

Lesław TOPÓR-KAMIŃSKI  
Marian PASKO

## UOGÓLNIONY CZTEROZACISKOWY NULLOR NIEUZIEMIENIONY

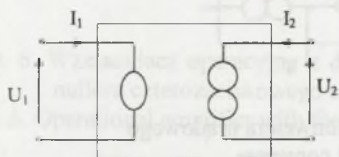
**Streszczenie.** Przedstawiono koncepcję czterozaciskowego nullora nieuziemionego oraz jego realizacje praktyczne. Na bazie uogólnionego nullatora i uogólnionego noratora stworzono koncepcję uogólnionego czterozaciskowego nullora nieuziemionego. Przedstawiono metody jego realizacji w układzie z lustrzanym wzmacniaczem operacyjnym lub z konwejerami prądowymi. Pokazano przykład zastosowania nullora uogólnionego w prostym obwodzie aktywnym do kształtowania jego impedancji wejściowej.

## GENERALIZED FOUR-TERMINAL FLOATING NULLOR

**Summary.** The concept of a four-terminal floating nullor and its practical realisation have been presented. Basing on the generalised nullator and norator, the conception of the generalised four-terminal floating nullor has been arranged. The methods of its realisation using an operational mirrored amplifier or current conveyors have been presented. The example of an active circuit for shaping input impedances has been shown.

### 1. WPROWADZENIE

Nullor jest idealnym obwodem aktywnym złożonym z nierozzerwalnie związanej pary elementów osobliwych typu nullator i norator (rys. 1).

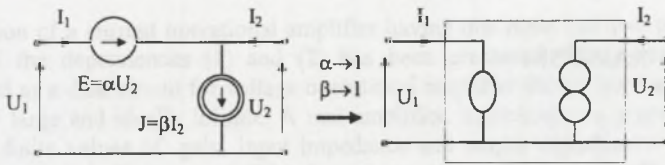


Rys. 1. Symbol graficzny nullora  
Fig. 1. Graphical symbol of nullor

Po raz pierwszy został opisany w pracach Carlina [1], a także Martiniego [2], gdzie podano też jego obwód zastępczy z zastosowaniem żyrotora lub cyrkulatora. Przy założeniu, że nullator i norator są dwójnikami, nullor można uważać za czwórnik opisany zerową macierzą łańcuchową:

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

Jego modele fizyczne można zatem uzyskać przez graniczne zmierzenie parametrów ich macierzy łańcuchowej do wartości zerowych. Przykładem modelu fizycznego nullora jest układ zawierający źródła sterowane, pokazany na rys. 2.



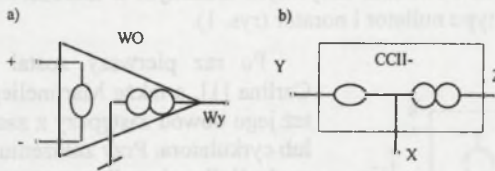
Rys. 2. Obwód zastępczy nullora trójnikowego zawierający źródła sterowane  
Fig. 2. Equivalent circuit of three-terminal nullor containing controlled sources

Opisuje go macierz łańcuchowa:

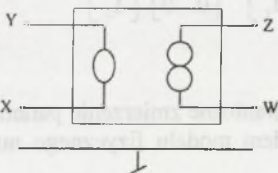
$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-\alpha & 0 \\ 0 & \beta-1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Jeżeli wzmocnienia źródeł sterowanych  $\alpha$  i  $\beta$  będą zmierzać do jedności, to właściwości układu zbliżać się będą do właściwości idealnego nullora trójnikowego. Efektu tego nie można uzyskać dla pojedynczych elementów osobliwych typu nullator lub norator, co uzasadniono w pracy [3].

