

Struktura połączeń rezystorów ukryta w wartości naturalnego kodu binarnego

Streszczenie. W artykule przedstawiono nowatorską i opatentowaną metodę tworzenia niepowtarzalnych schematów połączeń rezystorów na podstawie sekwencji naturalnego kodu binarnego. Naturalny kod binarny pozwala na bazie prostego i usystematyzowanego szablonu tworzyć kombinacje struktur połączeń rezystorów. Dla danej liczby rezystorów, liczbę struktur można obliczyć ze wzoru $S_N = 2^N$. Jeżeli przyporządkujemy do kodu binarnego strukturę połączeń rezystorów, to zaproponowane reguły i właściwości wynikające z kodu binarnego umożliwią tworzenie niepowtarzalnych topologii połączeń. W artykule opisano przykłady, które pokazują przyjętą metodykę postępowania i zdefiniowane zasady.

Abstract. The article presents an innovative and patented method of creating unique resistor connection diagrams based on a sequence of natural binary code. The natural binary code permits to create a simple, systematized pattern (template) on the basis of which you can create combinations of resistor connection structures. For a given number of resistors, the number of structures can be calculated from the formula $S_N = 2^N$. If we ascribe the form of a resistor connection structure to the binary code, the proposed rules and properties resulting in the binary code recording make it possible to create the correct connection structure. The article describes examples that show the adopted methodology and defined rules. **(The connection structure of the resistors is hidden in the value of a natural binary code).**

Słowa kluczowe: połączenia rezystorów, kod binarny, synteza obwodów prądu stałego.
Keywords: resistor connection, binary code, synthesis of DC circuits.

Wstęp

Artykuł przedstawia sposób tworzenia niepowtarzalnych struktur połączeń rezystorów i obliczania wartości rezystancji zastępczej (R_Z) dla danej struktury połączeń. Przedawniona metodyka wraz z zdefiniowanymi zasadami są narzędziem syntezy obwodów prądu stałego nakierowana jest na tworzenie unikalnych kombinacji połączeń rezystorów oraz kształtowania charakterystyki mocy.

Znane są inne metody syntezy obwodów elektrycznych. Do najbardziej znanych należą metoda Foster'a i Caure'a [1]. Zastosowanie i zróżnicowanie metod syntezy obwodów elektrycznych jest różnorodne [1-6]. Metody syntezy obwodów elektrycznych mimo, że wydają się bardzo specjalistyczne, to znalazły zastosowanie w różnych dziedzinach wiedzy. Wykorzystywane są w syntezie obwodów elektrycznych na potrzeby budowy filtrów analogowych i cyfrowych [1, 5, 6], ale też przy modelowaniu zjawisk magnetycznych [4], termicznych [7] czy jest też stosowane w biologii i medycynie [8, 9]. Opisaną metodą syntezy binarnej została opisana w patentach

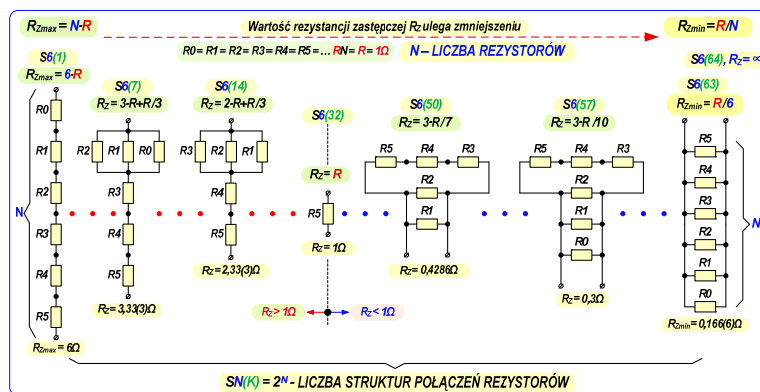
[10, 11] i użyta w [12, 13].

Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe układy połączeń i zmiany wartości rezystancji zastępczej R_Z w zależności od liczby rezystorów (N). Przykład dotyczy kombinacji dla liczby rezystorów $N = 6$. Wzór (1) określa liczbę możliwych kombinacji struktur połączeń rezystorów.

$$(1) \quad S_N = 2^N$$

gdzie: N - liczba rezystorów, S_N - liczba kombinacji struktur połączeń.

