



Patent dodatkowy
do patentu _____

Zgłoszono: 19.I.1963 (P 100 546)

Pierwszeństwo: _____

Opublikowano: 31.VII.1965

Kl. ~~21e~~ 36/10

MKP G 069 7/62

UKD

Twórca wynalazku

i

Henryk Woźniacki, Warszawa (Polska)

właściciel patentu:

Sposób tworzenia algorytmów i programowania obliczeń sieci elektrycznych oraz urządzenie do stosowania tego sposobu, zwane algorytmizatorem sieciowym

1

Stosowane obecnie sposoby tworzenia algorytmów i programowania obliczeń sieci elektrycznych są bardzo pracochłonne, gdyż polegają na rozwiązywaniu układów równań o wielu niewiadomych lub użyciu metod iteracyjnych. W przypadku zastosowania maszyn cyfrowych do obliczeń i analizy sieci elektrycznych pracochłonne czynności przygotowania algorytmów i programów obniżają efektywność użycia tych maszyn. Dotychczas nie stosuje się algorytmizatorów sieciowych służących do tworzenia algorytmów i programowania sieci elektrycznych. Stosowane obecnie analogowe analizatory sieciowe posiadają złożoną budowę i są drogimi urządzeniami. Dają one wyniki obciążone błędami uzależnionymi od dokładności ich elementów i podzespołów. Wyniki te jako wielkości pomiarowe nie posiadają postaci formuł matematycznych dogodnych do analizy i programowania obliczeń sieci elektrycznych.

Sposób tworzenia algorytmów i programowania obliczeń sieci elektrycznych według wynalazku, polegający na zastosowaniu układu zero-impedancyjnego, zwanego dalej w skrócie układem ZI, ułatwia znacznie i zmniejsza pracochłonność tych czynności oraz umożliwia łatwe ich zautomatyzowanie. Oparty na tym sposobie algorytmizator sieciowy służący do tworzenia algorytmów i programowania obliczeń sieci elektrycznych pozwala uzyskiwać wyniki w postaci gotowych wzorów matematycznych na wielkości elektryczne anali-

2

zowanej sieci elektrycznej. Algorytmizator sieciowy może być także użyty w postaci przystawki programującej do uniwersalnej elektronicznej maszyny cyfrowej.

5 Układ ZI jest to sieć zbudowana tylko z łączników elektrycznych połączonych ze sobą przewodami i posiadająca taką samą strukturę topologiczną co analizowana sieć elektryczna. Każdej gałęzi analizowanej sieci odpowiada w układzie ZI jeden łącznik. Przykładowy schemat analizowanej sieci elektrycznej i jej układu ZI przedstawia fig. 1. Na schemacie sieci elektrycznej, pokazanym na fig. 1a, symbole $y_1, y_2, \dots, y_5$ oznaczają admitancje poszczególnych gałęzi tej sieci, symbole α, β, γ i δ oznaczają węzły sieci, symbole E_2 i E_4 oznaczają napięcia źródeł napięciowych, symbole I_1, I_2 i $I_3 = I_1 + I_2$ oznaczają wydajność prądową źródeł prądowych, symbole U_3 i U_4 oznaczają obliczane napięcia na gałęziach y_3 i y_4 . Na schemacie układu ZI, pokazanym na fig. 1b, symbole 1, 2, ..., 5 oznaczają łączniki. Łącznik 1 odpowiada gałęzi y_1 analizowanej sieci elektrycznej, łącznik 2 odpowiada gałęzi y_2 itd. Symbole α, β, γ i δ oznaczają węzły układu ZI reprezentujące 15 25 odpowiednio tak samo oznaczone węzły analizowanej sieci elektrycznej.

30 Za pomocą łączników w układzie ZI można utworzyć tak zwane drzewo, tj. połączyć galwanicznie wszystkie węzły układu ZI w ten sposób, aby nie powstał ani jeden obwód. Na przykład,

jeśli w układzie ZI pokazanym na fig. 1b włączone zostaną łączniki 2, 3 i 4, a wyłączone zostaną łączniki 1 i 5, to powstanie drzewo pokazane na fig. 2a.

Drzewo posiada $(v-1)$ włączonych łączników, przy czym v oznacza liczbę węzłów układu ZI.

W układzie ZI można utworzyć T różnych drzew, przy czym

$$T = \det A_{v-1}^{v-1} \quad (1)$$

gdzie: A_{v-1}^{v-1} jest symetryczną macierzą węzłową układu ZI stopnia $(v-1)$, której elementy diagonalne, $a_{\gamma\gamma}$ są równe ilości przewodów zbiegających się w poszczególnych węzłach γ a pozostałe elementy, $a_{\delta\epsilon} = a_{\epsilon\delta}$ są równe ilości łączników łączących węzły δ i ϵ — ze znakiem ujemnym.

Na przykład w układzie ZI pokazanym na fig. 1b można utworzyć

$$T = \det \begin{vmatrix} 2 & -1 & 0 \\ -1 & 3 & -1 \\ 0 & -1 & 2 \end{vmatrix} = 8$$

różnych drzew, których schematy pokazane są na fig. 2. Na tych schematach łączniki włączone przedstawiono w postaci odcinków, natomiast łączników wyłączonych nie pokazano.

Algorytm D_1 wartości drzewa 1 oblicza się według następującego wzoru:

$$D_1 = \prod_{i=1}^{v-1} y_{1i} \quad (2)$$

gdzie

y_{1i} — admitancja gałęzi reprezentowanej przez włączony łącznik i drzewa 1

v — liczba węzłów układu ZI.