Realizowalność fizyczna nullora spowodowała, że stał się on blokiem składowym modeli układów aktywnych, zawierających źródła sterowane, jak i praktycznych wzmacniaczy elektronicznych wszelkich typów, począwszy od tranzystora bipolarnego, poprzez wzmacniacze operacyjne klasyczne, transkonduktancyjne i transrezystancyjne, do coraz popularniejszych konwejerów prądowych i wzmacniaczy ze sprzężeniem prądowym. W modelach tych nullor występuje w różnych konfiguracjach połączeń jego zacisków, zarówno w stosunku do siebie, jak i do punktu odniesienia o potencjale zerowym. Przykładowo, w modelu wzmacniacza operacyjnego jeden zacisk noratora jest zawsze uziemiony (rys. 3a), a w modelu konwejera prądowego nullator i norator mają zawsze zacisk wspólny (rys. 3b).



Rys. 3. Nullorowe modele wzmacniacza operacyjnego i konwejera prądowego  
Fig. 3. Nullor models of operational amplifier and current conveyor

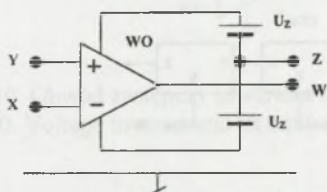


Rys. 4. Czterozaciskowy nullor nieziemiony  
Fig. 4. Four-terminal floating nullor

W tej sytuacji najbardziej uniwersalnym układem nullora jest jego wersja o czterech zaciskach swobodnych, który niekoniecznie musi być traktowany jako czwórnik (rys. 4). Zwany on jest wtedy czterozaciskowym nullorem nieziemionym o zaciskach oznaczonych Y, X oraz W i Z.

## 2. REALIZACJE FIZYCZNE CZTEROZACISKOWEGO NULLORA NIEUZIEMIIONEGO

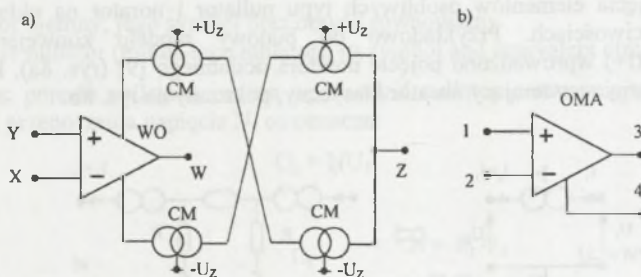
Najprostszą jego reprezentacją fizyczną jest wzmacniacz operacyjny z nieuziemiionym zasilaniem (rys. 5) [4]. Wersja ta w oczywisty sposób nie może być stosowana w złożonych układach elektronicznych z jednym wspólnym źródłem zasilania.



Rys. 5. Wzmacniacz operacyjny z nieuziemiionym zasilaniem jako czterozaciskowy nullor nieuziemiiony

Fig. 5. Operational amplifier with the floating power supply as a FTFN

Rozwiązanie tego problemu uzyskano przez zastosowanie dwóch par luster prądowych (CM - current mirror), przenoszących prąd zacisków źródeł zasilania wzmacniacza operacyjnego na jeden wspólny zacisk wyjściowy Z, niezależny od punktu odniesienia [5] (rys. 6). Układ taki znany jest także w literaturze jako lustrzany wzmacniacz operacyjny [6] (OMA - operational mirrored amplifier) i oznaczany symbolem pokazanych na rys. 6b.

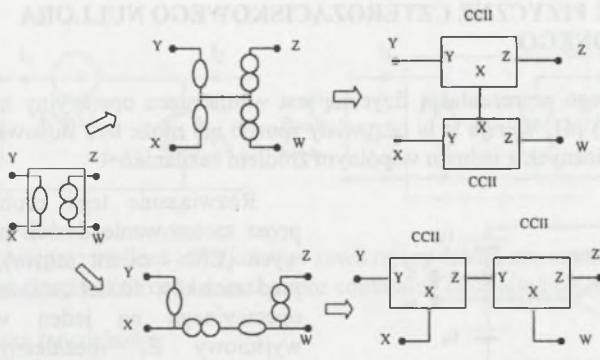


Rys. 6. Wzmacniacz operacyjny z dwoma lustrami prądowymi jako model nieuziemiionego nullora czterozaciskowego o wspólnym z innymi układami źródle zasilania

Fig. 6. Operational amplifier with the two supply-current mirrors as a model of FTFN

