

P O L S K A    A K A D E M I A    N A U K

INSTYTUT MASZYN PRZEPLYWOWYCH

PRACE  
INSTYTUTU MASZYN  
PRZEPLYWOWYCH

TRANSACTIONS  
OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

88

WARSZAWA - POZNAŃ 1985

PAŃSTWOWE    WYDAWNICTWO    NAUKOWE

poświęcone są publikacjom naukowym z zakresu teorii i badań doświadczalnych w dziedzinie mechaniki i termodynamiki przepływów, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki maszyn przepływowych

\*

THE TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW  
MACHINERY

exist for the publication of theoretical and experimental investigations of all aspects of the mechanics and thermodynamics of fluid-flow with special reference to fluid-flow machinery

RADA REDAKCYJNA - EDITORIAL BOARD

TADEUSZ GERLACH · HENRYK JARZYNA · JERZY KRZYŻANOWSKI  
STEFAN PERYCZ · WŁODZIMIERZ PROSNAK · KAZIMIERZ STELLER  
ROBERT SZEWAŁSKI (PRZEWODNICZĄCY - CHAIRMAN) · JÓZEF ŚMIGIELSKI

KOMITET REDAKCYJNY - EXECUTIVE EDITORS

KAZIMIERZ STELLER - REDAKTOR - EDITOR  
WOJCIECH PIETRASZKIEWICZ · ZENON ZAKRZEWSKI  
ANDRZEJ ŻABICKI

REDAKCJA - EDITORIAL OFFICE

Instytut Maszyn Przepływowych PAN  
ul. Gen. Józefa Fiszer 14, 80-952 Gdańsk, skr. pocztowa 621, tel. 41-12-71

Copyright

by Państwowe Wydawnictwo Naukowe  
Warszawa 1985

Printed in Poland

ISBN 83-01-07020-X

ISSN 0079-3205

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE - ODDZIAŁ W POZNANIU

Nakład 340 + 90 egz. Ark. wyd. 13. Ark. druk. 10,875. Papier druk. sat. kl. V, 70 g. 70 × 100 cm. Oddano do składania 3 I 1985 r. Podpisano do druku 5 XI 1985 r.

Druk ukończono w listopadzie 1985 r. Zam. nr 240/107. S-7/712. Cena zł 220,-

DRUKARNIA UNIwersytetu IM. ADAMA MICKIEWICZA W POZNANIU

CEZARY ORLIKOWSKI

Gdańsk

## Uogólnienie topologicznej analizy układów metodą grafów oddziaływań\*

W pracy rozszerzono zastosowanie metody grafów oddziaływań na układy nie posiadające opisu admitancyjnego. Umożliwi to analizę, tą metodą, szerszej klasy układów mechanicznych.

### 1. Wstęp

Cechą charakterystyczną topologicznych metod analizy układów fizycznych jest otrzymywanie wyników na podstawie działań nad pewną strukturą graficzną (grafem) związaną z badanym układem. Metody te stosuje się do analizy układów liniowych, stacjonarnych. Są one optymalne w przypadku poszukiwania rozwiązania w postaci symbolicznej, tj. w postaci wzoru, w którym występują literowe oznaczenia zmiennych. Wadą metod topologicznych jest duża, w porównaniu z metodami numerycznymi, liczba niezbędnych operacji, co wyklucza ich stosowanie do obliczeń liczbowych (numerycznych). Jednak w przypadku, gdy nie wszystkie parametry układu zadane są w postaci liczbowej stosowanie metod iteracyjnych nie jest możliwe. W takich przypadkach wydajne są metody topologiczne.

Od postaci grafu i stopnia komplikacji działań nad grafem zależy efektywność tych metod. W pracy [2] dokonano porównania następujących metod topologicznych stosowanych do analizy układów mechanicznych:

- metody grafów przepływu sygnałów,
- metody liczb strukturalnych,
- metody grafów oddziaływań,

ze szczególnym uwzględnieniem układów hydraulicznych stosowanych w tzw. mechanicznych urządzeniach automatyki. Zdaniem autora do analizy układów tego typu bardziej celowe jest stosowanie metody grafów oddziaływań [1]. Wynika to stąd, iż konstruowanie grafu oddziaływań jest prostsze, a ponadto graf oddziaływań ma mniejszą niż dwa pozostałe rodzaje grafów liczbę gałęzi i wierzchołków. Natomiast stopień komplikacji algorytmu działań nad grafem jest porównywalny z regułą Masona stosowaną w metodzie grafów przepływu sygnałów. Algorytm ten związany jest z badaniem cykli rozłącznych w grafie. Ze względu na ilość i rodzaj operacji jakie należy wykonać przy stosowaniu tej metody, wymagane jest zastosowanie cyfrowej techniki komputerowej.

