

Lesław TOPÓR-KAMIŃSKI

Instytut Elektrotechniki Teoretycznej
i Przemysłowej
Politechnika ŚląskaSYNTEZA BEZINERCYJNYCH SIECI OSOBLIWYCH METODĄ
FORMUŁ BOOLOWSKICH

Streszczenie. Przedstawiono metodę syntezy sieci złożonych z elementów osobliwych typu nullator, norator, przerwa i zwarcie za pomocą formuł boolowskich opisanych w pracy [27]. Zdefiniowano symetryczność operatorów boolowskich opisujących dwójnik osobliwy oraz wykazano istnienie dla każdej dowolnej pary operatorów odpowiadającej jej sieci osobliwej szeregowo-równoległej. Pokazano dwie reguły sprowadzania takiej pary operatorów do postaci symetrycznej. Przedstawiono przykłady syntezy pewnych użytecznych dwuzaciskowych sieci osobliwych. Podzielono je na trzy grupy: z jednym dwójnikiem wyróżnionym, z dwoma oraz z dowolną liczbą dwójników wyróżnionych. Jako przykłady zastosowań tych sieci podano możliwość takiego łączenia czwórników, aby sumowały się współczynniki opisujących je macierzy łańcuchowych lub wybierających z macierzy hybrydowych czwórników łączonych tylko określone wyrazy.

1. Uwagi wstępne

Przedstawiona w pracy [27] metoda opisu sieci zawierających dwójniki osobliwe przez formuły boolowskie może stanowić wygodne narzędzie do syntezy takich sieci o nowych interesujących własnościach. Sieci te mogą służyć do nietypowych połączeń dwójników klasycznych oraz nowych połączeń czwórników niemożliwych do wykonania w sieciach nieosobliwych.

2. Synteza dwuzaciskowych sieci osobliwych

Niech będzie dana dwuzaciskowa sieć złożona z n elementów osobliwych opisana formułą typu (2) [27], przy czym operatory A i B są funkcjami boolowskimi operatorów opisujących elementy osobliwe, czyli:

$$\left. \begin{aligned} A &= f(A_1, A_2, \dots, A_n) \\ B &= \varphi(B_1, B_2, \dots, B_n) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Definicja 1

Operatory A i B nazywane będą symetrycznymi, jeżeli A można przeprowadzić w B poprzez podstawienia:

działania "+" w miejsce "-",
 "-" w miejsce "+",
 operatora B_k w A_k

i na odwrót.

Zatem $A = B_g$ będzie oznaczać symetryczność operatora A względem B (lub równoznacznie $B = A_g$).

Twierdzenie 1

Każdej parze (A,B) operatorów symetrycznych bez negacji można przyporządkować dwuzaciskową szeregowo-równoległą sieć osobliwą.

Dowód tego twierdzenia wynika wprost z twierdzeń 3,4 i 10 w pracy [27].

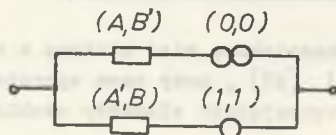
Aby umożliwić budowę (syntezę) dwuzaciskowej sieci osobliwej opisywanej dowolną parę operatorów (A,B) typu (1) nie będących w ogólności symetrycznymi oraz nie zawierającymi negacji, należy je sprowadzić do postaci symetrycznej. Można to wykonać przez rozszerzenie o dodatkowe wyrazy równe 0 lub 1, z które zgodnie z punktami 4* i 4** twierdzenia 1 [27] nie zmieniają wartości tych operatorów. Przedstawiają to następujące dwie reguły. Dane są operatory (A,B), należy utworzyć A' i B' symetryczne do nich, czyli:

$$A' = B_g, \quad B' = A_g. \quad (2)$$

Reguła 1

$$(A,B) = [(A+0).(A'+1); (B'.0)+(B.1)] , \quad (3)$$

przy czym prawa strona tej relacji jest parą operatorów symetrycznych opisujących sieć przedstawioną na rys. 1.

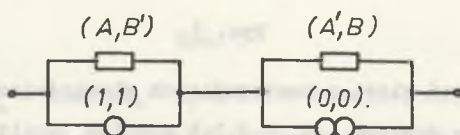


Rys. 1

Reguła 2

$$(A, B) = [(A.1) + (A'.0); (B+1).(B+0)] , \quad (4)$$

przy czym prawa strona opisuje sieć przedstawioną na rys. 2.



Rys. 2

Twierdzenie 2

Dla każdej dowolnej pary operatorów boolowskich (A, B) będących funkcjami boolowskimi (nie zawierającymi negacji) n par operatorów (A_k, B_k) opisujących dwójniki osobliwe D_k można zrealizować dwuzaciskową szeregowo-równoległą sieć osobliwą, którą będą one opisywać poprzez formułę boolowską typu (2) [27] .

Dowód. Wynika z reguł 1 i 2, w których opisywane sieci dwuzaciskowe są zawsze realizowane jako szeregowo-równoległe dla dowolnej pary operatorów (A, B) . Podobnie występujące w nich dwójniki (A, B') i (A', B) są także sieciami o postaci szeregowo-równoległej złożonymi z dwójników (A_k, B_k) , co wynika z założeń (2).