Prawidłowa praca takiego układu wymaga zastosowania, do konstrukcji luster prądowych, tranzystorów (złączowych lub polowych) o identycznych parametrach, co jest trudne do spełnienia dla układów jednostkowych, budowanych z elementów dyskretnych. Rozwiązanie takie wymaga budowy nullora w postaci układu scalonego. Wprowadzenie do praktycznych zastosowań konwejerów prądowych w postaci firmowych układów scalonych (np. AD 844 lub OPA 660) umożliwiło łatwą budowę czterozaciskowego nullora nieuziemiionego [7] bez potrzeby doboru elementów o jednakowych parametrach. W modelach tych wykorzystuje się pewne znane właściwości połączeń elementów osobliwych, umożliwiających transfigurację nullora do postaci realizowalnych za pomocą konwejerów prądowych, opisanych modelem pokazanym na rys. 3b. Na rys. 7 pokazano dwie takie możliwości. Realizacje te znane są także jako operacyjne konwejerki nieuziemiione [8].



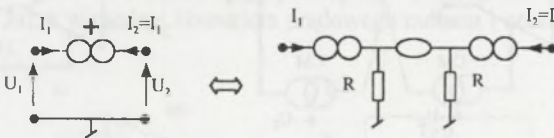


Rys. 7. Przykłady realizacji czterozaciskowych nullorów nieziemionych z zastosowaniem konwejerów prądowych

Fig. 7. The examples of four-terminal floating nullor realisation using current conveyors

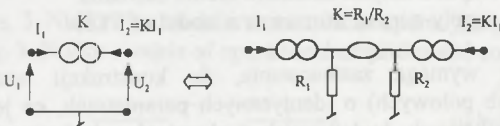
### 3. UOGÓLNIONE ELEMENTY OSOBLIWE

Wraz z pojawieniem się złożonych wzmacniaczy elektronicznych wystąpiła potrzeba rozszerzenia pojęcia elementów osobliwych typu nullator i norator na układy o bardziej ogólnych właściwościach. Przykładowo do budowy modelu konwejera prądowego dodatniego (CCII+) wprowadzono pojęcie noratora dodatniego [9] (rys. 8a), który ma swój obwód równoważny, zawierający norator klasyczny, pokazany na rys. 8b.



Rys. 8. Norator dodatni: symbol i obwód równoważny

Fig. 8. Plus-type norator, its symbol and equivalent circuit



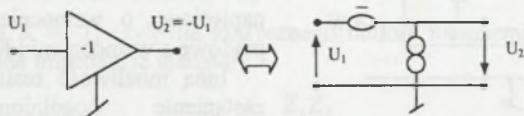
Rys. 9. Norator uogólniony o współczynniku przenoszenia prądu  $K = R_1/R_2$ , jego symbol i obwód równoważny

Fig. 9. Generalised norator with the current transfer ratio  $K = R_1/R_2$ , its symbol and equivalent circuit

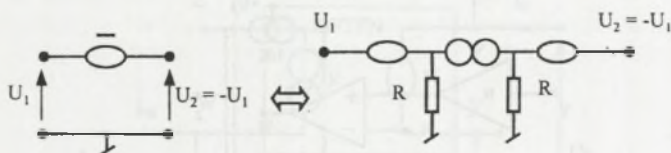
Opisują go zależności  $I_2 = I_1$  oraz  $U_1$  i  $U_2$  dowolne, przy ostrzałkowaniu prądów pokazanym na rys. 8. Uogólniając pojęcie noratora można wprowadzić norator „wzmacniający” o współczynniku przenoszenia prądu  $K$  (rys. 9), co oznacza:

$$I_2 = KI_1. \quad (3)$$

Podobnie dla utworzenia obwodu zastępczego inwertora napięcia realizującego zależność  $U_2 = -U_1$  (rys. 10) przydatne jest pojęcie nullatora ujemnego [10]. Może być on reprezentowany przez swój obwód równoważny pokazany na rys. 11.