Na przykład algorytm wartości drzewa pokazanego na fig. 2a jest następujący:

$$D_1 = y_2 \cdot y_3 \cdot y_4$$

Jeśli w układzie ZI dokonamy zwarcia dwóch węzłów, to otrzymamy nowy układ, tzw. układ pochodny ZI. W układzie pochodnym ZI tworzy się drzewa w identyczny sposób jak w układzie pierwotnym ZI. Na przykład fig. 3 przedstawia schemat układu pochodnego ZI powstałego w wyniku zwarcia węzłów α i γ w układzie pierwotnym ZI pokazanym na fig. 1b. Fig. 4 przedstawia zaś schematy wszystkich drzew tego układu pochodnego ZI.

Admitancję $Y_{\mu\nu}$ mierzona między węzłami μ i ν analizowanej sieci elektrycznej oblicza się według następującego wzoru:

$$Y_{\mu\nu} = \frac{\sum_{l=1}^T D_l}{\sum_{l'=1}^{T'} D_{l'}} \quad (3)$$

gdzie:

D_1 — algorytm wartości drzewa 1 układu ZI analizowanej sieci elektrycznej

T — liczba drzew układu ZI

$D_{l'}$ — algorytm wartości drzewa l' układu pochodnego ZI otrzymanego w wyniku zwarcia w układzie pierwotnym ZI węzłów μ i ν

T' — liczba drzew układu pochodnego ZI.

Na przykład admitancję $Y_{\alpha\gamma}$ mierzona między węzłami α i γ sieci elektrycznej, której schemat

pokazano na fig. 1a, oblicza się według następującego wzoru ułożonego na podstawie schematów drzew pokazanych na fig. 2 i fig. 4:

$$Y_{\alpha\gamma} = (y_2 \cdot y_3 \cdot y_4 + y_1 \cdot y_2 \cdot y_3 + y_2 \cdot y_3 \cdot y_5 + y_1 \cdot y_4 \cdot y_5 + y_2 \cdot y_4 \cdot y_5 + y_1 \cdot y_4 \cdot y_3 + y_1 \cdot y_3 \cdot y_5 + y_1 \cdot y_2 \cdot y_5) : (y_1 \cdot y_2 + y_1 \cdot y_3 + y_1 \cdot y_4 + y_2 \cdot y_5 + y_3 \cdot y_5 + y_4 \cdot y_5 + y_2 \cdot y_4 + y_3 \cdot y_4)$$

W celu określenia wielkości napięć na gałęziach analizowanej sieci elektrycznej należy do tworzonego w układzie ZI drzew włączać zastępcze źródła, reprezentujące źródła napięciowe i prądowe analizowanej sieci. Na przykład na fig. 5 uwidocznione są schematy wszystkich drzew układu ZI pokazanego na fig. 1b, z włączonymi źródłami.

Na drzewie z włączonymi źródłami określa się napięcia międzywęzłowe i prądy w łącznikach lub dokonuje się ich pomiaru.

Napięcie U_k na gałęzi k łączącej węzły μ i ν analizowanej sieci elektrycznej (patrz fig. 6) oblicza się według następującego wzoru:

$$U_k = \frac{\sum_{l=1}^T D_l \cdot \left(u_{1\mu\nu} + \frac{i_{lk}}{y_{lk}} \right)}{\sum_{l=1}^T D_l} = \frac{\sum_{l=1}^T (D_l \cdot u_{1\mu\nu}) + \sum_{l=1}^T \left(\frac{dD_l}{dy_{lk}} \cdot i_{lk} \right)}{\sum_{l=1}^T D_l} \quad (4)$$

gdzie:

$D_1 = \prod_{i=1}^{v-1} y_{1i}$ — algorytm wartości drzewa 1 układu Z

y_{1i} — admitancja gałęzi reprezentowanej przez i — ty łącznik 1 — tego drzewa

v — liczba węzłów układu ZI

T — liczba drzew układu ZI

$u_{1\mu\nu}$ — napięcie między węzłami μ i ν 1 — tego drzewa z włączonymi źródłami

i_{lk} — prąd w łączniku k 1 — tego drzewa z włączonymi źródłami; jeśli w 1 — tym drzewie brak jest włączonego łącznika k , to $i_{lk} = 0$

y_{lk} — admitancja gałęzi k .

Na przykład napięcie U_3 na gałęzi y_3 sieci elektrycznej, której schemat pokazany jest na fig. 1a, oblicza się według następującego wzoru ułożonego na podstawie schematów drzew z włączonymi źródłami, przedstawionych na fig. 5:

$$U_3 = (y_1 \cdot y_4 \cdot y_5 \cdot E_4 + y_2 \cdot y_4 \cdot y_5 \cdot E_4 + y_1 \cdot y_2 \cdot y_5 \cdot E_2 - y_2 \cdot y_4 \cdot I_3 - y_1 \cdot y_2 \cdot I_3 - y_2 \cdot y_5 \cdot I_2 - y_1 \cdot y_4 \cdot I_3) : (y_2 \cdot y_3 \cdot y_4 + y_1 \cdot y_2 \cdot y_3 + y_2 \cdot y_3 \cdot y_5 + y_1 \cdot y_4 \cdot y_5 + y_2 \cdot y_4 \cdot y_5 + y_1 \cdot y_3 \cdot y_4 + y_1 \cdot y_3 \cdot y_5 + y_1 \cdot y_2 \cdot y_5)$$

