

ADAM BŁASZKOWSKI
Katedra Elektroniki

WŁASNOŚCI I ZASTOSOWANIE WYBRANYCH TYPÓW PRZETWORNIKÓW IMPEDANCJI

Streszczenie. W artykule omówiono podstawowe własności dwu typów przetworników impedancji: konwertora i inwertora. Podano schematy zastępcze konwertora ujemnej impedancji o inwersji prądowej i napięciowej oraz przykłady zastosowania konwertora w syntezie obwodów elektrycznych, telekomunikacji i w układzie generacyjnym. Podano rozszerzoną definicję giratora oraz przykład jego zastosowania jako elementu filtra ozywnego.

Na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat znacznie rozwinęło się zainteresowanie czynnymi przetwornikami impedancji. Związane jest to z postępem teorii obwodów elektrycznych, a także z wprowadzeniem nowych technologii do produkcji układów elektronicznych.

Dla dalszych rozważań zdefiniujemy uogólniony przetwornik impedancji jako ozwórnik, w którym wykorzystujemy tę jego właściwość, że jeżeli do jednej pary jego zacisków przyłączymy impedancję \hat{Z}_2 , to pozostała para zacisków będzie przedstawiać impedancję \hat{Z}_1 , gdzie [1,2]

$$\hat{Z}_1 = f(\hat{Z}_2) \quad (1)$$

Funkcję f nazywamy funkcją przetwarzania. W dalszym ciągu będziemy zakładać liniowość ozwrnika przekształcającego oraz jego obciążenia. W najogólniejszym przypadku ozwórnik ten jest ozwrnikiem czynnym. Dla ozwrnika liniowego (rys. 1) mamy:

$$\hat{U}_1 = \hat{a}_{11}\hat{U}_2 + \hat{a}_{12}\hat{I}_2 \quad (2)$$

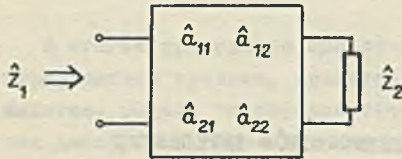
$$\hat{I}_1 = \hat{a}_{21}\hat{U}_2 + \hat{a}_{22}\hat{I}_2$$

Stąd:

$$\hat{Z}_1 = \frac{\hat{U}_1}{\hat{I}_1} = \frac{\hat{a}_{11}\hat{Z}_2 + \hat{a}_{12}}{\hat{a}_{21}\hat{Z}_2 + \hat{a}_{22}} = f(\hat{Z}_2) \quad (3)$$

gdzie $\hat{Z}_2 = \frac{\hat{U}_2}{\hat{I}_2}$.

Widać z powyższego, że jeżeli $\det A \neq 0$, funkcja przetwarzania jest funkcją homograficzną.



Rys. 1

Wskazany wydaje się wyodrębnienie dwóch przypadków szczególnych. Pierwszy z nich ma miejsce, gdy

$$\hat{a}_{12} = \hat{a}_{21} = 0 \quad 1 \quad (4)$$

$$\frac{\hat{a}_{11}}{\hat{a}_{22}} = \hat{\kappa} = \left| \frac{\hat{a}_{11}}{\hat{a}_{22}} \right| e^{j(\varphi_{11} - \varphi_{22})}$$

Wówczas:

$$\hat{Z}_1 = \hat{\kappa} \hat{Z}_2 \quad (5)$$

i przypadek ten nazwiemy konwersją impedancji [1]. Największe dotychczas znaczenie praktyczne ma konwersja impedancji ze współczynnikiem

$$\hat{\kappa} = \kappa = -k \quad (6)$$

gdzie k jest liczbą rzeczywistą większą od zera. Przypadek ten nazwiemy konwertorem ujemnej impedancji i oznaczać będziemy skrótem KUI (por. ang. NIC, niem. NIK, ros. OUK) [3, 4, 5, 6, 7].