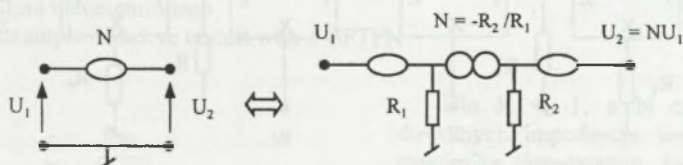
Rys. 10. Obwód zastępczy inwertora napięcia, zawierający nullator ujemny  
Fig. 10. Voltage inverter and its equivalent circuit containing negative nullator



Rys. 11. Nullator ujemny, jego symbol oraz obwód równoważny  
Fig. 11. Negative nullator (minus-type nullator), its symbol and equivalent circuit

Uogólniając pojęcie nullatora, można wprowadzić nullator „wzmacniający” (rys. 12) o współczynniku przenoszenia napięcia  $N$ , co oznacza:

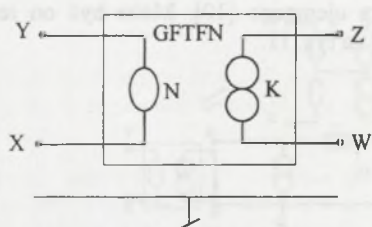
$$U_2 = NU_1. \quad (4)$$



Rys. 12. Nullator uogólniony o współczynniku przenoszenia prądu  $N = -R_2/R_1$ , jego symbol oraz obwód równoważny

Fig. 12. Generalised nullator with the voltage transfer ratio  $N = -R_2/R_1$ , its symbol and equivalent circuit

Kojarząc uogólniony nullator  $N$  i uogólniony norator  $K$  w nierozdzielalną parę realizowalną fizycznie otrzymuje się uogólniony czterozaciskowy nullor nieuziemiony (GFTFN - generalized four terminal floating nullor), który symbolicznie przedstawiono na rys. 13.

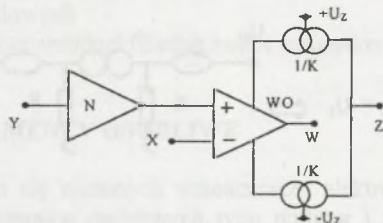


Rys. 13. Uogólniony czterozaciskowy nullora nieuziemiony; symbol graficzny

Fig. 13. Generalised four-terminal floating nullor; graphical symbol

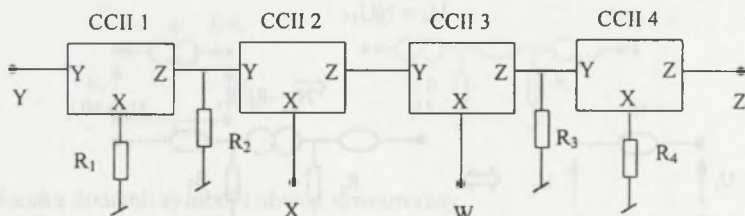
Najprostsza nasuwająca się koncepcja jego realizacji praktycznej oparta jest na modelu wzmacniacza operacyjnego z lustrami prądowymi, pokazana na rys. 14. W układzie tym zastosowano dodatkowy wzmacniacz napięciowy o wzmacnieniu  $N$  oraz lustra prądowe o wzmacnieniu  $K$ .

Inną możliwość realizacji GFTFN daje zastąpienie uogólnionych elementów osobliwych, będących składnikami nullora z rys. 13, ich obwodami równoważnymi z rysunków 9 i 12. Pozwala to zrealizować go praktycznie za pomocą czterech konwejerów prądowych w postaci pokazanej na rys. 15.



Rys. 14. Prosta koncepcja realizacji praktycznej GFTFN

Fig. 14. Simple conception of practical realisation of GFTFN



Rys. 15. Realizacja GFTFN za pomocą czterech konwejerów prądowych

Fig. 15. Realisation of GFTFN using four current conveyors

#### 4. ZASTOSOWANIE UOGÓLNIIONEGO CZTEROZACISKOWEGO NULLORA NIEUZIEMIIONEGO W UKŁADACH AKTYWNYCH

Zastosowanie GFTFN w układach aktywnych pozwala prowadzić ich badania w dwóch kierunkach. Z jednej strony umożliwiają one ocenić wpływ nieidealności parametrów klasycznych elementów osobliwych na modelowane przez nie obwody, z drugiej strony uzyskuje się układy o nowych właściwościach. Przykładem może być układ z rys. 16, zawierający GFTFN o współczynnikach  $N$  i  $K$ . Opisuje go macierz łańcuchowa

