

Jan CHOJCAN, Lucjan KARWAN
Instytut Elektroniki

METODA ZNAJDOWANIA NAJNIEKORZYSTNIEJSZYCH WARUNKÓW PRACY OBWODU:
ALGORYTM I ZASTOSOWANIE

Streszczenie. W artykule przedstawiono sposób obliczania współczynników wpływu zmian wartości elementów liniowego obwodu prądu stałego na wielkość wyjściową (napięcie) oraz obliczania najniekorzystniejszych warunków pracy obwodu. Podano schemat blokowy programu oraz przykład liczbowy. Przeprowadzono porównanie tej metody z innymi.

1. WSTĘP

Jednym z elementów projektowania układów elektronicznych jest analiza wpływu rozrzutu wartości parametrów (wokół wartości znamionowych) na wielkości wyjściowe, (np. wzmocnienie układu, napięcie) na wartości których narzucone są dopuszczalne przedziały zmian.

Wprowadźmy następujące oznaczenia:

- P - wektor wartości parametrów obwodu,
- P_n - wektor znamionowych wartości parametrów obwodu,
- t - wektor wartości tolerancji parametrów obwodu,
- q - wektor współczynników wpływu zmian parametrów na wybraną wielkość wyjściową (np. napięcie),
- S - wektor czułości,
- α - macierz przekątniowa o elementach $\alpha_{ii} = \text{sign}(q_i)$,
- I - wektor kolumnowy jednostkowy.

Niech wielkość wyjściowa W obwodu będzie określona przez parametry obwodu zależnością

$$W = W(p_1, p_2, \dots, p_1) = W(P)$$

$$W_n = W(P_n),$$

natomiast wartości graniczne:

górna

$$W_g = W(P_g),$$

gdzie

$$P_g = P_{n,p} \cdot (1 + 0,01 \cdot \alpha \cdot t)$$

a

$$P_{n,p} \cdot 1 = P_n$$

dolna

$$W_d = W(P_d),$$

gdzie

$$P_d = P_{n,p} \cdot (1 - 0,01 \cdot \alpha \cdot t)$$

Często postępuje się następująco: znajomość współczynników wpływu zmian wartości parametrów na wielkość wyjściową pozwala określić, które elementy powinny mieć małe dopuszczalne tolerancje wartości, a dla których to nie jest konieczne. Po przyjęciu wartości składowych wektora t sprawdza się czy

$$W_d \leq W(P_{n,p} \cdot (1 - 0,01 \cdot \alpha \cdot t)) \leq W(P_{n,p} \cdot (1 + 0,01 \cdot \alpha \cdot t)) \leq W_g$$

jeśli nie, to zmniejsza się wartość składowych wektora tolerancji, jeśli tak to można je (niektóre z nich) zwiększyć.

Zajmiemy się znacznie prostszym przypadkiem: dane wartości składowych wektorów P_n i t , należy obliczyć najniekorzystniejsze warunki pracy obwodu (W_d i W_g).

Ponieważ obliczanie najbardziej niekorzystnych warunków pracy obwodu będzie fragmentem rozbudowanego programu analizy obwodów liniowych, do jego napisania wykorzystano fragmenty programu ALINIES [6].

2. OPIS METODY

Współczynniki wpływu zmian wartości elementów na wielkość wyjściową q_1 obliczono z zależności

$$q_1 = \frac{W(p_{1n}, p_{2n}, \dots, p_{1n} + \Delta p_1, \dots, p_{1n}) - W(P_n)}{\Delta p_1},$$

gdzie: Δp_1 - przyrost wartości i-tego elementu,
a czułość (w-go wyjścia) z zależności

$$S_1^W = q_1 \cdot \frac{p_{1n}}{W(P_n)}$$

W programie NAPS (najbardziej niekorzystny przypadek pracy obwodów prądu stałego) obliczenie współczynników wpływu zmian wartości elementów na wartość wybranego napięcia oblicza się przez rozwiązanie obwodu przy zmienionej ($0 + \Delta p_1$) wartości i -tego elementu. Do analizy zastosowano metodę potencjałów węzłowych a otrzymany układ równań rozwiązano metodą Gaussa z wyborem największego elementu [6].

Najniekorzystniejsze warunki pracy obwodu oblicza się analizując obwód w którym wartości elementów wyznaczone są z zależności

$$p'_{ig} = p_{in}(1 + 0.01 \cdot \alpha_{ii} \cdot t_{oi})$$

przy obliczaniu najniekorzystniejszej wartości górnej oraz

$$p'_{id} = p_{in}(1 - 0.01 \cdot \alpha_{ii} \cdot t_{oi})$$

przy obliczaniu najniekorzystniejszej wartości dolnej.