Drugi przypadek szczególny, to:

$$\hat{a}_{11} = \hat{a}_{22} = 0 \quad 1 \quad (7)$$

$$\frac{\hat{a}_{12}}{\hat{a}_{21}} = \hat{\rho}^2 = \left| \frac{a_{12}}{a_{21}} \right| e^{j(\varphi_{12} - \varphi_{21})}$$

Wówczas

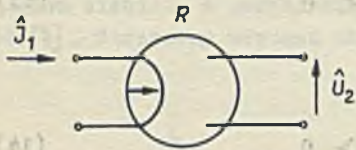
$$\hat{Z}_1 = \frac{\hat{\rho}^2}{\hat{Z}_2} \quad (8)$$

i przypadek ten nazwiemy inwersją impedancji. Wśród różnych możliwych inwertorów impedancji najciekawszym przypadkiem jest idealny girator, którego współczynnik inwersji ρ jest liczbą rzeczywistą. Warto zauważyć, iż girator jest najprostszym inwertorem impedancji, a każdy inny typ inwertora może być rozważany jako połączenie giratora z konwerterem impedancji.

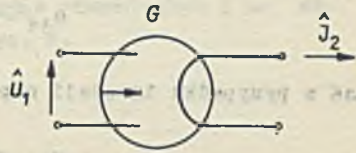
Dla bardziej szczegółowego rozważania własności interesujących nas przetworników impedancji, wprowadzimy za [8] pojęcie idealnych elementów czynnych o następujących właściwościach:

1. przetwornik prąd - napięcie, oznaczany symbolem pokazanym na rys. 2 i opisany równaniem

$$U_2 = RI_1 \quad (9)$$



Rys. 2

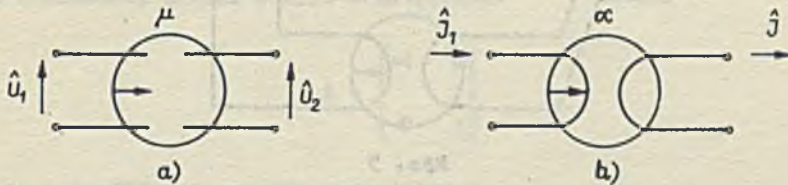


Rys. 3

2. przetwornik napięcie - prąd, oznaczany symbolem pokazanym na rys. 3 i opisany równaniem

$$I_2 = GU_1 \quad (10)$$

Oczywistym jest, iż kaskadowe połączenie omawianych przetworników prowadzi do otrzymania idealnego wzmacniacza napięciowego, lub jego dualnego odpowiednika - idealnego wzmacniacza prądowego [9]. Oba te elementy oznaczymy symbolami podanymi na rys. 4.



Rys. 4. Idealny wzmacniacz napięciowy (a) i prądowy (b)

Konwertor ujemnej impedancji

Konwertorem ujemnej impedancji nazwiemy oszornik czynny, którego impedancja wejściowa jest proporcjonalna do impedancji obciążenia wziętej z odwrotnym znakiem:

$$Z_1 = -kZ_2 \quad (11)$$

Macierz łańcuchowa idealnego KUI ma postać

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \pm 1 & 0 \\ 0 & \mp 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

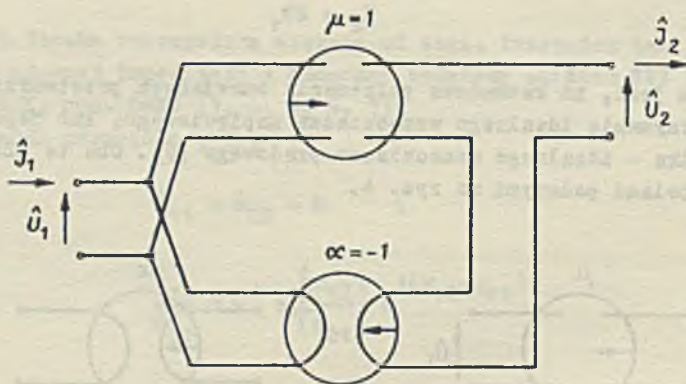
gdzie wybór znaku zależy od tego, czy układ dokonuje inwersji prądu, czy napięcia. W przypadku inwersji prądu mamy:

$$a_{11} > 0 \quad 1 \quad a_{22} < 0 \quad (13)$$

zaś w przypadku inwersji napięcia:

$$a_{11} < 0 \quad 1 \quad a_{22} > 0 \quad (14)$$

Nieidealnym KUI nazwiemy taki, którego współczynnik konwersji $k \neq 1$. Rozważmy układ przedstawiony na rys. 5.