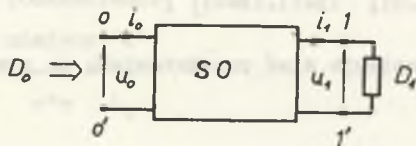
Każdą parę operatorów (A, B) można rozszerzać na funkcje logiczne zawierające dodatkowe wyrazy 0 i 1 na nieskończenie wiele sposobów. Zatem prawdziwe jest

Twierdzenie 3

Każdej parze operatorów (A, B) można przyporządkować nieskończenie wiele dwuzaciskowych sieci osobliwych równoważnych sobie.

3. Synteza pewnych użytecznych dwuzaciskowych sieci osobliwych

W pierwszej grupie rozpatrywane będą sieci osobliwe o ogólnej strukturze podanej na rys. 3, o zaciskach wejściowych i pewnym wyróżnionym dwójniku dołączonym do zacisków 11'



Rys. 3

Należy zrealizować sieci o następujących własnościach:

1.1) $i_o = i_1$, u_o - dowolne, $u_1 = 0$ lub dowolne, czyli

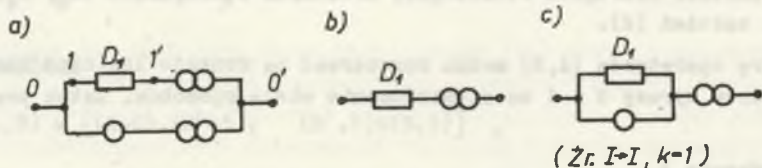
$D_o : (A_o, B_o) = (A_1, 0)$ - para niesymetryczna.

Aby wykorzystać regułę 1, należy wprowadzić: $A_o' = B_{os} = 0$

i $B_o' = A_{os} = B_1$, stąd ze wzoru (3):

$$(A_o, B_o) = [(A_1 + 0) \cdot (0 + 1); (B_1 \cdot 0) + (0 \cdot 1)] \quad (5)$$

Odpowiadająca operatorom (5) sieć przedstawiona na rys. 4a jest równoważna (na podstawie dodatku 2) sieci b), dla której u_1 może być dowolne lub (na podstawie twierdzenia 10 [27]) sieci c), dla której $u_1 = 0$.



Rys. 4

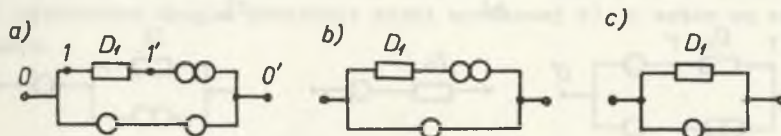
1.2) $i_o = i_1$, $u_o = 0$, $u_1 = 0$ lub dowolne,

czyli: $D_o : (A_o, B_o) = (A_1, 1)$ - para operatorów niesymetrycznych,

należy zatem wprowadzić: $A_o = B_{os} = 1$ i $B_o = A_{os} = B_1$, stąd ze wzoru (3)

$$(A_o, B_o) = [(A_1 + 0) \cdot (1 + 1); (1 \cdot 1) + (B_1 \cdot 0)] \quad (6)$$

Odpowiadająca operatorom (6) sieć z rys. 5a jest równoważna (twierdzenie 8 [27]) sieci b), dla której u_1 dowolne oraz sieci c) (na podstawie tw. 11 [27] i przykładu w dodatku 3), dla której $u_1 = 0$.

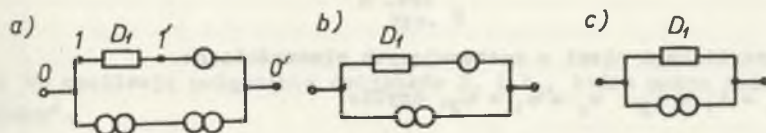


Rys. 5

- 1.3) $u_0 = u_1$, i_0 - dowolne, $i_1 = 0$ lub dowolne, czyli $D_0 : (A_0, B_0) = (0, B_1)$ - para niesymetryczna, należy zatem wprowadzić $A'_0 = B_{0S} = A_1$, $B'_0 = A_{0S} = 0$, stąd dla (3)

$$(A_0, B_0) = [(A_1 + 1) \cdot (0 + 0); (B_1 \cdot 1) + (0 \cdot 0)] . \quad (7)$$

Odpowiada im sieć z rys. 6a równoważna (twierdzenie 8 [27]) sieci b), dla której $i_1 = 0$ oraz sieci c) (twierdzenie 11 i przykład w dodatku 3 [27]), dla której i_1 może być dowolne.

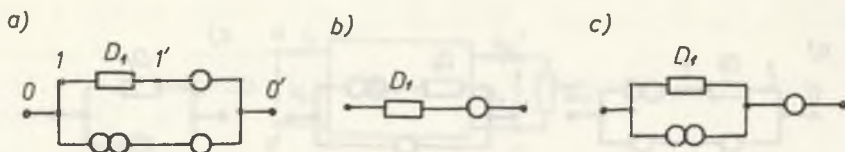


Rys. 6

- 1.4) $u_0 = u_1$, $i_0 = 0$, $i_1 = 0$ lub dowolne, czyli $D_0 : (A_0, B_0) = (1, B_1)$, para niesymetryczna, należy wprowadzić $A'_0 = B_{0S} = A_1$, $B'_0 = A_{0S} = 1$. Stąd z relacji (3) otrzymuje się:

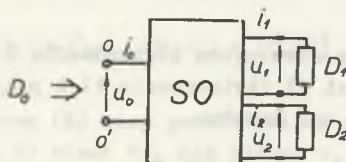
$$(A_0, B_0) = [(A_1 + 1) \cdot (1 + 0); (B_1 \cdot 1) + (1 \cdot 0)] . \quad (8)$$

Odpowiada im sieć z rys. 7a równoważna (na podstawie przykładu z dodatku 2 [27]) sieci b), dla której $i_1 = 0$ oraz sieci c) (twierdzenie 10 [27]), dla której i_1 może być dowolne.