Analogicznie wzór na napięcie U_4 na gałęzi y_4 (patrz fig. 1a), zapisany na podstawie obserwacji schematów drzew pokazanych na fig. 5, jest następujący:

$$U_4 = (y_2 \cdot y_3 \cdot y_4 \cdot E_4 + y_1 \cdot y_2 \cdot y_3 \cdot E_2 + y_1 \cdot y_4 \cdot y_5 \cdot E_4 + y_2 \cdot y_4 \cdot y_5 \cdot E_4 + y_1 \cdot y_3 \cdot y_4 \cdot E_4 + y_1 \cdot y_2 \cdot y_5 \cdot E_2 + y_2 \cdot y_3 \cdot I_1 - y_2 \cdot y_5 \cdot I_2 + y_1 \cdot y_3 \cdot I_3) : (y_2 \cdot y_3 \cdot y_4 + y_1 \cdot y_2 \cdot y_3 + y_2 \cdot y_3 \cdot y_5 + y_1 \cdot y_4 \cdot y_5 + y_2 \cdot y_4 \cdot y_5 + y_1 \cdot y_3 \cdot y_4 + y_1 \cdot y_3 \cdot y_5 + y_1 \cdot y_2 \cdot y_5)$$

Jeśli w sieci istnieją tylko źródła napięciowe.

wtedy wzór na napięcie między dowolnymi węzłami μ i ν sieci jest następujący:

$$U_{\mu\nu} = \frac{\sum_{l=1}^T D_l \cdot u_{l,\mu\nu}}{\sum_{l=1}^T D_l} \quad (5)$$

Wzór ten obowiązuje również dla węzłów μ i ν nie połączonych bezpośrednio gałęzią.

Na przykład jeśli założymy, że w sieci, której schemat jest pokazany na fig. 1a, wydajność prądowa źródeł prądowych I_1 i I_2 jest równa zero, czyli $I_1 = I_2 = I_3 = 0$, wtedy napięcie między węzłami α i γ wyniesie (patrz Fig. 5):

$$U_{\alpha\gamma} = [(y_2 \cdot y_3 \cdot y_4 + y_1 \cdot y_2 \cdot y_3 + y_2 \cdot y_3 \cdot y_5) \cdot E_2 + y_2 \cdot y_4 \cdot y_5 \cdot (E_2 - E_4) + y_1 \cdot y_3 \cdot y_4 \cdot E_4] : [y_2 \cdot y_3 \cdot y_4 + y_1 \cdot y_2 \cdot y_3 + y_2 \cdot y_3 \cdot y_5 + y_1 \cdot y_4 \cdot y_5 + y_2 \cdot y_4 \cdot y_5 + y_1 \cdot y_3 \cdot y_4 + y_1 \cdot y_3 \cdot y_5 + y_1 \cdot y_2 \cdot y_5]$$

A zatem drogą tworzenia drzew w układzie ZI można za pomocą wzorów 3, 4 i 5 bezpośrednio ustalać algorytmy na interesujące nas parametry sieci elektrycznej.

Tworzenie drzew w układzie ZI przez włączanie i wyłączanie łączników tego układu może być w łatwy sposób zautomatyzowane przy wykorzystaniu następujących właściwości drzewa:

że wszystkie węzły układu ZI są połączone galwanicznie przez włączone łączniki drzewa, drzewo nie posiada ani jednego obwodu, oraz liczba włączonych łączników w drzewie równa się liczbie węzłów układu ZI pomniejszonej o jedność.

Oparty na powyższych zasadach algorytmizator sieciowy może być zbudowany w różny sposób w zależności od przeznaczenia i stopnia zautomatyzowania poszczególnych czynności. Algorytmizator sieciowy posiada blok łączników służący do zbudowania układu ZI analizowanej sieci elektrycznej oraz do tworzenia za pomocą tych łączników kolejnych drzew układu ZI. Proces włączania względnie wyłączania łączników oparty jest o wyżej wymienione trzy właściwości drzewa. W przypadku wykorzystania właściwości pierwszej algorytmizator sieciowy posiada blok węzłów zaopatrzony we wskaźniki względnie jeden wskaźnik napięcia na węzłach układu ZI. Dla określania algorytmów napięć międzywęzłowych i prądów gałęziowych w analizowanej sieci elektrycznej algorytmizator sieciowy musi zawierać blok napięć międzywęzłowych i prądów źródeł prądowych, blok napięć źródeł napięciowych i prądów gałęziowych oraz blok źródeł zasilania ze wskaźnikiem napięcia lub blok przełączników.

Zamiast bloku źródeł zasilania ze wskaźnikiem napięcia i bloku przełączników algorytmizator sieciowy może posiadać system wskaźnikowy, wyróżniający na przykład w sposób świetlny krawędzie drzewa grafu analizowanej sieci elektrycznej, albo urządzenie rejestrujące włączone łączniki drzewa układu ZI, lub też oba te układy.

Przykładowy układ prostego algorytmizatora sieciowego według wynalazku pokazany jest na fig. 7. Algorytmizator ten składa się z bloku łączników A, bloku węzłów B oraz z bloku napięć międzywęzłowych i prądów źródeł prądowych C i bloku napięć źródeł napięciowych i prądów gałęziowych

D a ponadto z bloku źródeł zasilania ze wskaźnikiem napięcia H lub bloku przełączników F.

Pary gniazdek I, II itd. w bloku A stanowią końcówki łączników 1, 2 itd. układu ZI analizowanej sieci elektrycznej. Gniazdzka te należy połączyć ze sobą za pomocą przewodów zakończonych wtyczkami zgodnie ze strukturą analizowanej sieci elektrycznej. W ten sposób otrzymuje się układ ZI. Do łączenia gniazdek używa się izolowanych jedнопроводовых sznurów laboratoryjnych zakończonych obustronnie wtyczkami posiadającymi boczne otwory wtykowe.