Dla najniekorzystniejszych wartości elementów górnej (P_g) i dolnej (P_d) oblicza się współczynniki wpływów i porównuje ich znaki ze znakami współczynników wpływu obliczonymi dla wartości znamionowych elementów (P_n). Dla małych tolerancji przyjmuje się, że jeśli znaki są zgodne to

$$P'_g = P_g \quad \text{oraz} \quad P'_d = P_d$$

w przeciwnym razie obliczone wartości elementów nie stanowią najniekorzystniejszej konfiguracji, a wartości graniczne elementów określone są przez

$$P_{ig} = p_{in}(1 + 0.01 \cdot \alpha'_{ii} \cdot t_{oi})$$

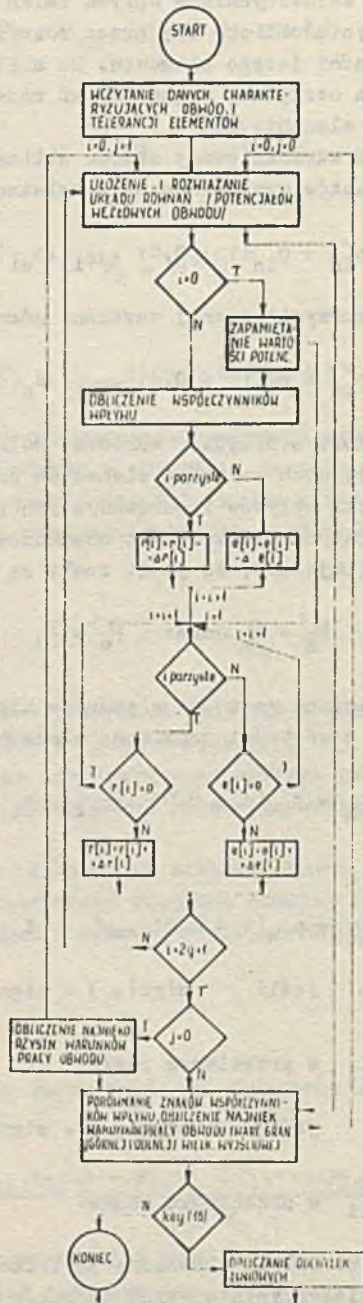
oraz

$$P_{id} = p_{in}(1 - 0.01 \cdot \alpha''_{ii} \cdot t_{oi})$$

$$\text{gdzie} \quad \alpha'_{ii} = \begin{cases} \alpha_{ii} & \text{jeśli} \quad \text{sign}(q_i) = \text{sign}(q_{ig}), \\ -\alpha_{ii} & \text{w przeciwnym razie,} \end{cases}$$

$$\alpha''_{ii} = \begin{cases} \alpha_{ii} & \text{jeśli} \quad \text{sign}(q_i) = \text{sign}(q_{id}) \\ -\alpha_{ii} & \text{w przeciwnym razie.} \end{cases}$$

Ponieważ współczynniki wpływu określone są tylko dla niezerowych elementów, obliczenie najniekorzystniejszych warunków pracy obwodu (bez sprawozdania) wymaga $(1+n+n+2)$ -krotnego rozwiązania obwodu,



Rys. 1. Uproszczony schemat blokowy programu NAPS obliczania najbardziej niekorzystnych przypadków pracy obwodów prądu stałego

gdzie:

m - ilość rezystorów w obwodzie,

n - ilość niezerowych źródeł.

Uproszczony schemat blokowy programu NAPS przedstawiono na rys. 1.

W programie możliwe jest też obliczenie odchyłki liniowej od wartości znamionowej z zależności

$$\Delta W = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^1 t_{oi} \cdot P_{in} \cdot |q_i|.$$