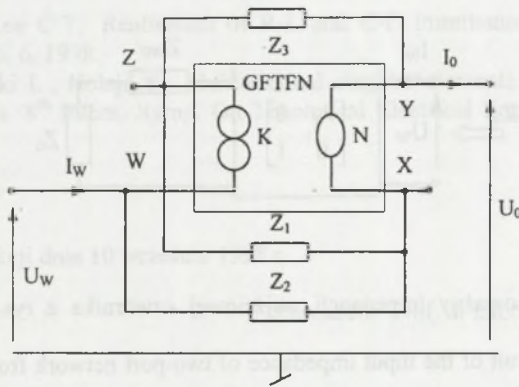


$$\begin{bmatrix} U_w \\ I_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N-1)\frac{Z_1}{Z_2} + N & -\frac{Z_1 Z_3}{Z_2} \\ (N-1)(K+1)\frac{1}{Z_2} & -K - (K+1)\frac{Z_1}{Z_2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_0 \\ I_0 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

Dla  $N = 1$  oraz  $K = -1$ , czyli dla klasycznego nullora nieziemionego, czwórnik ten symuluje nieziemioną impedancję ujemną:

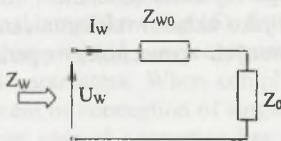
$$Z_{w0} = -\frac{Z_1 Z_3}{Z_2}. \quad (6)$$

Dlatego przy obciążeniu zacisków wyjściowych impedancją  $Z_0$  otrzymuje się impedancję wejściową równą szeregowemu połączeniu  $Z_{w0}$  i  $Z_0$  (rys. 17).



Rys. 16. Przykład obwodu aktywnego z zastosowaniem uogólnionego czterozaciskowego nullora nieziemionego

Fig. 16. The example of active circuit with a GFTFN

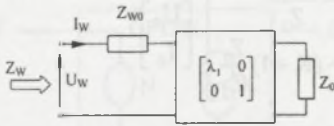


Rys. 17. Obwód równoważny impedancji wejściowej czwórnik z rys. 19 dla  $N=1$  i  $K=-1$

Fig. 17. Equivalent circuit of the input impedance of two-port network from Fig. 16 for  $N=1$  and  $K = -1$

Dla  $K = -1$ , a  $N$  o wartościach dowolnych impedancja wejściowa tego czwórnik równoważna jest impedancji układu z rys. 18, w którym między  $Z_{w0}$  i  $Z_0$  włączony jest impedancyjny konwerter napięciowy o współczynniku konwersji:

$$\lambda_1 = N + \frac{Z_1}{Z_2}(N-1). \quad (7)$$



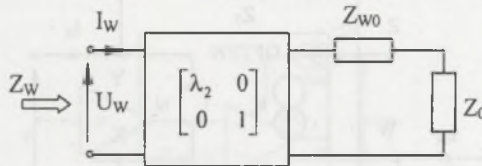
Rys. 18. Obwód równoważny impedancji wejściowej czwornika z rys. 16 dla  $K=-1$  i  $N$  dowolnego

Fig. 18. Equivalent circuit of the input impedance of two-port net from Fig. 16 for  $K=-1$  and  $N$  optional

Natomiast dla  $N = 1$ , a  $K$  dowolnego impedancja wejściowa czwornika z rys. 16 jest równoważna impedancji  $Z_{w0} + Z_0$  przetworzonej przez konwerter impedancyjny napięciowy o współczynniku konwersji:

$$\lambda_2 = \frac{1}{-K - \frac{Z_3}{Z_2}(K+1)} \quad (8)$$

co pokazano na rys. 19.