Po zestawieniu w bloku A układu ZI, węzły tego układu należy połączyć za pomocą przewodów z odpowiednimi gniazdkami $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ bloku B. Następnie w szereg z właściwymi łącznikami układu ZI należy połączyć za pomocą przewodów pary gniazdek $E_1, E_2, \dots$ bloku D, imitujące zaciski „+” i „-” napięciowych źródeł zasilania $E_1, E_2, \dots$ analizowanej sieci elektrycznej. Do właściwych węzłów układu ZI należy za pomocą przewodów przyłączyć gniazdzka „+” i „-” bloku C imitujące zaciski prądowych źródeł zasilania $I_1, I_2, \dots$ analizowanej sieci. Ponadto do właściwych węzłów układu ZI włącza się za pomocą przewodów gniazdzka „+” i „-” bloku C imitujące końcówki woltomierzy mierzących szukane napięcia międzywęzłowe $U_1, U_2, \dots$ analizowanej sieci elektrycznej, w szereg zaś z właściwymi łącznikami układu ZI włącza się za pomocą przewodów gniazdzka „+” i „-” bloku D imitujące końcówki amperomierzy mierzących szukane prądy gałęziowe $I_1, I_2, \dots$ analizowanej sieci (płynące w obwodach amperomierzy od zacisków „+” do „-”).

Po dokonaniu powyższych połączeń i włączeniu w bloku B źródła zasilania np. z sieci energetycznej, naciskamy kolejno przyciski 1, 2 itd. w bloku A obserwując równocześnie świecenie neonówek N w bloku B. Jeśli po naciśnięciu przycisku 1 żadna neonówka nie zgaśnie, pozostawiamy ten przycisk w stanie włączonym, w przeciwnym zaś przypadku, tj. gdy zgaśnie chociażby jedna neonówka, sprowadzamy przycisk 1 do stanu początkowego (nie włączonego). Tak postępujemy kolejno ze wszystkimi przyciskami w ilości równej liczbie łączników układu ZI. Jeśli po ukończeniu tego cyklu czynności liczba przycisków nie włączonych jest równa liczbie węzłów układu ZI pomniejszonej o jedność, wtedy w układzie ZI powstało drzewo złożone z włączonych łączników, których przyciski nie są włączone. Notujemy wartość tego drzewa zgodnie z wzorem (2).

W przypadku użycia bloku H — po otrzymaniu drzewa w układzie ZI wyłączamy zasilanie w bloku B i ustawiamy przełącznik w bloku H w pozycję E', U' . Następnie włączamy przycisk E'_1 w bloku D oraz przycisk U'_1 w bloku C, poczym obserwujemy wskazanie woltomierza w bloku H. Jeśli wskazówka woltomierza wychylił się w kierunku „+”, wtedy zapisujemy składnik wartości napięcia U_1 w postaci iloczynu wartości drzewa i E_1 ze znakiem „+”, w przeciwnym przypadku — ze znakiem „-”. Jeśli wskazówka woltomierza nie wychylił się, wtedy dla napięcia U_1 nie zapisujemy składnika. Analogicznie postępujemy dla dalszych

obliczanych napięć U_2 itd., a następnie powtarzamy te same czynności dla źródeł napięciowych E_2 itd. Po wyczerpaniu wszystkich kombinacji napięć E i U przełączamy przełącznik w bloku **H** w położenie I' , I' a następnie włączamy przycisk I'_1 w bloku **C** oraz przycisk I'_1 w bloku **D**. Jeśli wskazówka woltomierza w bloku **H** się wychyli, to zapisujemy składnik obliczanej wartości prądu i_1 w postaci iloczynu wartości drzewa i I_1 ze znakiem, jaki wskazuje wskazówka woltomierza. Gdy wskazówka ta nie wychyli się, nie zapisujemy składnika obliczanej wartości prądu i_1 . Te same czynności powtarzamy przy włączonym przycisku I'_2 w bloku **C** itd. aż do wyczerpania wszystkich kombinacji wielkości $I, 1$. Po dokonaniu tych czynności ustawiamy przełącznik w bloku **H** w położenie zerowe (środkowe) i włączamy z powrotem zasilanie w bloku **B** w celu utworzenia następnego drzewa w układzie **ZI**.

W przypadku użycia, zamiast bloku **H**, bloku **F**, czynności po utworzeniu drzewa w układzie **ZI** są następujące. Nie wyłączając zasilania w bloku **B** dokonujemy kolejnych manipulacji w blokach **D** i **C** w identyczny sposób jak w przypadku użycia bloku **H**. Po ustawieniu każdej kombinacji, naciskamy kolejno przyciski 1, 2 i 3 w bloku **F** obserwując świecenie neonówek **N** w bloku **B**. Zapisu odpowiednich składników obliczanych wartości napięć U i prądów i dokonujemy zgodnie z poniższą tabelą:

Naciśnięty przycisk bloku F			Zapisujemy składniki obliczanej wartości napięcia U lub prądu i
1	2	3	
+	+	—	ze znakiem +
—	—	+	ze znakiem —
we wszystkich innych przypadkach			0

W rubrykach 1, 2 i 3 znaki „+” oznaczają świecenie wszystkich neonówek **N** w bloku **B**, znaki „—” oznaczają nie świecenie co najmniej jednej neonówki **N** w bloku **B**.