\* Praca wykonana w ramach Programu Rządowego PR-8: „Kompleksowy rozwój energetyki”, zadanie 6.4.10.02.



Zastosowanie grafów oddziaływań do analizy układów hydraulicznych umożliwia skrócenie czasu obliczeń i zmniejszenie wymaganej pojemności pamięci komputera.

Dotychczasowe rozważania nad metodą grafów oddziaływań ograniczono do układów posiadających opis admitancyjny [1, 2, 3]. Opisem admitancyjnym układu fizycznego nazywany jest opis, w którym wszystkie wielkości przepływowe ( $y$ ) związane z układem można wyznaczyć w zależności od wielkości wierzchołkowych ( $x$ ) występujących w układzie:

$$Y = GX,$$

gdzie  $Y$  – wektor kolumnowy wielkości przepływowych,  $X$  – wektor kolumnowy wielkości wierzchołkowych,  $G$  – macierz admitancyjna układu.

Konstruowanie admitancyjnego grafu oddziaływań związane jest z macierzą admitancyjną  $G$ .

Można zauważyć, że w tzw. mechanicznych urządzeniach automatyki większość występujących tam elementów posiada opis admitancyjny i takie ujęcie ma duże praktyczne znaczenie dla układów hydraulicznych. Nie można jednak takiej metody zastosować bezpośrednio do niektórych członów przekształcających energię, jak np. dźwignie i przekładnie mechaniczne.

Celem niniejszej pracy jest rozszerzenie zakresu zastosowania metody grafów oddziaływań na układy nie posiadające opisu wyłącznie admitancyjnego.

## 2. Graf oddziaływań w przypadku ogólnym

Konstruowanie grafu oddziaływań dla układów nie posiadających opisu admitancyjnego jest w ogólnej zasadzie podobne jak w szczególnym przypadku grafu admitancyjnego [1]. Należy więc podzielić dany układ fizyczny na człony elementarne i wyróżnić w nich wrota energetyczne, którym przyporządkowuje się pary wielkości fizycznych  $y$  (przepływowych) i  $x$  (wierzchołkowych). Następnie dla poszczególnych członów elementarnych należy skonstruować grafy oddziaływań, których wierzchołkami są wrota energetyczne, a zorientowane gałęzie odwzorowują oddziaływanie między wielkościami fizycznymi występującymi we wrotach energetycznych.

W admitancyjnym grafie oddziaływań wszystkie gałęzie obrazują zależności wielkości przepływowych  $y$  od wielkości wierzchołkowych  $x$ . Natomiast w przypadku ogólnym zachodzi potrzeba rozróżnienia gałęzi, które reprezentują zależności pomiędzy innymi jeszcze parami wielkości fizycznych. W rozważanym tutaj, ogólnym przypadku grafu oddziaływań mogą występować cztery rodzaje gałęzi. Sposób oznaczania tych typów gałęzi podano w tabeli 1.

Ponadto stosować się będzie oznaczenie  $y/a$ , gdzie  $a=x$  lub  $y$  – na oznaczenie gałęzi typu  $y/x$  lub  $y/y$ ;  $x/b$ , gdzie  $b=x$  lub  $y$  – na oznaczenie gałęzi należącej do typu  $x/x$  lub  $x/y$  itd. Gałęziom wszystkich typów przyporządkowuje się odpowiednie transmitancje określające związek wielkości wyjściowej z wejściową. Transmitancja  $t$  gałęzi typu  $y/x$  nazywa się admitancją ( $g$ ), zaś transmitancja gałęzi typu  $x/y$  nazywana jest impedancją ( $z$ ).