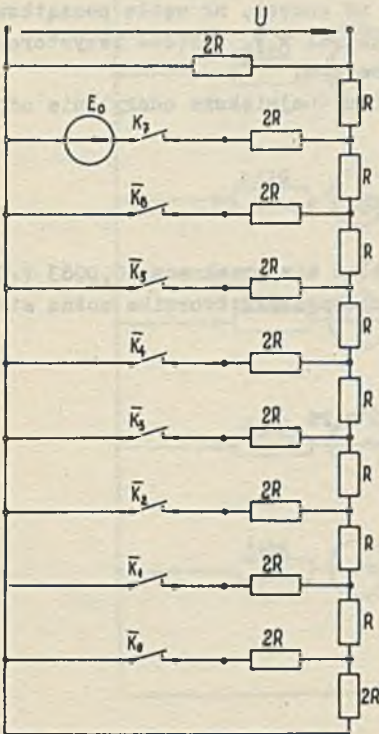
3. PRZYKŁAD

Wykorzystanie programu NAPS do obliczania najniekorzystniejszych warunków pracy przedstawione zostanie na przykładzie analizy dokładności przetwornika cyfrowo-analogowego w połowie zakresu napięcia wyjściowego. Rozważmy 8-bitowy przetwornik z dzielnikiem napięć w układzie drabinkowym [7]. Niech na wejściu cyfrowym pojawi się słowo 10000000. Wówczas przy założeniu idealnego napięcia wzorcowego E_0 , idealnych kluczy \bar{K}_1, K_7 oraz dokładnych rezystorów obowiązuje

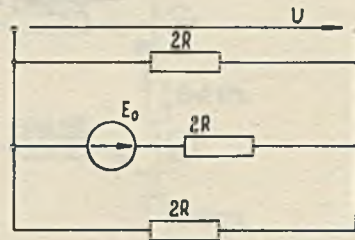
schemat zastępczy przetwornika pokazany na rys. 2. Łatwo go przekształcić do postaci jak na rys. 3 i obliczyć napięcie na wyjściu analogowym dla połowy zakresu

$$U = \frac{E_0}{3R} \cdot R = \frac{E_0}{3}$$

Niech $E_0 = 6,3$ V, wówczas $U = 2,1$ V.



Rys. 2. Schemat zastępczy idealnego 8-bitowego przetwornika cyfrowo-analogowego



Rys. 3. Schemat zastępczy idealnego przetwornika, gdy na jego wejściu pojawi się słowo 10000000

Schemat zastępczy rzeczywistego układu (rys. 4) uwzględnia niedokładności poszczególnych elementów. Napięcie wzorcowe można uzyskać ze skończoną tolerancją, podobnie rezystory w układzie drabinkowym, przy czym ich tolerancje rosną w kierunku młodszych bitów. Półprzewodnikowe klucze są aproksymowane przez rezystancje nasycenia 8Ω i napięcia, przesuujące 15 mV, które różnią się w podanych granicach dla poszczególnych egzemplarzy.

Dla przyjętych, jak na rys. 4, numerów gałęzi i węzłów dane wejściowe mają postać:

1,25,0,17,2,
 1,1,16,0,20000,0,0.05,
 2,2,15,0,20000,0,0.1,
 .
 .
 24,10,17,0.15,8,20,2 π ,
 25,9,17,0.015,8,20,25.

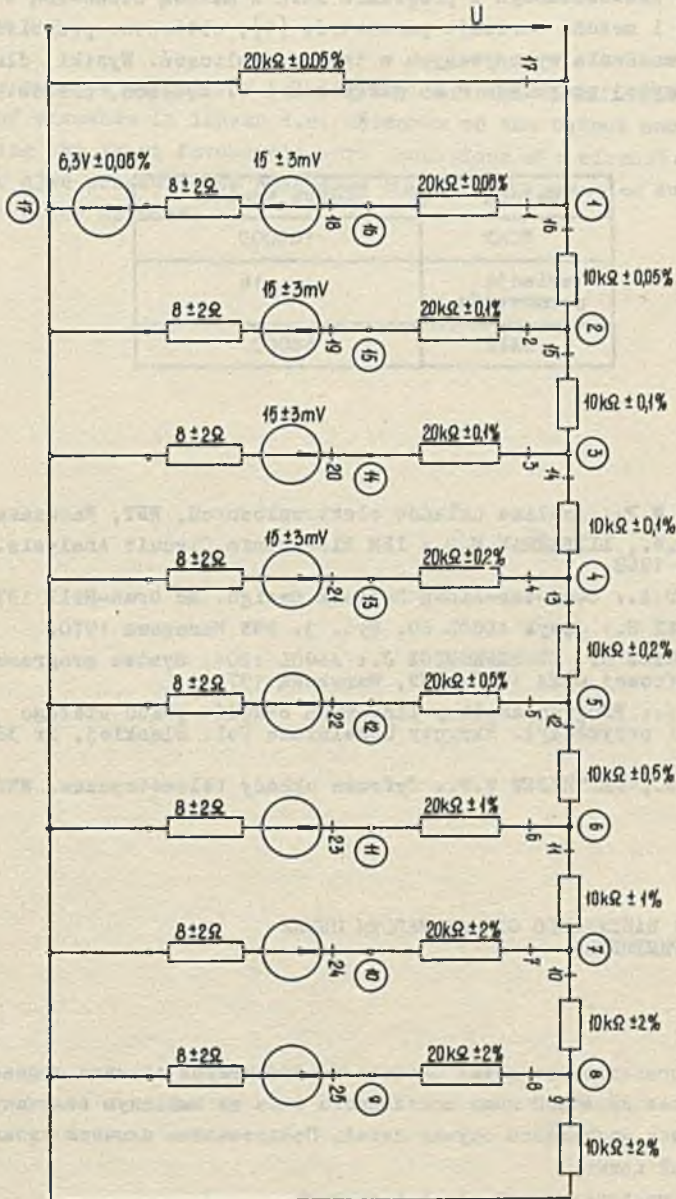
W pierwszym wierszu podano kolejno: nr przykładu, ilość gałęzi. ilość gałęzi z SPM, ilość węzłów i numer węzła, napięcie którego jest wielkością wyjściową. W następnych wierszach podano: nr gałęzi, nr węzła początkowego i końcowego gałęzi, wartość SEM (SPM) gałęzi w V, wartość rezystora gałęzi w Ω , tolerancję SEM (SPM) i rezystora w %.