Sposób tworzenia drzew w układzie **ZI** przez włączanie przycisków 1, 2 itd. w bloku **A** zilustrowany zostanie na przykładzie układu **ZI**, którego schemat pokazany jest na fig. 1b. Kolejność tworzenia drzew w tym układzie **ZI** obrazuje poniższa tabela:

Lp	Przyciski bloku A					wynik
	1	2	3	4	5	
1	1		1			drzewo pierwsze
2	1			1		„ drugie
3	1				1	„ trzecie
4		1	1			„ czwarte
5		1		1		„ piąte
6		1			1	„ szóste
7			1	1		„ siódme
8			1			brak drzewa
9				1	1	drzewo ósme
10						koniec

Jedynka w tej tabeli oznacza włączony przycisk. Reguła tworzenia drzew w układzie **ZI** jest zatem następująca: Naciskamy przyciski 1, 2 itd. w bloku **A** obserwując świecenie neonówek **N** w bloku **B**. Pozostawiamy włączone tylko te przyciski, których włączenie nie powoduje zgaśnięcia ani jednej neonówki **N**. Gdy liczba nie włączonych przycisków jest równa liczbie węzłów układu **ZI** pomniejszonej o jedność, wtedy otrzymujemy drzewo.

W celu utworzenia następnego drzewa wyłączamy kolejno idąc w lewo począwszy od ostatniego przycisku wszystkie sąsiadujące ze sobą włączone przyciski łącznie z pierwszym włączonym przyciskiem nie przylegającym do poprzednich. Jeśli nie ma grupy bezpośrednio sąsiadujących ze sobą włączonych przycisków łącznie z ostatnim, wtedy wyłączamy ostatni przycisk (o ile jest włączony) oraz idąc w lewo — następny włączony przycisk. Po wyłączeniu w opisany sposób przycisków włączamy idąc w prawo kolejno wszystkie przyciski począwszy od przylegającego z prawej strony do ostatnio wyłączonego przycisku, obserwując przy tym świecenie neonówek **N** w bloku **B**. W ten sposób uzyskuje się drugie i następne drzewa w układzie **ZI**. Manipulację przyciskami kończy się z chwilą wyłączenia wszystkich przycisków.

Każdorazowo po uzyskaniu kolejnego drzewa wykonujemy opisane poprzednio czynności na pozostałych blokach algorytmizatora sieciowego.

Zapisane składniki wyrażeń na obliczane wartości napięć $U_1, U_2, \dots$ dodajemy zgodnie z wzorem (5). Analogicznie sumujemy zapisane składniki na obliczane wartości prądów gałęziowych $i_1, i_2, \dots$.

Napięcia międzywęzłowe $U_1, U_2, \dots$ są to napięcia w analizowanej sieci elektrycznej, powstałe na skutek działania źródeł napięciowych, prądy zaś gałęziowe $i_1, i_2, \dots$ są to prądy powstałe na skutek działania źródeł prądowych. Właściwe wartości napięć i prądów w analizowanej sieci uzyskuje się drogą dodania (na zasadzie prawa superpozycji) wartości prądów i napięć powstałych na skutek działania źródeł napięciowych i prądowych.

Pokazane na schemacie bloku **A** (fig. 7) pary gniazdek $1', 2', \dots$ służą do włączenia systemu wskaźnikowego lub urządzenia rejestrującego.

Bloki **A, B, C** i **D** posiadają ograniczoną liczbę gniazdek na przykład odpowiednią dla sieci elektrycznych o co najwyżej 30 gałęziach. W przypadku bardziej złożonych sieci można dołączyć do tych bloków identyczne bloki łącząc za pomocą przewodów odpowiednie ich gniazdzka **k**.

Operacje na algorytmizatorze sieciowym można w różny sposób zautomatyzować. Dla przykładu na fig. 8 podany jest schemat ideowy bloku łączników **A**, na którym operacje tworzenia drzew w układzie **ZI** są w pewnym stopniu zautomatyzowane. Pozostałe bloki są identyczne jak na fig. 7. Przy kolejnym włączaniu przycisków 1, 2, 3, ... w bloku **A**, pokazanym na fig. 8, nie potrzeba obserwować świecenia neonówek **N** w bloku **B** (fig. 7), gdyż konstrukcja przycisku, pokazana na fig. 9, nie pozwala włączyć niewłaściwych przycisków.

Po wykonaniu jednego cyklu włączeń przycisków 1, 2, 3... należy jedynie sprawdzić, czy świecą wszystkie neonówki N w bloku B. Na fig. 9 pokazana jest konstrukcja przycisku w rzucie poziomym i pionowym. Przycisk d w kształcie płytki, wykonanej z tworzywa izolacyjnego, posiada na obu bocznych ścianach nałożone dwa paski przewodzące e izolowane od siebie oraz dwa krótsze paski przewodzące f połączone ze sobą bolcem przewodzącym g.

Przesuwanie się przycisku d w kierunku pionowym zapewnia kolek h z nałożoną na niego sprężyną i. Po obu ścianach bocznych przycisku d ślizgają się styki sprężyn stykowych a, a i b, b. Na schemacie pokazanym na fig. 8 końcówki sprężyn stykowych a, a połączone są z parami gniazdek I, II..., reprezentujących końcówki łączników układu ZI. Kończą sprężyn stykowych b, b połączone są szeregowo z elektromagnesem n i źródłem prądu stałego np. 24V. Jeśli po naciśnięciu przycisku d w układzie ZI powstanie obwód: + źródła zasilania, sprężyna stykowa b, pasek przewodzący e, sprężyna stykowa a, łączniki układu ZI, druga sprężyna stykowa a, drugi pasek przewodzący e, druga sprężyna stykowa b, uzwojenie elektromagnesu n, — źródła zasilania, wtedy zadziała elektromagnes n i przesunie swą zworą zębatkę j, która swym występem zatrzyma naciskany przycisk d i uniemożliwi jego włączenie. Jeśli przy naciskaniu przycisku d powyższy obwód nie powstanie, wtedy elektromagnes n nie zadziała, a zatem zębatka j nie zatrzyma przycisku d, który pod wpływem ręcznego nacisku spowoduje za pomocą pasków przewodzących f zwarcie sprężyn stykowych a. Zapadka sprężynowa m swym występem zatrzyma przycisk d w położeniu włączonym. Wyłączenie przycisku d następuje przez odchylenie zapadki sprężynowej m. Kolejność wyłączania przycisków d jest taka sama jak w poprzednim przykładzie. Wyłączanie to można w łatwy sposób zautomatyzować. Sprężyny stykowe c, c przyłączone do par gniazdek 1, 2 itd. bloku A (fig. 8) służą do włączania systemu wskaźnikowego lub urządzenia rejestrującego.