Rys. 5

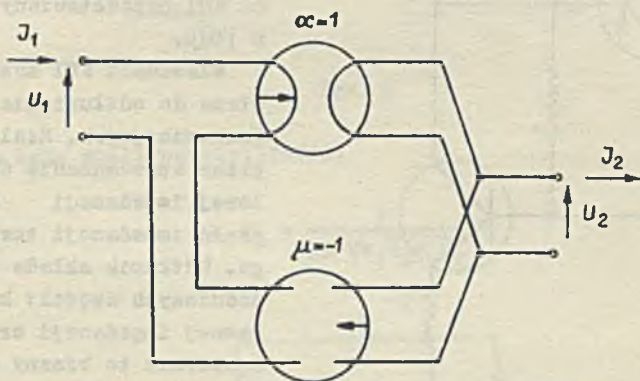
Ponieważ oba elementy czynne zostały połączone równolegle - szeregowo, wygodnie jest opisać je równaniem:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} U_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Przechodząc do macierzy łańcuchowej, otrzymamy:

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (16)$$

czyli rozważany układ jest idealnym KUI o inwersji prądowej. Jego dualnym odpowiednikiem jest KUI o inwersji napięciowej, którego schemat możemy otrzymać z rys. 5, zamieniając miejscami jego elementy czynne (dualne względem siebie), a połączenie szeregowe zastępując równoległym i na odwrót [9]. Otrzymamy wówczas układ pokazany na rys. 6.



Rys. 6

Macierz łańcuchowa układu z rys. 6 ma postać:

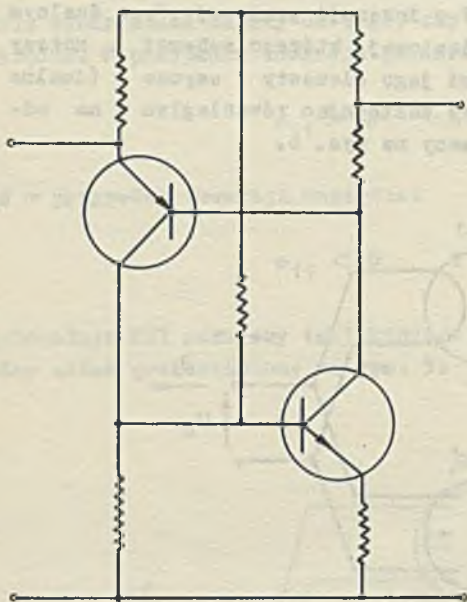
$$\Lambda = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

a więc jest to KUI o inwersji napięciowej.

Konwertory ujemnej impedancji mogą znaleźć praktyczne zastosowanie przy syntezie zadanych funkcji przejścia, jako elementy składowe filtrów czynnych, odcłumików oraz układów generacyjnych.

Zastosowanie KUI w układzie filtra czynnego pozwala na uzyskanie układu o względnie małej liczbie elementów i o charakterystykach zgodnych z zadanymi [10]. Głównym problemem przy realizacji czynnych układów RC jest zależność ich funkcji przejścia od odchyłek parametrów tak czynnych, jak i biernych elementów układu, od wartości zadanych. Dlatego też konwertor

użyty jako element czynny filtru musi odznaczać się dużą stałością współczynnika konwersji przy zmianach temperatury i napięcia zasilającego. Jedno z najlepszych rozwiązań konwerterów zbudowane z dwu tranzystorów warstwowych [11] przedstawia rys. 7.