W tabeli 1 zestawiono liczbę struktur połączeń rezystorów w zależności od liczby N rezystorów. Przykładowo, dla $N = 10$ rezystorów, liczba możliwych kombinacji struktur połączeń rezystorów wyniesie $S_{10} = 2^{10} = 1'024$. Dla liczby $N = 19$ rezystorów pojawia się aż $S_{19} = 2^{19} = 524'288$ kombinacji struktur połączeń rezystorów.



Rys.1. Zakres zmian wartości rezystancji zastępczej R_Z w zależności od liczby N rezystorów – przykład dla $N = 6$

Założenia syntezy struktur połączeń rezystorów

Na potrzeby wstępnej syntezy struktur połączeń rezystorów przyjęto, że rezystorów jest N i mają taką samą wartość rezystancji R (np. grzałki elektryczne). Wartość rezystancji każdego rezystora można przedstawić w postaci wzoru (2).

$$(2) \quad \begin{aligned} R1W[\Omega] &= R1[\Omega] \cdot R_G \\ R2W[\Omega] &= R2[\Omega] \cdot R_G \\ R3W[\Omega] &= R3[\Omega] \cdot R_G \end{aligned}$$

$$RNW[\Omega] = RN[\Omega]R_G$$

gdzie: $R1W[\Omega]$ – rzeczywista wartość rezystancji $R1W$, $RNW[\Omega]$ – rzeczywista wartość rezystancji RNW , $R1[\Omega]$, $R2[\Omega]$, $R3[\Omega]$, ..., $RN[\Omega] = R[\Omega] = 1\Omega$, R_G – mnożnik wartości rezystancji R_N , N – ilość rezystorów.

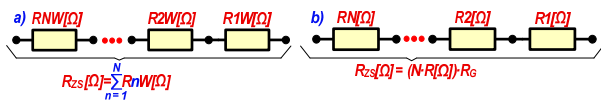
Szeregowe połączenie rezystorów

Szeregowe połączenie rezystorów $RNW[\Omega] \div R1W[\Omega]$ tworzy rezystancję zastępczą R_{Zs} . Przedstawia to analiza

przeprowadzona wg wzorów (3÷6), oraz rysunek 2. Wartość rezystancji R_{ZS} połączenia szeregowego jest sumą wartości rezystancji wchodzących w skład połączenia, co przedstawia rysunek 2a.

Tabela 1. Liczba S_N struktur połączeń rezystorów w zależności od liczby N rezystorów

N	Ilość S_N struktur	N	Ilość S_N struktur
1	$S_N = 2^1 = 2$	14	$S_N = 2^{14} = 16'384$
2	$S_N = 2^2 = 4$	15	$S_N = 2^{15} = 32'768$
3	$S_N = 2^3 = 8$	16	$S_N = 2^{16} = 65'536$
4	$S_N = 2^4 = 16$	17	$S_N = 2^{17} = 131'072$
5	$S_N = 2^5 = 32$	18	$S_N = 2^{18} = 262'144$
6	$S_N = 2^6 = 64$	19	$S_N = 2^{19} = 524'288$
10	$S_N = 2^{10} = 1'024$	20	$S_N = 2^{20} = 1'048'576$



Rys.2. Szeregowo połączenie rezystorów

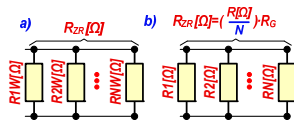
$$(3) R_{ZS}[\Omega] = R1W[\Omega] + R2W[\Omega] + \dots + RNW[\Omega]$$

$$(4) R_{ZS}[\Omega] = N \cdot R[\Omega] \cdot R_G$$

W szczególnym przypadku, dla szeregowego połączenia N rezystorów o takiej samej wartości $R[\Omega] = 1\Omega$, wartość rezystancji zastępczej R_{ZS} określa wzór (4) oraz przedstawia rysunek 2b.

Równoległe połączenie rezystorów

Równoległe połączenie rezystorów $RNW[\Omega] \div R1W[\Omega]$ tworzy rezystancję zastępczą R_{ZR} .