Rys. 19. Obwód równoważny impedancji wejściowej czwornika z rys. 16 dla  $N=1$  i  $K$  dowolnego

Fig. 19. Equivalent circuit of the input impedance of two-port network from Fig. 16 for  $N=1$  and  $K$  optional

## 5. UWAGI KOŃCOWE

Jak wynika z przeglądu bieżących publikacji o zasięgu międzynarodowym, badania nad zastosowaniem czterozaciskowego nullora nieuziemionego są nadal aktualne i rozwijane. Uzasadnione to jest nowymi możliwościami ich realizacji jako układów elektronicznych, np. konwejerów prądowych, będących składnikami produkowanych wzmacniaczy operacyjnych ze sprzężeniem prądowym.

## LITERATURA

1. Carlin H. J.: Singular network elements. IEEE Trans. CT, Mrch. 1964.
2. Martinelli G.: On the nullor. Proc. IEEE, No. 3, 1965.
3. Topór-Kamiński L.: Bezinercyjne elementy osobliwe jako modele elektrycznych układów aktywnych. (monografia) Zeszyty Nauk. Pol. Śląskiej s. Elektryka, z. 145, 1996.
4. Hujsing J.H.: Operational floating amplifier. IEE Proc. Pt. G. No. 2, 1990.
5. Higashimura M.: Realisation of current-mode transfer function using four-terminal floating nullor. Electr. Letters, No. 2, 1991.



6. Senani R., Malhotra J.: Minimal realisation of a class of operational-mirrored- amplifier-based floating impedances. *Elctr. Letters*, No.14, 1994.
7. Liu S.T.: Single-resistance-controlled sinusoidal oscillator using two FTFNs. *Electr. Letters*, No.14, 1997.
8. Toumazou C., Payne A., Lidgley F.J.:Operational floating conveyor. *Electr. Letters*, No.8, 1991.
9. Higashimura M.: Realisation of immittance floatator using nullors. *IEICE Trans. Fundamentals*, No.6, 1992.
10. Topór-Kamiński L.: Negative nullator as a suplement to singular elements set. *International AMSE Conference, CSS, Rabat*, 1995.
11. Topór-Kamiński L., Pasko M.: Multiterminal floating nullor and its applications in active circuits. *ECCTD, Budapest*, 1997.
12. Abuelma'atti M.T.: Cascadable current-mode filters using single FTFN. *Electr. Letters*, No. 16, 1996.
13. Wang H.Y., Lee C.T.: Realisation of R-L and C-D immittances using single FTFN. *Electr. Lett.* No. 6, 1998.
14. Topór-Kamiński L., Holajn P.: Multiterminal singular elements as a analog electronic devices models. 8<sup>th</sup> Intern. Symp. On Theoretical Electrical Engineering. Thessaloniki, Greece, 1995.

Wpłynęło do Redakcji dnia 10 września 1998 r.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Maciej Siwczyński

## Abstract

Conception of a four-terminal floating nullor (FTFN) as a block of various active circuits models containing controlled sources has been presented. In those models the nullor is present in various configurations of connections of its terminals, both between each other and also between them and zero potential point. The simplest physical representation of FTFN is an operational amplifier with floating power supply (Fig. 5). Other solution of FTFN is application of two pairs of current mirrors thus obtaining the circuit called mirrored operational amplifier (Fig. 6). Introduction of current conveyors in the form of integral devices has enabled easy constructing FTFN with no need of selection of transistors with identical parameters. When complicated electronic amplifiers have appeared, the need of enlargement of conception of singular elements of nullator and norator type onto the circuits with more general properties has emerged. So plus-type norator (Fig. 8) and minus-type nullator (Fig. 11) have been introduced. Definition of the generalised norator with current transfer ratio  $K$  (Fig. 9) and the nullator with voltage transfer ratio  $N$  (Fig. 12) has been the next step. Joining the generalised nullator  $N$  and the generalised norator  $K$  in physically realisable inseparable couple the generalised four-terminal floating nullor (GFTFN), symbolically presented in Fig. 13, is obtained. It can be practically realised basing on the current operational amplifier (COA) with an additional voltage amplifier  $N$  and current mirrors of  $K$  amplification. The other possibility of GFTFN realisation consists in replacement of  $N$  and  $K$  elements by their equivalent circuits shown in Fig. 9 and 12 and modelling them by means of current conveyors in the form presented in Fig. 15. Application