Rys. 7

W drugiej grupie rozpatrywane będą sieci osobliwe o ogólnej strukturze podanej na rys. 8, o dwu zaciskach wejściowych i dwóch wyróżnionych dwójnikach D_1 i D_2 .



Rys. 8

Należy zrealizować sieci o następujących własnościach:

2.1) $i_0 = i_1 + i_2$, $u_0 = u_1 + u_2$, czyli:

$$A_0 = \tilde{f}_0 = \tilde{f}_1 + \tilde{f}_2 = \tilde{f}_1 \cdot \tilde{f}_2 = A_1 \cdot A_2,$$

$$B_0 = \tilde{u}_0 = \tilde{u}_1 + \tilde{u}_2 = \tilde{u}_1 \cdot \tilde{u}_2 = B_1 B_2.$$

Sieć na zaciskach $00'$ opisuje para operatorów niesymetrycznych $(A_1 \cdot A_2; B_1 \cdot B_2)$

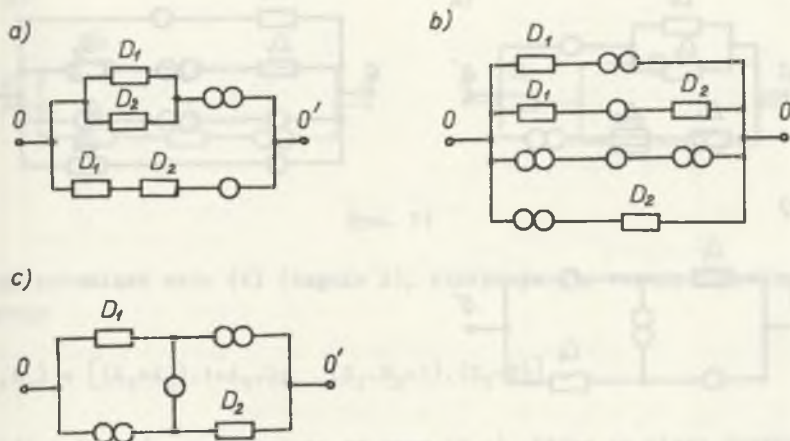
Należy określić operatory symetryczne:

$$A'_0 = B_{0s} = A_1 + A_2, \quad B'_0 = A_{0s} = B_1 + B_2.$$

Stąd na podstawie wzoru (3):

$$(A_0, B_0) = [(A_1 \cdot A_2 + 0) \cdot (A_1 + A_2 + 1); (B_1 + B_2) \cdot 0 + (B_1 \cdot B_2 \cdot 1)] \quad (9)$$

Odpowiadająca wyrażeniu (9) sieć przedstawiona jest na rys. 9a, która po przekształceniach (twierdzenie 10, przykład w dodatku 2, twierdz. 9 [27]) jest równoważna drogom przejścia sieci mostkowej c), a zatem są sobie równoważne.



Rys. 9

Sieci te realizują połączenie dwójników D_1 i D_2 , które można nazwać "sumacyjnym".

2.2) $i_o = i_1 = i_2$, $u_o = u_1 = u_2$, czyli

$$A_o = \bar{i}_o = \bar{i}_1 \cdot \bar{i}_2 = \bar{i}_1 + \bar{i}_2 = A_1 + A_2,$$

$$B_o = \bar{u}_o = \bar{u}_1 \cdot \bar{u}_2 = \bar{u}_1 + \bar{u}_2 = B_1 + B_2.$$

Sieć na zaciskach $00'$ opisuje para operatorów niesymetrycznych ($A_1 + A_2$; $B_1 + B_2$).

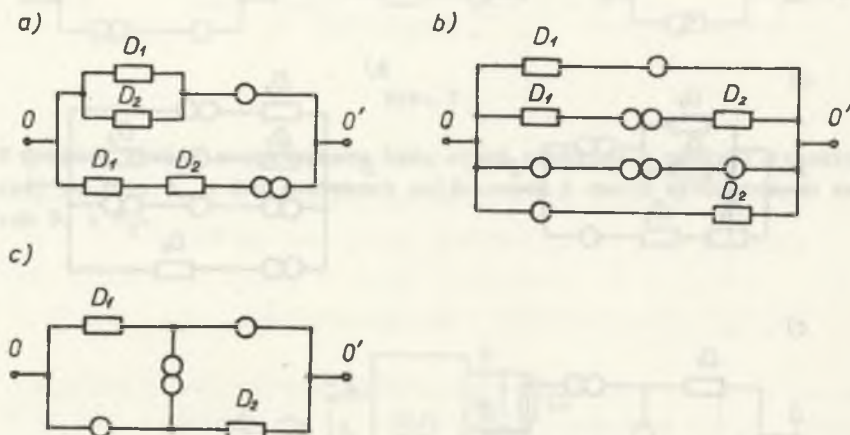
Należy określić operatory symetryczne:

$$A'_o = B_{os} = A_1 \cdot A_2, \quad B'_o = A_{os} = B_1 \cdot B_2.$$

stąd na podstawie (3):

$$(A_o, B_o) = [(A_1 + A_2 + 0)(A_1 \cdot A_2 + 1); (B_1 \cdot B_2 \cdot 0) + (B_1 + B_2) \cdot 1] \quad (10)$$