Rys.3. Równoległe połączenie rezystorów

Równoległe połączenie rezystorów wyrażają wzory (5÷7). Wartość rezystancji R_{ZR} takiego połączenia wynika ze wzoru (5), oraz przedstawia ją rysunek 3a.

$$(5) \frac{1}{R_{ZR}[\Omega]} = \frac{1}{R1W[\Omega]} + \frac{1}{R2W[\Omega]} + \dots + \frac{1}{RNW[\Omega]}$$

$$(6) R_{ZR}[\Omega] = \frac{R^N \cdot R_G^N}{N \cdot R^{(N-1)} \cdot R_G^{(N-1)}} = \frac{R}{N} \cdot R_G$$

$$(7) R_{ZR}[\Omega] = \frac{R}{N} \cdot R_G$$

Dla szczególnego przypadku równoległego połączenia N rezystorów, jakim jest założenie takiej samej wartości rezystorów $R[\Omega] = 1\Omega$, wartość rezystancji R_{ZR} określa wzór (7) oraz przedstawia rysunek 3b.

Wzory (5) i (7) wskazują na możliwość analizowania wartości rezystancji $R_Z[\Omega]$ dla struktur połączeń, przyjmując wartości rezystancji $R1[\Omega] \div RN[\Omega] = R[\Omega] = 1\Omega$. Dopasowanie do rzeczywistej wartości rezystancji $R_Z[\Omega]$ nastąpi, gdy wynik syntezy przeprowadzanej dla rezystancjach $R1[\Omega] \div RN[\Omega] = R[\Omega] = 1\Omega$, pomnożymy przez wartość mnożnika R_G .

Dobór rzeczywistych wartości rezystorów dla wymaganej wartości mocy obciążającej układ elektryczny można obliczyć ze wzoru (8).

$$(8) P[W] = \frac{U^2[W]}{R_Z[\Omega]}$$

Oznaczanie rezystorów i ich wyprowadzeń

Każdy użyty w strukturze połączeń rezystor oznaczono jako RN . R oznacza symbol rezystora. Litera N oznacza numer rezystora. Zasada nadawania numeru rezystorom :

1. Pierwszy rezystor otrzymuje oznaczenie $R0$,

2. Kolejne rezystory otrzymują oznaczenia $R1, R2, R3$, natomiast ostatni $R(N-1)$,
3. Numeracja rezystorów jest pozycyjna. Rezystor o najwyższym numerze znajduje się z lewej strony zapisu, podobnie jak zapisy pozycyjne liczb. Łącznie w strukturze połączeń istnieje N rezystorów,
4. Taki sposób oznaczania rezystorów przyjęto ze względu na korelację z oznaczaniem bitów kodu binarnego,
5. Numerację wyprowadzeń rezystora przyjęto stosownie do oznaczeń rezystora. Jedno wyprowadzenie otrzymuje oznaczenie $N1$, drugie $N2$ (rys.4).



Rys.4. Sposób oznaczania rezystorów i wyprowadzeń

Synteza struktur połączeń rezystorów

Liczba struktur połączeń jest wyznaczana ze wzoru

(1). Każdy kolejny przypadek K tworzonej struktury połączeń będzie otrzymywał oznaczenie wg wzoru (9)

$$(9) S_N(K)$$

gdzie: N – liczba rezystorów, $K = 1, 2, 3, \dots, 2^N$ – kolejna struktura.

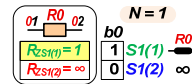
Analiza struktur $S1(K)$ dla $K = 1 \div 2$

Na rysunku 5 przedstawiano strukturę $S1(K)$ połączeń rezystora, dla liczby rezystor $N = 1$. Ponieważ $N = 1 \rightarrow$ liczba struktur wyniesie $S_N = 2^1 = 2$. Są to struktury o oznaczeniach $S_N(K)$, gdzie $K = 1 \div 2$. W połączeniu istnieje tylko ($N = 1$) i dlatego jest tylko rezystor $R0$. Są dwie wartości rezystancji $R_{ZSN(K)}[\Omega]$ co zostało przedstawione w tabeli 2.