Rys. 7

Jest to konwerter o inwersji prądowej i współczynnika konwersji $k = 1$. Zmiana napięcia zasilania o $\pm 20\%$ powoduje zmianę k o $\pm 2\%$, a zmiana temperatury otoczenia od $+293^{\circ}\text{K}$ do $+323^{\circ}\text{K}$ powoduje osławkową zmianę k o 2% [12]. Filtr z elementem czynnym w postaci KUI przedstawiony jest na rys. 8 [10].

Własności KUI zostały wykorzystane do odtłumiania torów teletransmisyjnych. Realizuje się to przez wprowadzenie do toru zespolonej impedancji kompensującej część impedancji toru przesyłowego. Odtłumik składa się z dwu zasadniczych części: konwertera ujemnej impedancji oraz odcownika. Odcownik to bierny dwójnik RLC, za pomocą którego możemy wpływać na wielkość impedancji wtrąconej



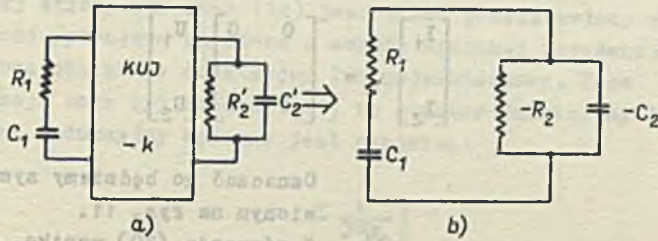
Rys. 8

do toru. Praktyczne wykonania odtłumików składają się przeważnie z dwu konwerterów, z których jeden włączony jest szeregowo, a drugi równolegle do toru. Układ taki bywa nazywany odtłumikiem odcownikowym. Możliwe jest także połączenie obu odtłumików w układzie mostkowym (odtłumik tranzystorowy ON-1 produkcji krajowej). W odtłumikach tego typu odrębnym problemem jest stabilność obu konwerterów.

Istnieje również możliwość zastosowania KUI w układzie generatora RC napięcia sinusoidalnego [13].

Schemat takiego generatora zaproponowany w [13] przedstawia rys. 9. Zgodnie z liniową teorią drgań w układzie z rys. 9b będą istnieć niegasnące oscylacje sinusoidalne, jeżeli spełniony zostanie warunek:

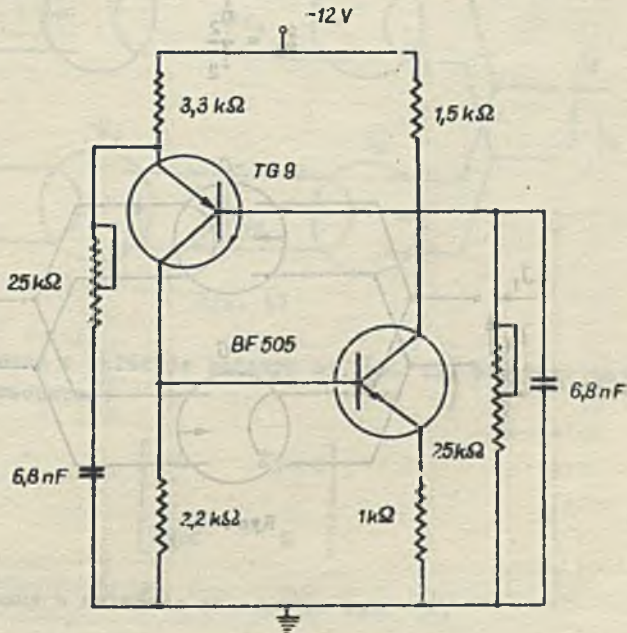
$$\frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} = 1 \quad (18)$$



Rys. 9

Drgania te będą miały częstotliwość:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (19)$$



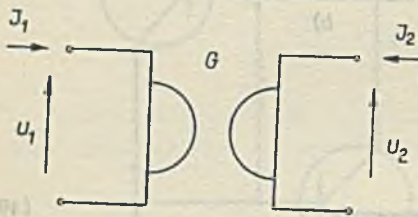
Rys. 10

Przykład praktycznego rozwiązania generatora opartego o KUI z rys. 7, o częstotliwości drgań $f_0 = 2$ kHz, wykonany przez autora, przedstawia [14] rys. 10.