Odpowiadająca wyrażeniu (10) sieć szeregowo-równoległa przedstawiona jest na rys. 10a).



Rys. 10

Po przekształceniach takich jak w punkcie 2.1 sieć a) jest równoważna sieci b), która jest równoległym połączeniem dróg przejścia układu mostkowego c), czyli jemu równoważna. Sieci te realizują połączenie dwójników D_1 i D_2 , które można nazwać "równościowym". Sieci c) z rys. 9 i 10 są korzystniejsze od pozostałych, gdyż dwójniki D_1 i D_2 występują w nich tylko jednokrotnie.

2.3) $i_0 = i_1 = i_2$, $u_0 = u_1$, $u_2 = 0$ lub dowolne, czyli:

$$A_0 = A_1 + A_2 \quad (\text{jak w punkcie 2.2})$$

$$B_0 = \tilde{u}_0 = \tilde{u}_1 = B_1.$$

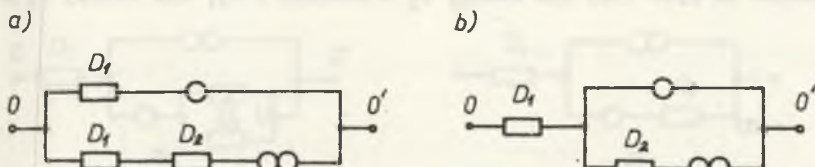
Operatory te są niesymetryczne, czyli należy określić:

$$A'_0 = B_{0s} = A_1, \quad B'_0 = A_{0s} = B_1 \cdot B_2.$$

Stosując wzór (3) (Reguła 1), otrzymuje się wersję szeregowo-równoległą:

$$(A_0, B_0) = [(A_1 + A_2 + 0) \cdot (A_1 + 1); (B_1 \cdot B_2 \cdot 0) + (B_1 \cdot 1)] \quad (11)$$

Odpowiada jej sieć z rys. 11a), przekształcona (twierdzenie 10 [27]) do postaci b), w której dwójniki D_1 i D_2 występują tylko jednokrotnie, a napięcie u_2 może być dowolne.

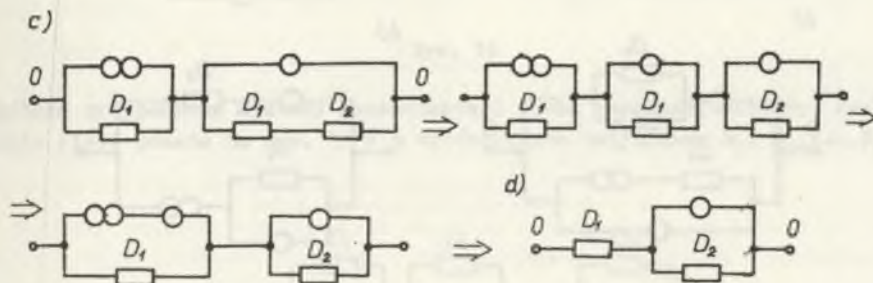


Rys. 11

Stosując natomiast wzór (4) (Reguła 2), otrzymuje się wersję równoległo-szeregową:

$$(A_0, B_0) = [(A_1 + A_2) \cdot 1 + A_1 \cdot 0; (B_1 \cdot B_2 + 1) \cdot (B_1 + 0)] \quad (12)$$

Odpowiada jej sieć przedstawiona na rys. 12 c), która po ciągu przekształceń przechodzi w układ d), w którym dwójniki D_1 i D_2 występują jednokrotnie, a napięcie $u_2 = 0$. Można także wykazać, że sieć d) po odpowiednich przekształceniach może powstać z wersji a), natomiast sieć c) z sieci b), co jest zgodne z założeniem o ich wzajemnej równoważności do opisanej operatorami (A_0, B_0)

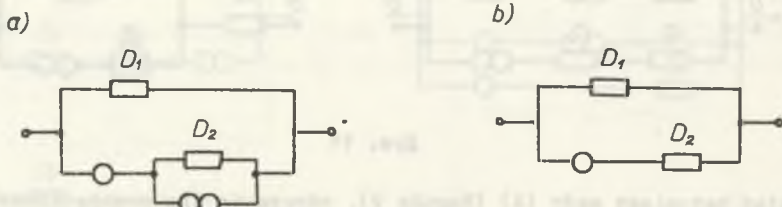


Rys. 12

2.4) $u_0 = u_1 = u_2$, $i_0 = i_1$, $i_2 = 0$ lub dowolne, czyli:

$$(A_0, B_0) = (A_1; B_1 + B_2).$$

Postępując podobnie jak w punktach poprzednich otrzymuje się sieci przedstawione na rys. 13a) dla której u_2 - dowolne i b), dla której $u_2 = 0$.