Tabela 2. Wartość rezystancji $R_{ZSN(K)}[\Omega]$ dla $N = 1$, gdzie $b0$ to bit

$S_N(K)$	$R_{ZSN(K)}[\Omega]$	$b0$
$S1(1)$	$R_{ZS1(1)} = R0 = 1\Omega$	1
$S1(2)$	$R_{ZS1(2)} = \infty$	0

Przyjęcie stanu rozwarcia ($R_{ZS1(2)} = \infty$) dla struktury $S1(2)$ jest poprawne i prowadzi do poprawnej technicznej realizacji układu. Wartość $b0$ (powiązana z rezystorem $R0$) przyjmuje wartości jak na rysunku 5.



Rys.5. Wartości rezystancji $R_{ZSN(K)}$ dla $N = 1$

Analiza struktur $S2(K)$ dla $K = 1 \div 4$

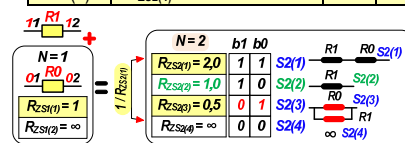
Na rysunku 6 pokazano strukturę połączeń rezystorów dla $S2(K)$ przy liczbie rezystorów $N = 2$.

Ponieważ $N = 2 \rightarrow$ ilość struktur wyniesie $S_N = 2^2 = 4$. Są to struktury o oznaczeniach $S_N(K)$, gdzie $K = 1 \div 4$.

W połączeniu istnieją rezystory $R1$ i $R0$, dla których wartości $R_{ZSN(K)}[\Omega]$ zawierają 4 przypadki. Kombinacje dla tej struktury zostały zawarte w tabeli 3. W tym przypadku pierwszy raz pojawia się charakterystyczna struktura $S2(3)$ o kodzie (01). Reprezentuje ona równoległe połączenie rezystorów $R1$ i $R0$.

Tabela 3. Wartość rezystancji $R_{ZSN(K)}[\Omega]$ dla $N = 2$, gdzie $b1, b0$ to bity

$S_N(K)$	$R_{ZSN(K)}[\Omega]$	$b1$	$b0$
$S2(1)$	$R_{ZS2(1)} = R1 + R0 = 2,0\Omega$	1	1
$S2(2)$	$R_{ZS2(2)} = R1 = 1,0\Omega$	1	0
$S2(3)$	$R_{ZS2(3)} = R1 // R0 = 0,5\Omega$	0	1
$S2(4)$	$R_{ZS2(4)} = \infty$	0	0



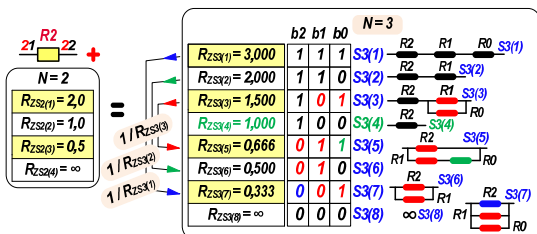
Rys.6. Wartości rezystancji $R_{ZSN(K)}$ dla $N = 2$

Analiza struktur S3(K) dla K = 1 ÷ 8

Na rysunku 7 pokazano strukturę połączeń rezystorów dla S3(K) przy liczbie rezystorów N = 3. Ponieważ N = 3 → liczba struktur wyniesie S_N = 2³ = 8. Będą to struktury o oznaczeniach SN(K), gdzie K = 1 ÷ 8. W połączeniu istnieją rezystory R2, R1 i R0, dla których wartości R_{ZSN(K)}[Ω] obejmują 8 przypadków, które zostały przedstawione w tabeli 4. Obok struktury (01), w tym przypadku po raz pierwszy pojawia się struktura S3(7) o kodzie (001). Reprezentuje ona równoległe połączenie rezystorów R2, R1 i R0. Pojawia się także struktura S3(5) o kodzie (011). Przedstawia ona rezystor R0 połączony szeregowo w jednej z gałęzi równoległego połączenia rezystorów R2 i R1.