Jeśli analizowana sieć jest układem czynnym ze sterowanymi źródłami np. układem z lampami elektronicznymi lub tranzystorami, wtedy należy dodatkowo zastosować blok sterowania S, którego układ ten zbudowany jest z przełącznika polaryzowanego P, przełącznika W oraz dwóch kompletów przełączników przyciskowych zaopatrzonych w gniazdko wtykowe. Pary gniazdek wtykowych U_{si} itd. przyłączamy za pomocą przewodów do odpowiednich par węzłów układu ZI, reprezentujących węzły napięć sterujących w analizowanym układzie czynnym, natomiast pary gniazdek wtykowych I_{si} itd. włączamy w szereg z łącznikami układu ZI, reprezentującymi gałęzie prądów sterujących w analizowanym układzie czynnym. Pary gniazdek wtykowych E_{si} itd. oraz I_{si} itd. włączamy za pomocą przewodów do układu ZI w ten sposób, aby reprezentowały końcówki odpowiednich napięciowych i prądowych źródeł sterowanych analizowanego układu czynnego.

Blok sterowania S przyłączamy do bloku H pokazanego na fig. 7, łącząc za pomocą przewodów odpowiednie gniazdko wtykowe +x, -x, +y, -y obu bloków.

Manipulacja przełącznikami bloku S po utworzeniu drzewa w układzie ZI polega na kolejnym włączaniu par przycisków napięć względnie prądów sterujących oraz napięć względnie prądów sterowanych. Każdorazowo po włączeniu pary przycisków (np. U_{si} i E_{si}) obserwujemy wskazanie woltomierza V w bloku H w dwóch położeniach L i M przełącznika W w bloku S. Wyniki obserwacji wykorzystujemy do określenia transmitancji $\frac{U_{\mu\nu}}{E}$ i admitancji wejściowej Y_{we} analizowanego układu czynnego według wzorów:

$$\frac{U_{\mu\nu}}{E} = \frac{L}{M} ; Y_{we} = \frac{M|_{yE=0} \cdot y_E}{M} \quad (6)$$

przy warunku

$$(\varphi_{l\mu\nu} \neq 0) \rightarrow \Lambda \quad (\varphi_{l\mu\nu} = 0)$$

gdzie:

$$L = \sum_{i=1}^T (D_i \cdot \varphi_{l\mu\nu}) + \sum_{i=1}^T [D_i (\sum_{k_1} \varphi_{li\mu\nu} + \sum_{ij} k_{ikj} \varphi_{li\mu\nu} \varphi_{lj\mu\nu} + \dots)]$$

$$M = \sum_{i=1}^T [D_i \cdot (1 + \sum_{k_1} \varphi_{li} + \sum_{ij} k_{ikj} \varphi_{li} \varphi_{lj} + \dots)]$$

E — siła elektromotoryczna źródła zasilania analizowanego układu czynnego

y_E — admitancja gałęzi, w której włączone jest źródło zasilania E analizowanego układu czynnego

$U_{\mu\nu}$ — napięcie między węzłami μ i ν analizowanego układu czynnego

D_i — wartość drzewa l układu ZI

k_i (k_j) — współczynnik sterowania

$$k_i = \frac{E_{si}}{U_{si}} = \frac{E_{si} \cdot y_{si}}{I_{si}} \quad (\text{analogicznie dla } k_j)$$

E_{si} — napięcie sterowanego źródła analizowanego układu

U_{si} — napięcie sterujące źródło E_{si}

I_{si} — prąd sterujący źródło E_{si}

y_{si} — admitancja gałęzi prądu sterującego I_{si}

T — liczba drzew układu ZI

Λ — kwantyfikator ogólny

$$\varphi_{l\mu\nu} = \begin{cases} +1 & \text{dla dodatniego} \\ -1 & \text{dla ujemnego} \\ 0 & \text{dla zerowego} \end{cases} \quad \begin{cases} \text{wskazania woltomierza V w bloku H przy włączonym przycisku } U_{\mu\nu} \text{ w bloku C i przycisku } E'_{si} \text{ w bloku D — po utworzeniu drzewa l w układzie ZI} \end{cases}$$

$$\varphi_{li\mu\nu} = \begin{cases} +1 & \text{dla dodatniego} \\ -1 & \text{dla ujemnego} \\ 0 & \text{dla zerowego} \end{cases} \quad \begin{cases} \text{wskazania woltomierza V w bloku H przy włączonych przyciskach } E'_{si} \text{ i } U_{si} \text{ (względnie } i_{si}) \text{ w bloku S, włączonym przycisku } U_{\mu\nu} \text{ w bloku C, przycisku } E'_{si} \text{ w bloku D oraz przełączniku W w położeniu } i_{si} \end{cases}$$

(analogicznie dla $\varphi_{ij\mu\nu}$ itd.)

$$\varphi_{li} = \begin{cases} +1 & \text{dla dodatniego} \\ -1 & \text{dla ujemnego} \\ 0 & \text{dla zerowego} \end{cases}$$

(analogicznie dla φ_{lj} itd.)

niu **L** w bloku **S** — po utworzeniu drzewa **l** w układzie **ZI**

wskazania woltomierza **V** w bloku **H** przy włączonych przyciskach E'_{si} i U'_{si} (względnie i'_{si}) oraz przełączniku **W** w położeniu **M** w bloku **S** (przyciski E'_1 i $U'_{\mu b}$ wyłączone) — po utworzeniu drzewa **l** w układzie **ZI**.