Girator

Idealny girator jest czwórnikiem opisanym równaniem:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & G \\ -G & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} \quad (20)$$



Rys. 11

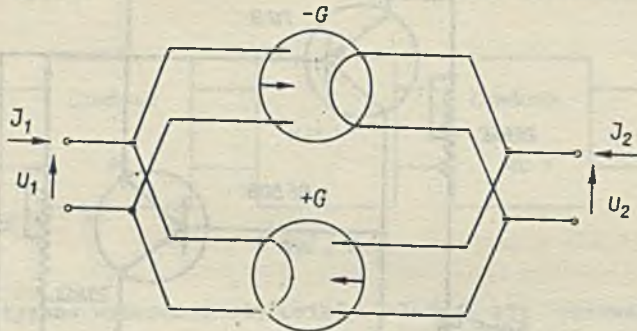
Oznaczać go będziemy symbolem przedstawionym na rys. 11.

Z równania (20) wynika, że

$$\hat{Z}_1 = \frac{\hat{U}_1}{\hat{I}_1} = \frac{R^2}{\hat{Z}_2} \quad (21)$$

gdzie: $R = \frac{1}{G}$ - rezystancja giracji

$$\hat{Z}_2 = \frac{\hat{U}_2}{\hat{I}_2}$$



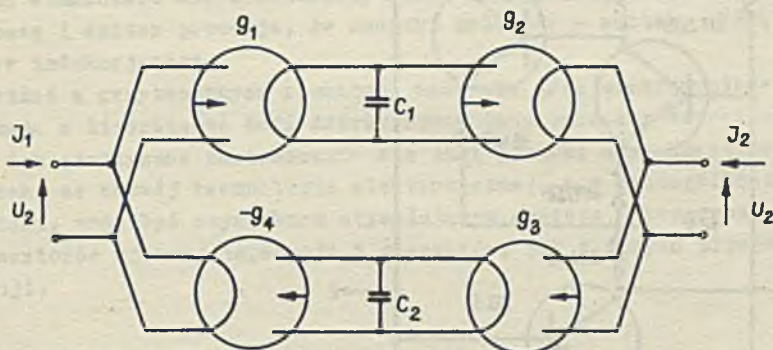
Rys. 12

Idealny girator posiada więc własność odwracania impedancji. Dla analizy własności giratora wygodnie jest przedstawić macierz (20) jako sumę dwu macierzy:

$$\begin{bmatrix} 0 & G \\ -G & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -G & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & G \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (22)$$

Realizacją prawej strony równania (22) jest układ przedstawiony na rys.12. Istnieje możliwość wykonania giratora o czysto urojonej impedancji giracji. Może mieć ona charakter indukcyjny lub pojemnościowy. Tego rodzaju inwertor impedancji może być uważany [15] za girator indukcyjny lub pojemnościowy. Girator indukcyjny opisany jest macierzą:

$$\begin{bmatrix} 0 & \pm \frac{1}{j\omega L_a} \\ \mp \frac{1}{j\omega L_b} & 0 \end{bmatrix} \quad (23)$$