Tabela 4. Wartość rezystancji R_{ZSN(K)}[Ω] dla N = 3, gdzie b2,b1,b0 to bity

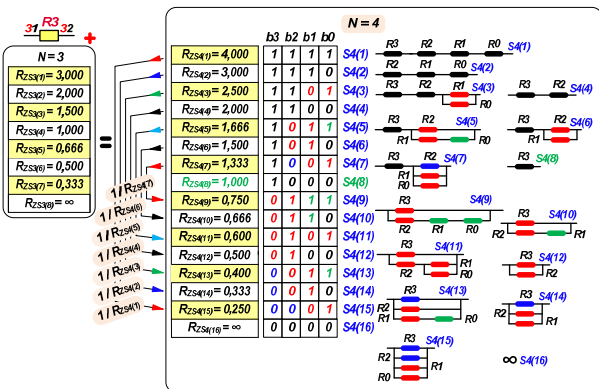
SN(K)	R _{ZSN(K)} [Ω]	b2	b1	b0
S3(1)	R _{ZS3(1)} = R2 + R1 + R0 = 3Ω	1	1	1
S3(2)	R _{ZS3(2)} = R2 + R1 = 2Ω	1	1	0
S3(3)	R _{ZS3(3)} = R2 + R1 // R0 = 1,5Ω	1	0	1
S3(4)	R _{ZS3(4)} = R2 = 1Ω	1	0	0
S3(5)	R _{ZS3(5)} = R2 // (R1 + R0) = 0,666Ω	0	1	1
S3(6)	R _{ZS3(6)} = R2 // R1 = 0,5Ω	0	1	0
S3(7)	R _{ZS3(7)} = R2 // R1 // R0 = 0,333Ω	0	0	1
S3(8)	R _{ZS3(8)} = ∞	0	0	0



Rys.7. Wartości rezystancji R_{ZSN(K)} dla N = 3

Analiza struktur S4(K) dla K = 1 ÷ 16

Na rysunku 8 pokazano strukturę połączeń rezystorów dla S4(K) przy liczbie rezystorów N = 4. Ponieważ N = 4 → ilość struktur S_N = 2⁴ = 16. Będą to struktury o oznaczeniach SN(K), gdzie K = 1 ÷ 16.



Rys.8. Wartości rezystancji R_{ZSN(K)} dla N = 4

W tym przypadku struktury połączeń tworzą rezystory R3, R2, R1 i R0, dla których wartości R_{ZSN(K)}[Ω] zawierają 16 przypadków, co zostało również przedstawione w tabeli 5.

Tabela 5. Wartość rezystancji R_{ZSN(K)}[Ω] dla N = 4

SN(K)	R _{ZSN(K)} [Ω]	b3	b2	b1	b0
S4(1)	R _{ZS4(1)} = R3 + R2 + R1 + R0 = 4Ω	1	1	1	1
S4(2)	R _{ZS4(2)} = R3 + R2 + R1 = 3Ω	1	1	1	0
S4(3)	R _{ZS4(3)} = R3 + R2 + R1 // R0 = 2,5Ω	1	1	0	1
S4(4)	R _{ZS4(4)} = R3 + R2Ω	1	1	0	0
S4(5)	R _{ZS4(5)} = R3 + R2 // (R1 + R0) = 1,666Ω	1	0	1	1
S4(6)	R _{ZS4(6)} = R3 + R2 // R1 = 1,5Ω	1	0	1	0
S4(7)	R _{ZS4(7)} = R3 + R2 // R1 // R0 = 1,333Ω	1	0	0	1
S4(8)	R _{ZS4(8)} = R3 = 1Ω	1	0	0	0
S4(9)	R _{ZS4(9)} = R3 // (R2 + R1 + R0) = 0,75Ω	0	1	1	1

