W wykonaniu praktycznym rotatora sterowanego funkcję $f(x)$ można przybliżyć funkcją złożoną $Z(x)$:

$$Z = f_1[f_2(x)], \quad (9)$$

gdzie:

$$Z = f_1(y) = a_1 y^2 + b_1 y + c_1 \quad (10)$$



Rys. 11

oraz:

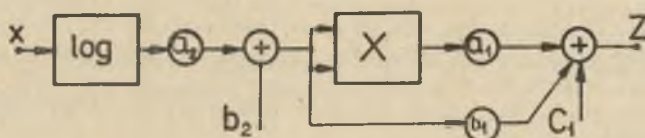
$$y = f_2(x) = a_2 \log x + b_2. \quad (11)$$

Realizując rotator sterowany jednoówiartkowy o zakresie zmian kąta obrotu $\Delta\Theta = 0,5$ rad w granicach $0,25 \leq \Theta \leq 0,75$ uzyskuje się aproksymację funkcji $f(x)$, funkcją $Z(x)$ z błędem nie większym od 0,6%, przy zmianach sygnału sterującego x w granicach 0,4142+2,4142 (rys. 11) oraz przy założeniu dokładnej aproksymacji dla $\Theta = 0,25; 0,5; 0,75$ rad π .

Ograniczając zakres zmian kąta obrotu $\Delta\Theta$ do 60° w granicach od 60° do 120° można osiągnąć aproksymację funkcji $f(x)$ funkcją $Z(x)$ z błędem mniejszym od 0,1%.

W celu dalszego zmniejszenia błędu aproksymacji należałoby zastosować bardziej złożoną funkcję aproksymującą, realizowaną przy użyciu większej ilości układów mnożących metodami podanymi w literaturze [7].

Układ realizujący funkcję $Z(x)$ można zbudować z bloków funkcyjnych logarytmującego, mnożącego, sumującego i mnożących przez stałą (rys. 12).



Rys. 12

Dla rotatora sterowanego jednoówiartkowego współczynniki funkcji aproksymującej $Z(x)$ należy dobrać o następujących wartościach:

$$a_1 = 6,6272 \pi^{-2}; \quad b_1 = -6,6272 \pi^{-1}; \quad c_1 = 2,6568$$

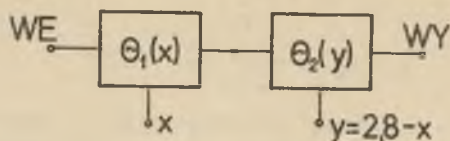
$$a_2 = 0,6531 \pi; \quad b_2 = 0,5 \pi.$$

4. Uwagi końcowe

Uogólniony rotator sterowany jest przykładem aktywnego rezystancyjnego wielozaciskowego układu parametrycznego o parametrach sterowanych sygnałem x .

Przedstawiony model rotatora jednoówiartkowego pozwala, poprzez odpowiednie połączenia większej ich ilości, uzyskiwać układy dwu- lub czteroówiartkowe.

Na rysunku 13 pokazany jest układ rotatora sterowanego dwuówiartkowego ($-0,5 \leq \Theta \leq 0,5$ dla $0,4142 < x < 2,4142$), przy czym zmiana kąta Θ w funkcji sygnału sterującego jest zbliżona do liniowej.



Rys. 13

LITERATURA

- [1] Chua L.O.: The Rotator - A New Network Component Proceedings IEEE, September 1967.
- [2] Glower J.: Realisations of stable orthogonal networks (rotators and reflectors) with operational amplifiers. Electronics Letters, August 1975.
- [3] Nenov G.A.: Rotator and reflector for transfer functions. Electronics Letters, April 1976.
- [4] Huertas J., Acha J., Gago A.: New Rotator and Reflector Circuits. Proceedings IEEE, June 1977.
- [5] Topór-Kamiński L.: Analogowy układ mnożący jako element teorii obwodów. Zesz. Nauk. Polit. Śląskiej. Elektryka, Nr 54, 1976.
- [6] Topór-Kamiński L.: Konwertyor impedancyjny sterowany. Zesz. Nauk. Polit. Śląskiej. Elektryka 60, 1978.
- [7] Sheingold D.H.: Nonlinear circuits handbook. Published by Analog Devices. Nnc. 1976.
- [8] Cichocki A., Filipowicz S., Osowski S.: Unified active structure for an arbitrary 2-port network realisation. Electronics Letters, May 1977.
- [9] Cichocki A., Filipowicz S., Osowski S.: Realizacja rotatora i reflektora przy użyciu wzmacniaczy operacyjnych. P.A.K. Nr 2. 1978.

ОБОБЩЕННЫЙ УПРАВЛЯЕМЫЙ РОТАТОР

Резюме

Дано определение обобщенного управляемого ротатора как активного резистивного параметрического устройства с многими выводами, с параметрами управляемыми сигналом x . Указана возможность осуществления управляемого одночетвертного ротатора с применением управляемых импедансных конвертеров.

A GENERALISED CONTROLLED ROTATOR

Summary

A definition has been given of a generalised controlled rotator as a multipole active resistive time-varying system, which parameters are controlled by the signal x .

A constructional possibility of a one-quadrant controlled rotator has been presented by the use of controlled impedance converters.