Powyższe przykłady prostych rozwiązań konstrukcyjnych algorytmizatora sieciowego wskazują na możliwość łatwego zautomatyzowania obliczeń sieci elektrycznych drogą stosowania przedstawionego sposobu tworzenia algorytmów i programowania obliczeń sieci elektrycznych przy pomocy układu **ZI**.

W przypadku analizy sieci energetycznych dla uproszczenia obliczeń można odbiorniki energii traktować jako źródła prądowe.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób tworzenia algorytmów i programowania obliczeń sieci elektrycznych, **znamienny tym**, że stykowe lub bezstykowe łączniki elektryczne w ilości równej liczbie gałęzi analizowanej sieci elektrycznej łączy się ze sobą za pomocą przewodów elektrycznych w ten sposób, aby powstał układ, zwany układem zero — impedancyjnym **ZI**, o tej samej strukturze topologicznej co analizowana sieć elektryczna, której każda gałąź reprezentowana jest w tym układzie przez jeden łącznik, a następnie włączając względnie wyłączając poszczególne łączniki tworzy się kolejne drzewa w układzie **ZI** określając na tej podstawie algorytm wartości admitancji wejściowej $Y_{\mu b}$ analizowanej sieci między jej dowolnymi węzłami μ i ν według wzoru

$$Y_{\mu b} = \frac{\sum_{l=1}^T D_l}{\sum_{l'=1}^{T'} D_{l'}}$$

gdzie:

- $$D_l = \prod_{i=1}^{v-1} y_{li} \quad \text{— algorytm wartości drzewa } l$$
- układu **ZI** analizowanej sieci elektrycznej
- y_{li} — admitancja gałęzi reprezentowanej przez włączony łącznik i drzewa **l**
- v — liczba węzłów układu **ZI** (równa liczbie węzłów analizowanej sieci elektrycznej)
- T — liczba drzew układu **ZI**

$$D'_l = \prod_{i=1}^{v-2} y'_{li} \quad \text{algorytm wartości drzewa } l'$$

układu pochodnego **ZI** otrzymanego w wyniku zwarcia w układzie pierwotnym **ZI** węzłów μ i ν

T' — liczba drzew układu pochodnego **ZI** oraz algorytm wartości napięcia U_k na dowolnej gałęzi k przyłączonej do węzłów μ i ν analizowanej sieci elektrycznej według wzoru

$$U_k = \frac{\sum_{l=1}^T (D_l \cdot u_{l\mu b}) + \sum_{l=1}^T \left(\frac{dD_l}{dy_{lk}} \cdot i_{lk} \right)}{\sum_{l=1}^T D_l}$$

gdzie:

$$D_l = \prod_{i=1}^{v-1} y_{li} \quad \text{algorytm wartości drzewa } l$$

układu **ZI** analizowanej sieci elektrycznej

y_{li} — admitancja gałęzi reprezentowanej przez włączony łącznik i drzewa **l**

v — liczba węzłów układu **ZI**

T — liczba drzew układu **ZI**

$u_{l\mu b}$ — napięcie między węzłami μ i ν l -tego drzewa z włączonymi źródłami imitującymi źródła analizowanej sieci elektrycznej

i_{lk} — prąd w łączniku k l -tego drzewa z włączonymi źródłami imitującymi źródła analizowanej sieci elektrycznej

y_{lk} — admitancja gałęzi k analizowanej sieci elektrycznej.

2. Urządzenie do stosowania sposobu według zastrz. 1, **znamiennie tym**, że składa się z bloku łączników (**A**), zbudowanego ze stykowych lub bezstykowych łączników (1, 2 itd.) oraz par gniazdek (**I**, **II** itd.) a służącego do zbudowania za pomocą przewodów elektrycznych układu zero-impedancyjnego **ZI** analizowanej sieci elektrycznej oraz do tworzenia za pomocą łączników (1, 2 itd.) kolejnych drzew układu **ZI** i z bloku węzłów (**B**), zbudowanego z gniazdek (α , β , γ itd.) i wskaźnika lub wskaźników (**N**) napięcia na węzłach układu „**ZI**”, które to napięcie doprowadza się w tym bloku do jednego dowolnego węzła układu **ZI** oraz z bloku (**C**) napięć międzywęzłowych i prądów źródeł prądowych zbudowanego z przełączników (U'_1 , I'_1 , U'_2 , I'_2 itd.) i par gniazdek (U_1 I_1 , U_2 I_2 itd.) imitujących końcówki woltomierzy i źródeł prądowych analizowanej sieci elektrycznej jak również z bloku (**D**) napięć źródeł napięciowych i prądów gałęziowych, zbudowanego z przełączników (E'_1 I'_1 , E'_2 I'_2 itd.) i par gniazdek (E_1 I_1 , E_2 I_2 itd.) imitujących końcówki źródeł napięciowych analizowanej sieci elektrycznej oraz końcówki amperomierzy a ponadto z bloku (**H**) źródeł zasilania ze wskaźnikiem napięcia, zbudowane-

13

go z przełącznika (I' , I' , E' , U'), gniazdek, przyłączonego źródła prądu stałego oraz wskaźnika napięcia prądu stałego (V), służącego do określania kierunku napięcia i prądu na elementach drzewa układu ZI oraz z bloku sterowania S zbudowanego z przełącznika polaryzowanego (P), przełącznika (W), dwóch kompletów przełączników (U'_{s1} , E'_{s1} itd., I'_{s1} , I'_{s1} itd.) zaopatrzonych w pary gniazdek (U_{s1} , E_{s1} itd., I_{s1} , I_{s1} itd.) a służącego do imitowania sterowania napięciowego i prądowego źródeł analizowanych układów czynnych ze sterowanymi źródłami.