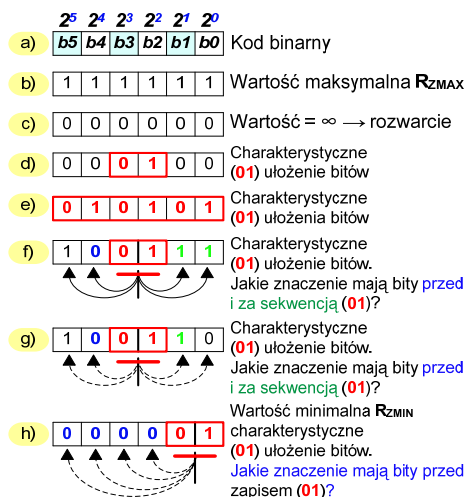
S4(10)	R _{ZS4(10)} = R3 // (R2 + R1) = 0,666Ω	0	1	1	0
S4(11)	R _{ZS4(11)} = R3 // (R2 + R1 // R0) = 0,6Ω	0	1	0	1
S4(12)	R _{ZS4(12)} = R3 // R2 = 0,5Ω	0	1	0	0
S4(13)	R _{ZS4(13)} = R3 // R2 // (R1 + R0) = 0,4Ω	0	0	1	1
S4(14)	R _{ZS4(14)} = R3 // R2 // R1 = 0,333Ω	0	0	1	0
S4(15)	R _{ZS4(15)} = R3 // R2 // R1 // R0 = 0,250Ω	0	0	0	1
S4(16)	R _{ZS4(16)} = ∞	0	0	0	0

Obok struktury (01), pojawia się struktura S4(15) o kodzie (0001). Prezentuje ona równoległe połączenie rezystorów R3, R2, R1 i R0. Pojawia się też nowa struktura S4(9) o kodzie (0111). W pokazanych przypadkach widać (tabela 7) zależności pomiędzy sekwencjami naturalnego kodu binarnego, a strukturą połączeń rezystorów. Na rysunku 9 przedstawiono charakterystyczne przypadki ułożenia bitów naturalnego kodu binarnego.

Tabela 7. Zestawienie wybranych zależności pomiędzy kodem binarnym, a strukturami połączeń rezystorów dla N = 6 rezystorów

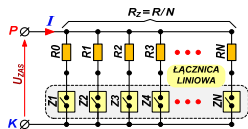
Kod	Sekwencja bitów						Znaczenie połączeń rezystorów
	b5	b4	b3	b2	b1	b0	
1	1	1	1	1	1	1	R5,R4,R3,R2,R1,R0 szeregowo
2	1	1	1	1	1	0	R5,R4,R3,R2,R1 szeregowo, bez R0
3	1	1	1	1	0	0	R5,R4,R3,R2 szeregowo, bez R1,R0
4	1	1	1	0	0	0	R5,R4,R3 szeregowo, bez R2,R1,R0
5	1	1	0	0	0	0	R5,R4 szeregowo, bez R3,R2,R1,R0
6	1	0	0	0	0	0	R5, bez R4,R3,R2,R1,R0
7	0	1	0	0	0	0	R5,R4 równoległe, bez R3,R2,R1,R0
8	0	0	1	0	0	0	R5,R4,R3 równoległe, bez R2,R1,R0
9	0	0	0	1	0	0	R5,R4,R3,R2 równoległe, bez R1,R0
10	0	0	0	0	1	0	R5,R4,R3,R2,R1 równoległe, bez R0
11	0	0	0	0	0	1	R5,R4,R3,R2,R1,R0 równoległe.
12	0	1	0	1	0	1	R5,R4 równoległe. Szeregowo z R4 równoległe R3,R2. Szeregowo z R2 równoległe R1,R0.
13	0	1	0	0	0	1	R5,R4 równoległe. Szeregowo z R4 równoległe R3,R2,R1,R0.
14	0	1	1	1	1	1	R5,R4 równoległe. Szeregowo z R4 szeregowo R3,R2,R1,R0.
15	0	1	1	1	0	1	R5,R4 równoległe. Szeregowo z R4 szeregowo R3,R2 i szeregowo z równoległe R1,R0.
16	0	1	0	1	1	1	R5,R4 równoległe. Szeregowo z R4 równoległe R3,R2, i szeregowo R2 z szeregowo R1,R0.
17	0	0	0	0	0	0	Stan rozwarcia połączeń rezystorów R5 ÷ R0. Wartość rezystancji R _Z = ∞.