Ze względu na występowanie w uogólnionym grafie oddziaływań gałęzi, których sygnał wyjściowy może być wielkością wierzchołkową, pojawia się możliwość analizy tą me-



Table 1

Oznaczenia gałęzi grafu oddziaływań w przypadku ogólnym

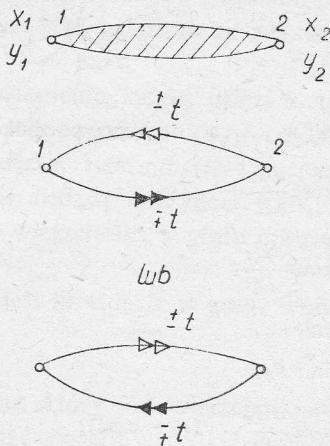
Typ gałęzi	Wielkość wyjściowa	Wielkość wejściowa	Oznaczenie
$y/x$	$y$	$x$	
$y/y$	$y$	$y$	
$x/y$	$x$	$y$	
$x/x$	$x$	$x$	

to są układy, w których występują takie człony jak: dźwignie, człony przekształcające energię ruchu posuwistego na obrotowy i odwrotnie, przekładnie itp. Wszystkie te człony sprowadzają się do jednego modelu, tzw. transformatora idealnego. Jest on opisany następującymi równaniami:

$$x_1 = \pm t \cdot x_2,$$

$$y_2 = \pm t \cdot y_1.$$

Hipergraf tego członu oraz odpowiadające mu grafy admityncyjne przedstawiono na rysunku 1.



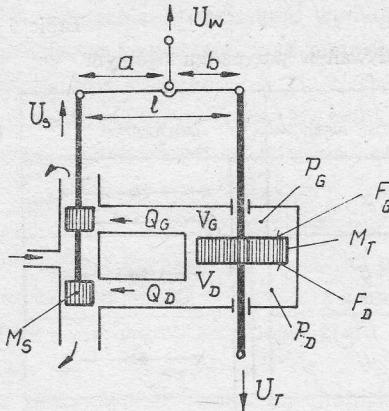
Rys. 1. Grafy admityncyjne transformatora idealnego

**Przykład 1**

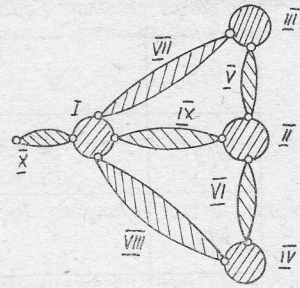
Należy skonstruować graf oddziaływań układu przedstawionego na rysunku 2. Hipergraf układu składa się z członów pokazanych na rysunku 3.

Uwaga: Człony IX i X należy traktować jako „składowe” jednego elementu, którym jest zastosowana w układzie dźwignia z trzema końcami ruchomymi.

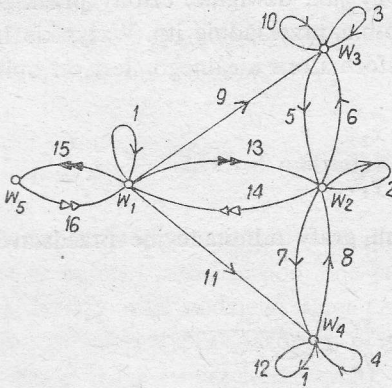
Graf oddziaływań układu przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 2. Serwomotor hydrauliczny



Rys. 3. Hipergraf serwomotoru hydraulicznego



Rys. 4. Graf oddziaływań serwomotoru hydraulicznego

Wierzchołki  $w_1, \dots, w_5$  mają przyporządkowane następujące wielkości wierzchołkowe:

$$w_1 \rightarrow \text{prędkość } \frac{dU_s}{dt},$$

$$w_2 \rightarrow \text{prędkość } \frac{dU_T}{dt},$$

$$w_3 \rightarrow \text{ciśnienie } P_G,$$

$$w_4 \rightarrow \text{ciśnienie } P_D,$$

$$w_5 \rightarrow \text{prędkość } \frac{dU_w}{dt}, \quad (t - \text{czas}).$$

Grafy oddziaływań poszczególnych członów układu są zbiorami następujących gałęzi:

$$\begin{aligned} \text{I} &= \{1\} & \text{VI} &= \{7, 8\} \\ \text{II} &= \{2\} & \text{VII} &= \{9, 10\} \\ \text{III} &= \{3\} & \text{VIII} &= \{11, 12\} \\ \text{IV} &= \{4\} & \text{IX} &= \{13, 14\} \\ \text{V} &= \{5, 6\} & \text{X} &= \{15, 16\} \end{aligned}$$

zaś transmitancje  $t_i$  poszczególnych gałęzi wyrażają się następującymi wzorami ( $s$  – operator Laplace'a):

$$\begin{aligned} t_1 &= M_s \cdot s, & t_2 &= M_T \cdot s, & t_3 &= \frac{V_G}{B} \cdot s, & t_4 &= \frac{V_D}{B} \cdot s, \\ t_5 &= F_G, & t_6 &= -F_G, & t_7 &= F_D, & t_8 &= -F_D, \\ t_9 &= \left( \frac{\partial Q_G}{\partial U_s} \right)_* \cdot \frac{1}{s}, & t_{10} &= \left( \frac{\partial Q_G}{\partial P_G} \right)_*, & t_{11} &= \left( \frac{\partial Q_D}{\partial U_s} \right)_* \cdot \frac{1}{s}, \\ t_{12} &= \left( \frac{\partial Q_D}{\partial P_D} \right)_*, & t_{13} &= -\frac{b}{a}, & t_{14} &= \frac{b}{a}, & t_{15} &= -\frac{l}{b}, & t_{16} &= \frac{l}{b}, \end{aligned}$$

gdzie  $B$  jest modulem ściśliwości objętościowej cieczy, a gwiazdka występująca we wzorach na  $t_9 \div t_{12}$  oznacza, że pochodną należy obliczyć w wybranym punkcie pracy układu (w punkcie linearyzacji)

### 3. Analiza układów na podstawie grafu oddziaływań w postaci ogólnej

Jak stwierdzono wcześniej, większość członów spotykanych w układach hydraulicznych posiada opis admitancyjny. Z tego względu celowym będzie dokonać przekształcenia grafu w postaci ogólnej do postaci admitancyjnej, aby można było wykorzystać wprowadzone już wzory [1] do analizy układów posiadających opis admitancyjny.

Przedstawimy teraz sposób przekształcenia grafu oddziaływań w postaci ogólnej do postaci admitancyjnej. Przekształcenie będzie realizowane w trzech etapach:

Etap pierwszy – Załóżmy, że wierzchołek grafu jest wierzchołkiem początkowym  $n$  gałęzi  $\alpha_i$  typu  $a_i/y$  ( $i=1, \dots, n$ ;  $a_i=x$  lub  $y$ ) oraz wierzchołkiem końcowym  $m$  gałęzi  $\beta_j$  typu  $y/b_j$  ( $j=1, \dots, m$ ;  $b_j=x$  lub  $y$ ). Graf z wyszczególnionymi gałęziami przedstawiono na rysunku 5a. Transmitancje  $t_i$  przyporządkowane są gałęziom  $\alpha_i$ , zaś transmitancje  $\tau_j$  przyporządkowano gałęziom  $\beta_j$ .

Pierwszy etap przekształcenia polega na zastąpieniu każdej gałęzi  $\alpha_i$  typu  $a_i/y$  ( $i=1, \dots, n$ ) gałęziami  $\gamma_{i1}, \dots, \gamma_{ij}, \dots, \gamma_{im}$  typu odpowiednio:  $a_i/b_1, \dots, a_i/b_j, \dots, a_i/b_m$ , przedstawionymi na rysunku 5b. Każdej nowej gałęzi  $\gamma_{ij}$  typu  $a_i/b_j$  ( $i=1, \dots, n$ ;  $j=1, \dots, m$ ) należy ponadto przyporządkować transmitancję będącą iloczynem transmitancji  $t_i \cdot \tau_j$ . Powyższą operację należy wykonać dla każdego wierzchołka  $w$  grafu oddziaływań w postaci ogólnej.