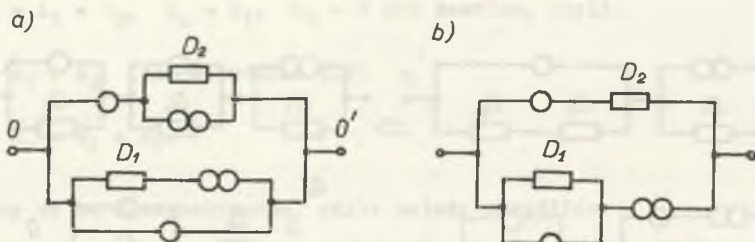


Rys. 13

2.5) $i_0 = i_1$, $u_0 = u_2$; u_1 , $i_2 = 0$ lub dowolne,

$$(A_0, B_0) = (A_1, B_2).$$

Z procesu syntezy otrzymuje się sieci pokazane na rys. 14, na którym dla układu a) u_1 dowolne oraz i_2 dowolne, natomiast dla układu b) $u_1 = 0$, $i_2 = 0$.

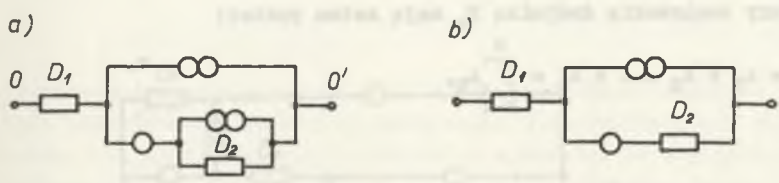


Rys. 14

2.6) $u_0 = u_1 + u_2$, $i_0 = i_1$, $i_2 = 0$ lub dowolne,

$$\text{stąd } (A_0, B_0) = (A_1; B_1 \cdot B_2).$$

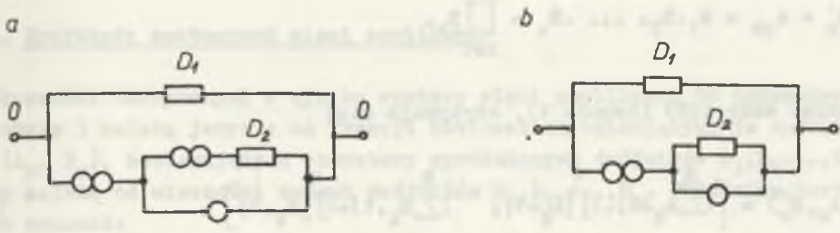
Otrzymane z syntezy sieci przedstawione są na rys. 15, przy czym dla układu a) i_2 dowolne, a dla układu b) $i_2 = 0$.



Rys. 15

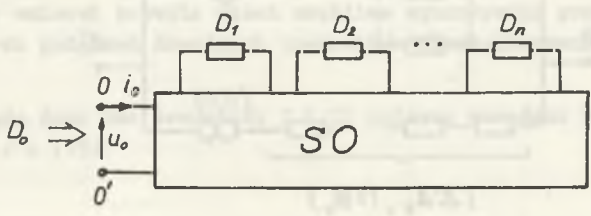
2.7) $i_0 = i_1 + i_2$, $u_0 = u_1$, $u_2 = 0$ lub dowolne, stąd $(A_0, B_0) = A_1 \cdot A_2; B_1$.

Otrzymane z syntezy sieci przedstawione są na rys. 16, przy czym dla układu a) u_2 dowolne, a dla układu b) $u_2 = 0$.



Rys. 16

Ogólnym przypadkiem syntezy dwuzaciskowej sieci osobiowej może być realizacja sieci podana na rys. 17 o n wyróżnionych dwójnikach $D_1, D_2, \dots, D_n$.



Rys. 17

Przykładowo może być poszukiwana sieć o następujących własnościach:

$$3.1) u_0 = u_1 = u_2 = \dots = u_n.$$

$$i_0 = i_1 = i_2 = \dots = i_n.$$

Operatory boolowskie dwójnika D_0 mają zatem postać:

$$A_0 = A_1 + A_2 + \dots + A_n = \sum_{k=1}^n A_k,$$

$$B_0 = B_1 + B_2 + \dots + B_n = \sum_{k=1}^n B_k.$$

Należy je sprowadzić do postaci symetrycznej, czyli znaleźć:

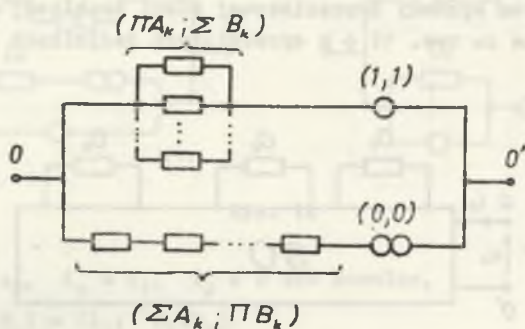
$$A'_0 = B_{0s} = A_1 \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_n = \prod_{k=1}^n A_k,$$

$$B'_0 = A_{0s} = B_1 \cdot B_2 \cdot \dots \cdot B_n = \prod_{k=1}^n B_k.$$

Stosując wzór (22) (Reguła 1), otrzymuje się:

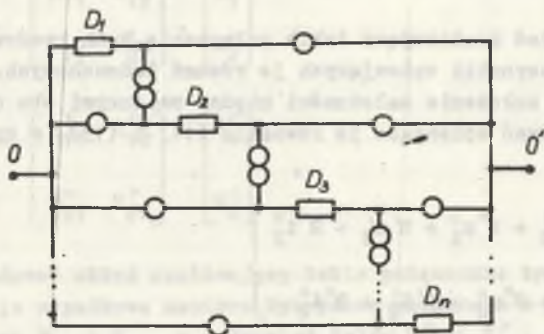
$$(A_0, B_0) = \left[\left(\sum_{k=1}^n A_k + 0 \right) \cdot \left(\prod_{k=1}^n A_k + 1 \right); \left(\sum_{k=1}^n B_k + 1 \right) \cdot \left(\prod_{k=1}^n B_k + 0 \right) \right]. \quad (13)$$

Odpowiadająca relacji (13) sieć przedstawiona jest na rys. 18.



Rys. 18

Sieć ta po odpowiednich przekształceniach jest równoważna wszystkim drogom przejścia wielomostkowej sieci z rys. 19, w której każdy z dwójników D_1 do D_n występuje tylko jednokrotnie, wymaga natomiast $n-1$ noratorów oraz $2(n-1)$ nullatorów.



Rys. 19

4. Przykłady zastosowań sieci osobliwych

Własności otrzymanych w wyniku syntezy sieci osobliwych SO pokazanych w punkcie 3 zależą jedynie od funkcji boolowskich opisujących je operatorów (A_0 , B_0), zawierających operatory wyróżnionych dwójników $D_1, D_2, \dots, D_n$, a nie zależą od własności samych dwójników $D_1, D_2, \dots, D_n$. Prawdziwy jest zatem wniosek:

Wniosek

Realizowane przez sieci osobliwe zależności wiążące zmienne zębkowe zacisków wejściowych $00'$ z prądami i napięciami na wyróżnionych zaciskach wyjściowych $11'$, $22'$, ..., nn' będą spełnione dla dowolnych dwójników dołączonych do tych zacisków także nieosobliwych.

Powyższy wniosek pozwala sieci osobliwe wykorzystać przykładowo do tworzenia nowych połączeń dowolnych czwórników nierealizowanych w sposób klasyczny.

a) Niech będą dane dwa czwórniki I i II opisane układami równań łańcuchowych (14) i (15)

$$I : \begin{bmatrix} u_1' \\ i_1' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_2' \\ i_2' \end{bmatrix}, \quad (14)$$

$$II : \begin{bmatrix} u_1'' \\ i_1'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A'' & B'' \\ C'' & D'' \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_2'' \\ i_2'' \end{bmatrix}.$$

Należy zbudować układ realizujący takie połączenie tych czwórników, aby sumowały się współczynniki opisujących je równań łańcuchowych. Aby otrzymać spełniające to założenie zależności między zmiennymi obu czwórników, należy parami zsumować opisujące je równania (14) i (15), w wyniku czego otrzymuje się:

$$\left. \begin{aligned} u_1' + u_1'' &= A' u_2' + A'' u_2'' + B' i_2' + B'' i_2'' \\ i_1' + i_1'' &= C' u_2' + C'' u_2'' + D' i_2' + D'' i_2'' \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

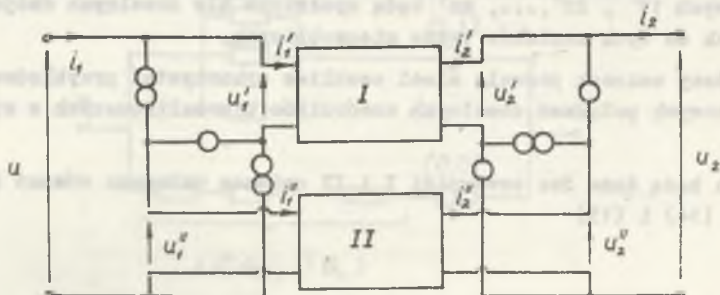
Zakładając:

$$\begin{aligned} u_1' + u_1'' &= u_1; & i_1' + i_1'' &= i_1, \\ u_2' &= u_2'' = u_2; & i_2' &= i_2'' = i_2 \end{aligned} \quad (17)$$

otrzymuje się równania opisujące czwórnik wypadkowy:

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ i_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A' + A'' & B' + B'' \\ C' + C'' & D' + D'' \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_2 \\ i_2 \end{bmatrix}. \quad (18)$$

Aby były spełnione zależności (17) do połączeń czwórników wyjściowych, należy zastosować sieci osobliwe przedstawione w punktach 2.1) i 2.2). Układ realizujący to połączenie ma konfigurację pokazaną na rys. 20.