Rys.9. Przypadki układu bitów kodu binarnego

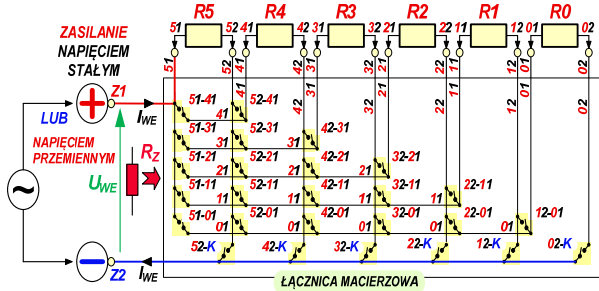


Połączenia pomiędzy rezystorami w strukturze SN(K)

Na rysunku 10 przedstawiono łącznicę liniową a na rysunku 11 przedstawiono łącznicę macierzową realizującą struktury SN(K). Łącznica macierzowa minimalizuje liczbę łączników tworzących strukturę SN(K). W zależności od rodzaju łącznika można realizować połączenia w obwodach AC lub DC.



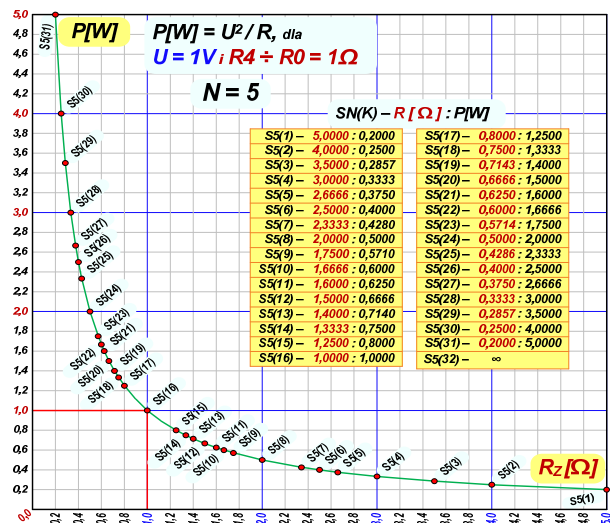
Rys. 10. Liniowa łącznica rezystorów



Rys. 11. Łącznica macierzowa realizująca struktury SN(K)

Hiperbola zależności mocy od wartości rezystancji R_z

Na rysunku 12 przedstawiono hiperbolę zależności mocy obciążenia od wartości rezystancji R_z . Można zauważyć istnienie na hiperboli nierównomiernego rozłożenia wartości R_z oraz P . Wprowadzenie układu z równomiernym ΔP dyskretnym przyrostem mocy obciążania usuwa nierównomierność rozłożenia wartości mocy P .



Rys.12. Zależność mocy $P[W]$ od wartości rezystancji R_z dla $N=5$

Zastosowanie syntezy struktur SN(K) w oparciu o kod binarny

Synteza struktur połączeń rezystorów oparta o kod binarny (rys.13) zawiera informację o strukturach SN(K) połączeń rezystorów, i pozwala obliczyć rezystancję zastępczą $R_{ZSN(K)}$ oraz wskazuje na sposób realizacji połączeń pomiędzy rezystorami. Metodę można zastosować dla:

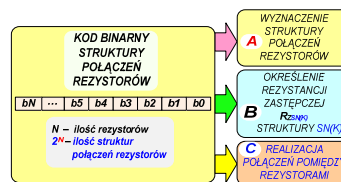
1. układu regulacji obciążenia zmienną mocą generatora elektrycznego,
2. układów fotowoltaicznych przy dokładnym śledzeniu punktu MPP,
3. układu obciążania generatora elektrycznego z dyskretnym przyrostem mocy obciążania ΔP .

W tabeli 8 przedstawiono wybrane zalety wynikające z (w liczbie zastosowanych rezystorów obciążenia) zastosowania łącznicy macierzowej zamiast łącznicy liniowej.

Tabela 8. Porównanie cech łącznicy macierzowej z liniową

L.p.	Łącznica liniowa	Łącznica macierzowa
1.	$N = 64$ dla $\Delta P = 0,125$ dla zakresu $P = 0,125 \div 8,000$	$N = 15$ dla $\Delta P = 0,125$ ($H = 8$) dla zakresu $P = 0,125 \div 8,000$
2.	$N = 100$ dla $\Delta P = 0,100$ dla zakresu $P = 0,10 \div 10,00$	$N = 19$ dla $\Delta P = 0,100$ ($H = 10$) dla zakresu $P = 0,10 \div 10,00$

Dla rezystorów dużej i bardzo dużej mocy ma to ogromne znaczenie ekonomiczne. Przykładowo, dla łącznicy liniowej ($\Delta P = 0,1$ i zakresie zmian wartości mocy $P = 0,1 \div 10$) - (100 dyskretnych wartości) potrzebna jest liczba $N = 100$ rezystorów. Dzięki metodzie macierzowej liczba ta maleje do $N = 19$ rezystorów.