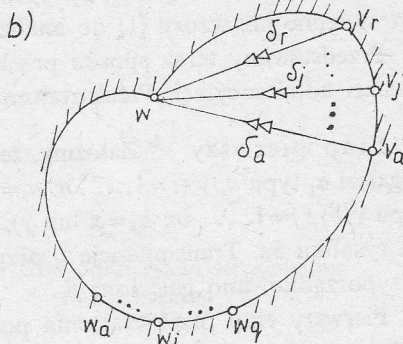
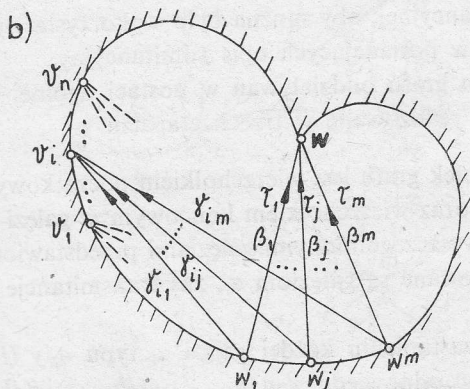
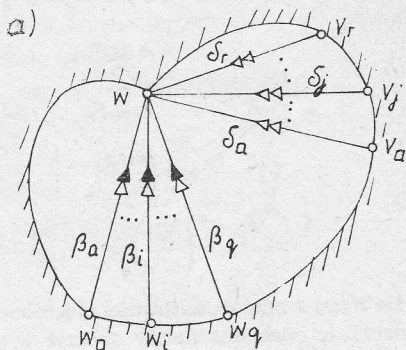
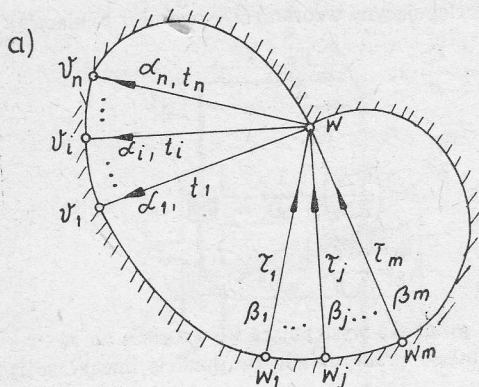
Wynikiem pierwszego etapu przekształcenia jest likwidacja w grafie wszystkich gałęzi typu  $a/y$  ( $a=x$  lub  $y$ ).

Etap drugi – Dla każdego wierzchołka  $w$ , który jest wierzchołkiem końcowym przynajmniej jednej gałęzi typu  $x/x$ , należy usunąć z grafu wszystkie te gałęzie typu  $y/x$ , dla których wierzchołek ten jest wierzchołkiem końcowym (rys. 6a, b).

Etap trzeci – Załóżmy, że wierzchołek  $w$  grafu oddziaływań po drugim etapie przekształcenia jest wierzchołkiem końcowym  $p$  gałęzi  $\delta_k$  typu  $x/x$  ( $k=1, \dots, p$ ), którym to gałęziom przyporządkowane są transmitancje  $\kappa_k$  ( $k=1, \dots, p$ ) – rysunek 7a.

Trzeci etap przekształcenia polegać będzie na tym, aby w każdym takim wierzchołku  $w$





Rys. 5. Pierwszy etap przekształcenia grafu oddziaływań

Rys. 6. Drugi etap przekształcenia grafu oddziaływań

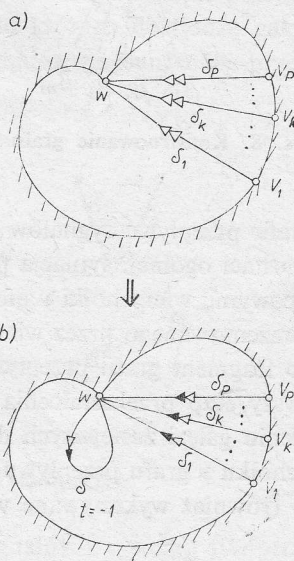
włączyć pętlę  $\delta$  typu  $y/x$ , o transmitancji  $-1$ . Ponadto, w tak zmienionym grafie wymienionym  $p$  gałęziom  $\delta_k$  nadajemy typ  $y/x$ , nie zmieniając przy tym ich transmitancji  $\kappa_k (k = 1, \dots, p)$ . Ten etap przekształcenia grafu zilustrowano na rysunkach 7a i b.