Rys. 20

Realizacja praktyczna tego układu wymaga zastosowania wzmacniaczy operacyjnych z nieuziemionym wyjściem ze względu na brak wspólnego węzła dla wszystkich noratorów występujących w układzie.

b) Niech będą dane czwórnik III i IV opisane układami równań hybrydowych (19) i (20):

$$\begin{bmatrix} u_1' \\ i_2' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11}' & H_{12}' \\ H_{21}' & H_{22}' \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1' \\ u_2' \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$\begin{bmatrix} u_1'' \\ i_2'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11}'' & H_{12}'' \\ H_{21}'' & H_{22}'' \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1'' \\ u_2'' \end{bmatrix} \quad (20)$$

Należy zbudować układ realizujący takie połączenie tych czwórników, aby opisująca je wypadkowa macierz hybrydowa zawierała w pierwszej kolumnie tylko wyrazy H_{11}' i H_{21}' , a w drugiej tylko H_{12}'' i H_{22}'' . Aby otrzymać spełniające to założenie zależności między zmiennymi zaciskowymi obu czwórników, należy parami zasumować równania (19) i (20), czyli:

$$\left. \begin{aligned} u_1' + u_1'' &= H_{11}' i_1' + H_{12}' u_2' + H_{11}'' i_1'' + H_{12}'' u_2'' \\ i_2' + i_2'' &= H_{21}' i_1' + H_{22}' u_2' + H_{21}'' i_1'' + H_{22}'' u_2'' \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Zakładając:

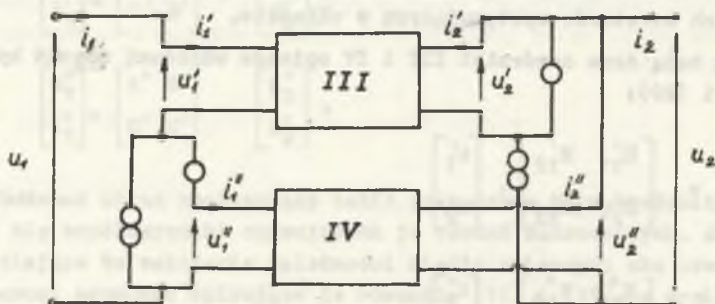
$$\left. \begin{aligned} u_1' + u_1'' &= u_1 ; & i_1' &= i_1 ; & u_2' &= 0 \\ i_2' + i_2'' &= i_2 ; & u_2'' &= u_2 ; & i_1'' &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

otrzymuje się równania hybrydowe opisujące czwórnik wypadkowy:

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11}' & H_{12}'' \\ H_{21}' & H_{22}'' \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (23)$$

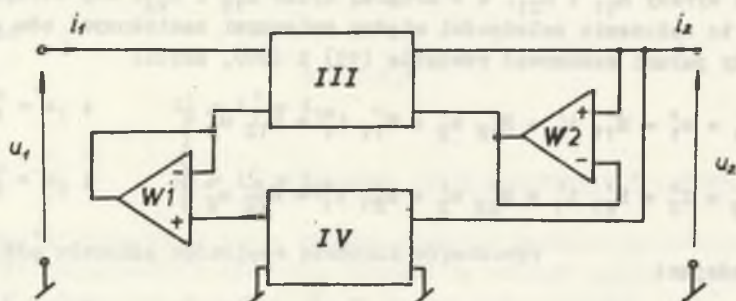
Aby spełnić zależności (22) do połączeń czwórników, należy zastosować sieci osobliwe przedstawione w punktach 2.6 i 2.7.

Układ realizujący to połączenie będzie miał konfigurację pokazaną na rys. 21.

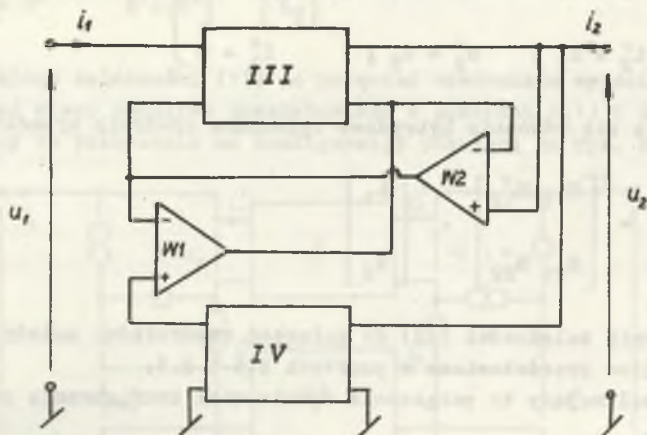


Rys. 21

Realizacja praktyczna układu wymaga dwóch wzmacniaczy operacyjnych i może mieć dwie wersje przedstawione na rys. 22 i 23.