Rys.13. Co zawiera kod binarny struktury połączeń rezystorów?

Wnioski

Należy porównać rysunki 5 ÷ 13, a także tabelę 2 ÷ 7 celem analizy wszystkich przypadków połączeń rezystorów. Dla danego kodu binarnego istnieje równoważna struktura połączeń. Zasady korelacji pomiędzy strukturą połączeń, a odpowiadającym tej strukturze sekwencją kodu binarnego ma zastosowanie dla dowolnej długości słowa binarnego.

Na podstawie sekwencji bitów kodu binarnego można rysować unikalne struktury połączeń rezystorów, zgodnie z zasadami zamieszczonymi w tabeli 7.

Szczegółowe tabele z dokładną analizą struktur połączeń w odniesieniu do kodu binarnego dla $N = 1 \div 19$ rezystorów znajdują się w pracach [12, 13].

Autorzy:

dr hab. inż. Jan Iwaszkiewicz, e-mail: j.iwaszkiewicz@we.umg.edu.pl,
dr inż. Adam Muc, e-mail: a.muc@we.umg.edu.pl, dr inż. Leszek Piechowski, e-mail: l.piechowski@we.umg.edu.pl, Uniwersytet Morski w Gdyni, Katedra Automatyki Okrętowej, Wydział Elektryczny, ul. Morska 81-87, 81-200 Gdynia

LITERATURA

- [1] Pasko M., Adrikowski T. Elementy liniowych obwodów elektrycznych i elektronicznych. Synteza układów pasywnych, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011
- [2] Figotin A., Synthesis of lossless electric circuits based on prescribed Jordan forms, Journal of Mathematical Physics, Volume 61, DOI:10.1063/5.0020422, 2020
- [3] Mohamed Aly W., Analog Electric Circuits Synthesis using a Genetic Algorithm Approach, International Journal of Computer Applications, Vol. 121, No.4, 2015
- [4] Micu A.; Micu D.; Chira L., The Synthesis of Electroparametric Circuits, 2006 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, 25-28 May 2006, DOI: 10.1109/AQTR.2006.254536
- [5] Shimotani T., Sato Y., Igarashi H., Direct synthesis of equivalent circuits from reduced FE models using proper orthogonal decomposition, The international jour. for computation and mathematics in electrical and electronic eng., Vol. 35 No. 6, pp. 2035-2044, 2016
- [6] Sato Y.; Shimotani T.; Igarashi H., Synthesis of Cauer-Equivalent Circuit Based on Model Order Reduction Considering Nonlinear Magnetic Property, IEEE Transactions on Magnetics, Vol.: 53, DOI: 10.1109/TMAG.2017.2684242, 2017
- [7] Górecki K., Zarębski J., Górecki P., Ptak P., Compact thermal models of semiconductor devices – a review, International Journal of Electronics and Telecommunications, 65 (2019), nr. 2, 151-158
- [8] Muc. A., Szarmach A., Szurowska E., Dzierżanowski J., Zastosowanie syntezy i analizy obwodów elektrycznych do wyznaczania oporów naczyniowych tkanki mózgowej, Pomiary Automatyka, Robotyka, nr. 3/ 2014, s. 107 – 111
- [9] Ravelo B.; Agnus B.; Carras S.; Davin T., IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, Volume: 67, DOI: 10.1109/TCSII.2019.2902220, 2020
- [10] Piechowski L., Cenian A., Cenian W. Patent PL398628A1, UPRP, 2012
- [11] Piechowski L., Cenian A., Cenian W., Adrych K. PL397828A1, UPRP, 2012
- [12] Bogucki P. Praca dyplomowa inżynierska UMG WE KAO 2021
- [13] Grzegowski K. Praca dyplomowa inżynierska UMG WE KAO 2022