3. Odmiana urządzenia według zastrz. 2, **znamienna tym**, że zamiast bloku (H) źródeł zasilania ze wskaźnikiem napięcia ma blok przełączników (F), który zbudowany jest z trzech

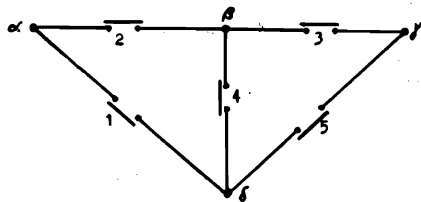
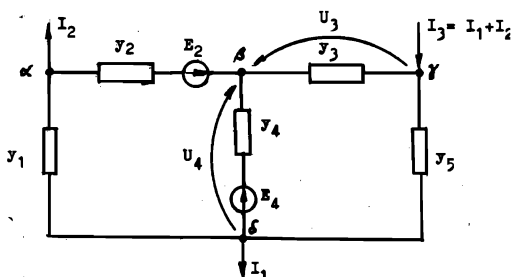


Fig. 1

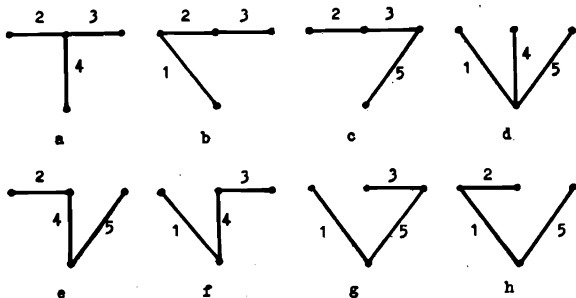
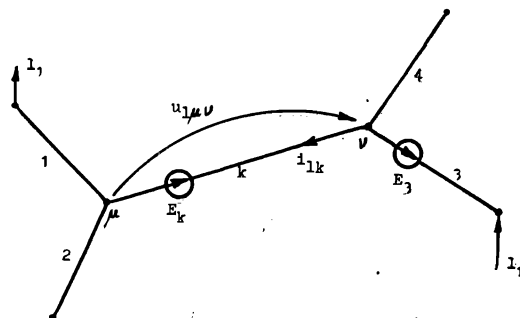


Fig. 2



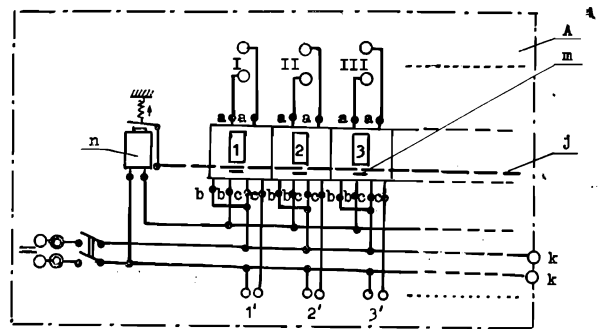
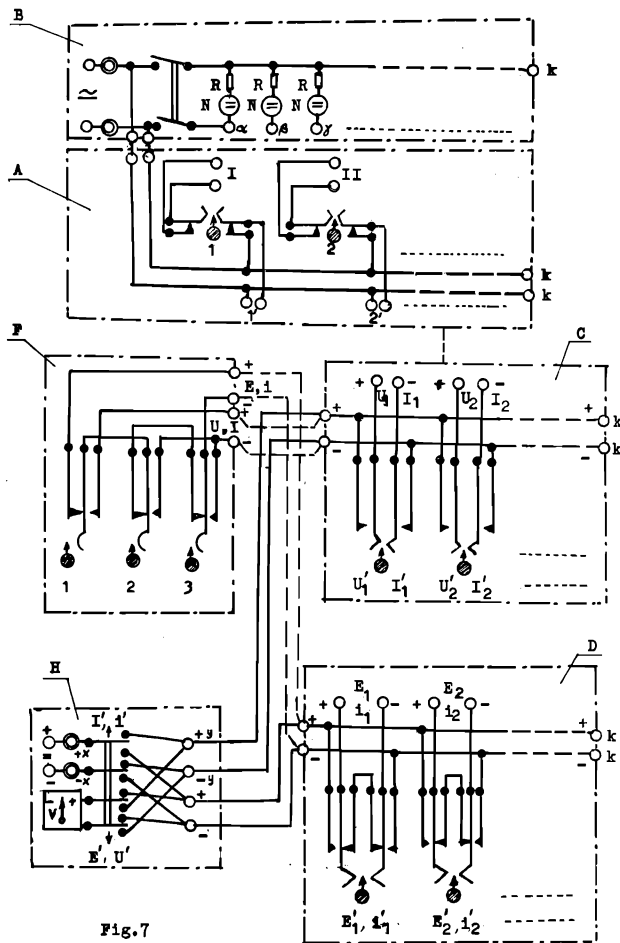


Fig. 8

Fig. 9