Najniekorzystniejsze warunki pracy obwodu (największe odchylenie od wartości $U = 2,1$ V) są nie większe od

$$U_g = V[1]_g = 2,1083 \text{ V.}$$

W najbardziej niekorzystnym przypadku błąd nie przekracza 0,0083 V. Odnosząc go do całego zakresu napięcia wyjściowego przetwornika można stwierdzić, że jego dokładność jest lepsza niż

$$\frac{0,0083}{4,2} \cdot 100\% < 0,2\%$$



Rys. 4. Schemat zastępczy rzeczywistego przetwornika cyfrowo-analogowego. Na rysunku naniesiono tolerancje elementów oraz numery węzłów i gałęzi

4. PORÓWNIANIE

Dla porównania efektywności proponowanego sposobu obliczania współczynników wpływu zastosowanego w programie NAPS z metodą stosowaną w programie ECAP [2] i metodą wariacji parametrów [1], obliczono przybliżone liczby operacji mnożenia wykonywanych w trakcie obliczeń. Wyniki, dla rozpatrywanego powyżej przykładu o 25 gałęziach i 17 węzłach, przedstawiono w tabeli.

Metoda	Liczba mnożeń
ECAP	109000
Wariacja parametrów	$2 \cdot 10^{16}$
NAPS	68000

LITERATURA

- [1] SIGORSKI W.P.: Analiza układów elektronicznych, WNT, Warszawa 1965.
- [2] JENSEN R.W., LIEBERMAN M.D.: IBM Electronic Circuit Analysis. Prentice-Hall, 1968.
- [3] CALAHAN D.A.: Computer-Aided Network Design. Mc Graw-Hill 1972.
- [4] PASZKOWSKI S.: Język ALGOL 60. Wyd. 3. PWN Warszawa 1970.
- [5] JERZYKIEWICZ K., SZCZEPKOWICZ J.: ALGOL 1204. System programowania maszyny cyfrowej ODRA 1204. PWN, Warszawa 1972.
- [6] CHOJCAN J.: Program analizy liniowych obwodów prądu stałego (Program ALINIES i przykłady). Skrypty Uczelniane Pol. Śląskiej, Nr 385, Gliwice 1972.
- [7] MAŁOW W.S., DMITRIJEW W.F.: Cyfrowe układy telemetryczne. WNT, Warszawa 1971.

МЕТОД РАСЧЁТА НАИХУДШЕГО СЛУЧАЯ РАБОТЫ ЦЕПЕЙ:
АЛГОРИТМ И ПРИМЕНЕНИЕ

Р е з ю м е

В статье представлено метод расчёта коэффициентов влияния изменения значений элементов линейной цепи постоянного тока на выходную величину напряжения и расчёт наихудшего случая цепей. Представлена блочная схема программы и численный пример.

Сравнивается представленный метод с другими.

A METHOD FOR DETERMINING THE LEAST FAVOURABLE WORK CONDITIONS OF A CIRCUIT

S u m m a r y

In the paper a method for solving the influence coefficient for value changes of elements in linear d.c. networks on the output and a method for determining the least favourable work conditions of a circuit are described. The paper also presents the programme diagram with examples and a comparison with other methods.