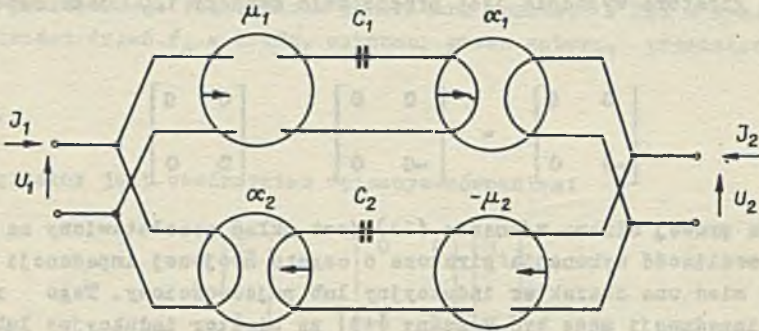


Rys. 13

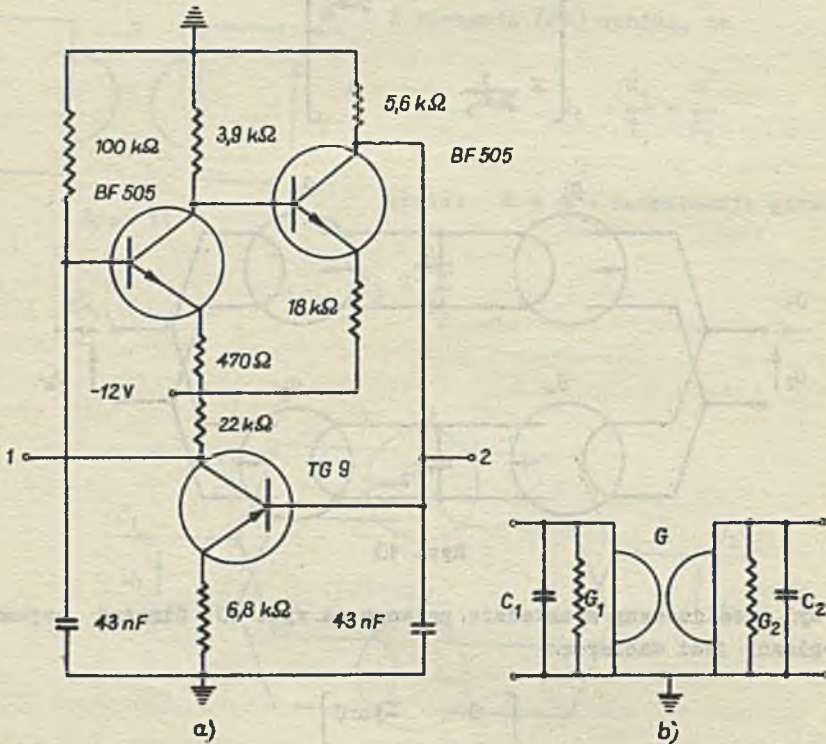
i może być zrealizowany w układzie podanym na rys. 13. Girator pojemnościowy opisany jest macierzą:

$$\begin{bmatrix} 0 & \pm j\omega C \\ \mp j\omega C & 0 \end{bmatrix} \quad (24)$$

i może być zrealizowany w układzie podanym na rys. 14.



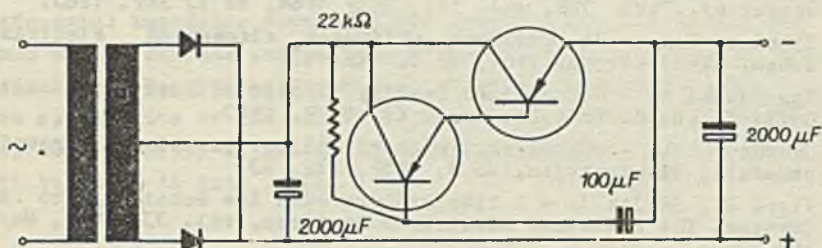
Rys. 14



Rys. 15

Dzięki swym własnościom giratory mogą być wykorzystane w układach filtrujących, a także generacyjnych, czy też jako element wzmacniacza selektywnego. Najpowszechniejszym zastosowaniem jest wykorzystanie giratora jako elementu filtra osynnego. Praktyczny układ filtra dolnoprzepustowego o

$f_{gr} = 1$ kHz i nachyleniu 40 dB/dekadę, wykonany przez autora oraz jego schemat ideowy przedstawia rys. 15. Użyty girator odbiega znacznie swymi własnościami od idealnego, odznacza się jednak bardzo prostą budową i małą ilością elementów [14].



Rys. 16

Innym zastosowaniem układu o własnościach giratora jest zasilacz sieciowy PZ-3 firmy Sinclair Radionios Ltd, pokazany na rys. 16. Układ Darlingtontona jest tu wzmacniaozem odwracającym fazę, zaś rezystor 22 k można uważać za wzmacniaoz nie odwracający fazy. Przyłączenie pojemności 100 μ F między bazę i emiter powoduje, że zaciski kolektor - emiter będą miały oharakter indukcyjności.