Rys. 22



Rys. 23

LITERATURA

- [1] BANASZAK A.: Układ singularny jako model obwodu elektrycznego. X - SPETO, Wiśka 1987.
- [2] BRAUN J.: Equivalent NIC Networks with Nullators and Norators. IEEE Trans. on CT, September 1965.
- [3] BENDIK J.: Equivalent Gyrator Networks with Nullators and Norators. IEEE Trans. on CT, March 1967.
- [4] CARLIN H.J., YOUILA D.C.: Network synthesis with negative resistors. Proc. IRE, May 1961.
- [5] CARLIN H.J.: Singular network elements. IEEE Trans. CT, Mar 19, 1964.
- [6] CHUA L.O.: Analysis and Synthesis of Multivalued Memoryless Nonlinear Networks. IEEE Trans. CT, June 1967.
- [7] DAVIES A.C.: Nullator - Norator Equivalent Networks for Controlled Sources. Proc. IEEE May 1967.
- [8] DAVIES A.C.: The Significance of Nullators, Norators and Nullors in Active - network Theory. The Radio and Electr. Engin. Nov. 1967.
- [9] GUZICKI W., ZBIERSKI P.: Podstawy teorii mnogości. PWN, Warszawa 1978.
- [10] GRZEGORCZYK A.: Zarys logiki matematycznej. PWN, Warszawa 1981.
- [11] HUIJSING J.H., DEKORTE J.: Monolithic Nullor - A Universal Active Network Element. IEEE JSSC, Febr. 1977.
- [12] MARTINELLI G.: On the nullor. Proc. IEEE, 3, 1965.
- [13] MARTINELLI G.: Physical characterization of the nullor - model of the transistor. J.S.N.T. Belgrado 1968.
- [14] MOSTOWSKI A.W.: Algebry Boole'a i ich zastosowania. PWN, Warszawa 1964.
- [15] MYERS B.R.: Nullor of Transistor. Proc. IEEE, July 1965.
- [16] CYSTEIN A.: Wstęp do teorii grafów. PWN, Warszawa 1966.
- [17] PAUKER V.M.: Equivalent Networks With Nullor for Positive Jmmittance Inverters. IEEE Trans. on CT, November 1970.
- [18] POGORZELSKI W.A.: Klasyczny rachunek zadań. PWN, Warszawa 1975.
- [19] VERGHESE G.C., LEVE B.C., KAILATH T.: A generalized state space for singular systems. IEEE Trans. AC - 26, 811, 1981.
- [20] TOPÓR-KAMIŃSKI L.: Elementy osobliwe i rozszerzenie pojęcia komutacji w obwodach elektrycznych. V - SPETO Ustroń 1981. Z.N.Pol.Śl. Elektryka, z. 79, Gliwice 1982.
- [21] TOPÓR-KAMIŃSKI L.: Wprowadzenie idealnych źródeł autonomicznych i źródeł do zbioru elementów osobliwych. Z.N.Pol.Śl. Automatyka, z. 71, Gliwice 1983.
- [22] TOPÓR-KAMIŃSKI L.: Diodowe elementy osobliwe. VI. SPETO Ustroń 1983. Z.N.Pol.Śl. Elektryka, z. 88, Gliwice 1984.
- [23] TOPÓR-KAMIŃSKI L.: Analiza obwodów osobliwych metodą macierzowych formuł boolowskich. Z.N.Pol.Śl. Automatyka, z. 73, Gliwice 1984.
- [24] TOPÓR-KAMIŃSKI L.: Połączenie elementów osobliwych z dwójnikami klasycznymi. VII - SPETO Ustroń 1984. Z.N.Pol.Śl. Elektryka, z. 95, Gliwice, 1985.
- [25] TOPÓR-KAMIŃSKI L.: Mnożniki impedancji. Z.N.Pol.Śl. Elektryka, z. 107

- [26] TOPÓR-KAMIŃSKI L.: Pojawianie się elementów osobliwych w idealnych układach aktywnych. Z.N.Pol.Śl. Elektryka, z. 113, Gliwice 1989.
- [27] TOPÓR-KAMIŃSKI L.: Analiza bezinercyjnych sieci osobliwych metodą formuł boolowskich. Z.N.Pol.Śl. Elektryka, z. 115, Gliwice 1990.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Maciej Siwczyński

Wpłynęło do Redakcji dnia 15 marca 1989 r.

СИНТЕЗ НЕИНЕРТНЫХ АНОМАЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ МЕТОДОМ БУЛЕВЫХ ФОРМУЛ

Р е з ю м е

Представлен метод синтеза цепей, составленных из аномальных элементов типа нуллятор, норатор, разрыв и короткое замыкание, использующий булевы формулы. Определена симметричность булевых операторов, описывающих аномальный двухполюсник, а также доказано существование для любой пары операторов соответствующей им последовательно-параллельной аномальной цепи. Показаны два правила приведения такой пары операторов в симметрический вид. Приведены примеры синтеза некоторых пригодных двухзажимных аномальных цепей. Подразделены они на три группы: с одним приоритетным двухполюсником, с двумя, а также с произвольным числом приоритетных двухполюсников. В качестве примеров применения этих цепей показана возможность такого соединения четырехполюсников, чтобы происходило суммирование параметров, описывающих цепочные матрицы, либо избирающие из гибридных матриц, соединённых четырехполюсников только определённые параметры.

SYNTHESIS OF INERTIALESS PECULIAR NETWORKS USING BOOLE'S FORMULAE

S u m m a r y

The method of synthesis of networks comprising peculiar elements (nullator, norator, break and short-circuit) has been presented using Boole's formulae described in paper 27. Symmetricalness of Boole's operators describing peculiar one-port has been defined and existence of peculiar in series-parallel network corresponding with every optional pair of operators has been proved.

Two rules of bringing such operators pair to symmetrical form have been shown.

Examples of the synthesis of some useful two-terminal peculiar networks have been presented. They are divided into three groups: with one distinguished one-port, with two one-ports and with optional number of distinguished one-ports. As the examples of application of those networks, possi-