Jak widać z przytoczonych rozważań, omawiane typy przetworników impedancji mają w literaturze dość dobrze opracowane podstawy teoretyczne, natomiast ich praktyczne zastosowanie nie jest jeszcze zbyt szerokie. Wydaje się jednak, że rozwój technologii elektronicznej, a w szczególności mikroelektroniki, może być czynnikiem stymulującym szersze rozpowszechnienie tak konwertorów ujemnej impedancji i giratorów, jak i innych przetworników impedancji.

Rękopis złożono w Redakcji w dniu 21.I.1970 r.

LITERATURA

- [1] Cirelson D.A. - K teorii aktywnych preobrazowatelej impedansa, Elektrosvjaz, 1964, No 6, str. 67.
- [2] Butler F. - Active Impedance Converters, Wireless World, December 1965 str. 600
- [3] Merrill J.L. - Theory of the Negative Impedance Converter, BSTJ, vol. III, January 1951, No 1 str. 88
- [4] Linvill J.G. - Transistor Negative-Impedance Converters, Proc. IRE, vol 41, June 1953, str. 725

- [5] Bitzner W. - Ueber Negativ-Impedanz-Konverter, Bull. des Schweiz. Elektr. Verein, 1965, No 10, str. 373.
- [6] Kurkin J.L., Sokolov A.A. - Otrioatelnyj impedansnyj konvertor na poluprovodnikowych trjadach, Elektricesstvo, No 9, 1959, str. 66.
- [7] Drew A.J., Gorski-Popiel J. - Directly coupled negative-impedance convertor, Proc. IEE, vol. 111, July 1964, No 7, str. 1283.
- [8] Cirelson D.A. - Ob idealnych aktivnyh elementach elektriceskich schem, Elektrosvjaz, 1961, No. 8, str. 47.
- [9] Zagajewski T. - Generalized Duality Concept of Electrical Networks, Bull. de l'Acad. Pol. Sc., vol. XI, Nr 9, 1963.
- [10] Chazanov G.L. - Sintez aktivnyh RC filtrov po zadannoj provodimosti peredači, Elektrosvjaz, No 3, 1959, str. 63.
- [11] Vlach J., Bendik J. - Active Filters with Low Sensivity to Element Changes, The Radio and Electronic Engineer, vol. 33, No 5, May 1967, str. 305.
- [12] Yanagisawa T. - RC active networks using current-inversion type NIC, Trans. IRE, CT 4, September 1957, str. 140.
- [13] Passupathy S. - A Transistor RC Oscillator Using Negative Impedances, Electronic Engin., No 466, str. 808.
- [14] Błaszowski A. - Praca dyplomowa przedstawiona na Wydziale Automatyki Pol. Śląskiej, 1968.
- [15] Białko M. - Realisations of Inductive and Capacitive Gytrators, IEEE Trans. on Circuit Theory, June 1968, str. 158.

СВОЙСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ИМПЕДАНСА

Резюме

В статье рассмотрены главные свойства двух типов преобразователей импеданса: конвертора и инвертора. Представлены эквивалентные схемы отрицательного импедансного конвертора с инверсией тока и напряжения и примерь использовании конвертора в синтезе электрических схем, схеме электросвязи и схеме генератора. Представлено расширенное определение гириатора и пример его использования в качестве элемента фильтра.

THE PROPERTIES AND APPLICATION OF THE CHOSEN TYPES OF THE ACTIVE IMPEDANCE TRANSFORMERS

S u m m a r y

In this paper the properties of the two fundamental types of impedance transformers: impedance converter and inverter are discussed. The block diagram of the current and voltage inversion type impedance converters are given and also the enlarged definition of the gyrator. The examples of the application of the active impedance transformers in telecommunications, in the theory of generation and the system of the active filter are to be found in this paper.