W wyniku przeprowadzonego w ten sposób trzyetapowego przekształcenia grafu otrzymuje się graf składający się wyłącznie z gałęzi typu  $y/x$ , czyli graf admityncyjny.

Podajemy teraz krótkie uzasadnienie, że tak przeprowadzone przekształcenie grafu umożliwi nadal obliczenie na jego podstawie prawidłowych transmitancji układu.

Odwzorujemy graf oddziaływań w graf przepływu sygnałów. Można tego dokonać bardzo łatwo zważywszy, że wierzchołki grafu przepływu sygnałów reprezentują sobą sygnały. Natomiast wierzchołkom grafu oddziaływań przyporządkowane są pary sygnałów  $x$  i  $y$ . Stąd formalnie, każdy wierzchołek  $w$  grafu oddziaływań „rozpada się” na dwa wierzchołki  $x$  i  $y$  (będą nazywane wierzchołkami stowarzyszonymi) grafu przepływowego. Gałęziami powstającego w ten sposób grafu przepływowego są gałęzie grafu oddziaływań, które na-

leży połączyć z odpowiednimi wierzchołkami – sygnałami grafu przepływowego odpowiednio do typu danej gałęzi. Możemy łatwo zauważyć, że w skonstruowanym w ten sposób grafie przepływu sygnałów, który odpowiada admitancyjnemu grafowi oddziaływań, wszystkie wierzchołki  $y$  są wierzchołkami wyłącznie końcowymi, zaś wierzchołki  $x$  są, wyłącznie początkowymi. Ponadto wartość każdego sygnału  $y$  (z wyjątkiem przypadku, gdy jest to wielkość wejściowa w układzie) wynosi zero. Na rysunku 8a przedstawiono parę wierzchołków  $x$  i  $y$  powstałych z wierzchołka  $w$  admitancyjnego grafu oddziaływań.



Rys. 7. Trzeci etap przekształcenia grafu oddziaływań

Wszystkie gałęzie, tj.  $\beta_j$  ( $j=1, \dots, m$ ) i  $\varepsilon_i$  ( $i=1, \dots, r$ ), są typu  $y/x$  oraz, jak już stwierdzono wyżej,

$$\sum_{j=1}^m y_j = y = 0, \quad (1)$$

gdzie  $y_j$  jest wielkością wyjściową gałęzi  $\beta_j$ .

Jedna gałąź z pęku gałęzi  $\beta_j$  może mieć początek w wierzchołku  $x$  przedstawionym na rysunku 8a. Powiedzmy, że  $\beta_k = \varepsilon_l$ . Wówczas równanie (1) można napisać w postaci

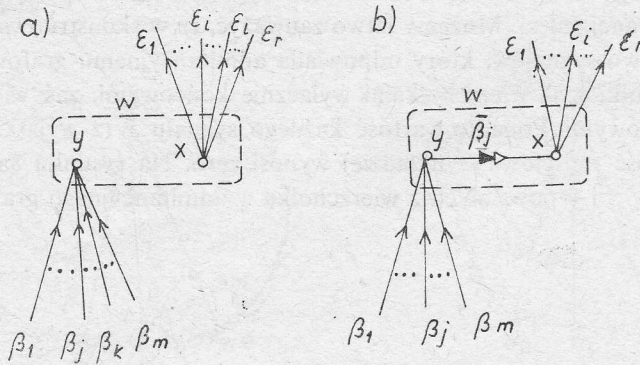
$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^m y_j = -y_k = -t \cdot x, \quad (2)$$

gdzie  $t$  jest transmitancją (admitancją) gałęzi  $\beta_k = \varepsilon_l$ .

Z równania (2) można wyznaczyć

$$x = (-t)^{-1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^m y_j. \quad (3)$$

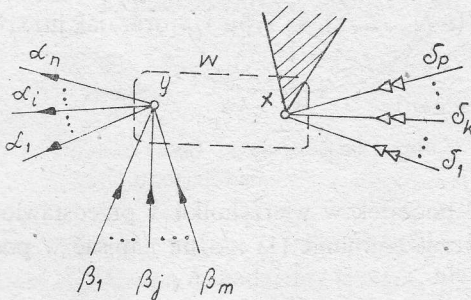
Równanie (3) jest równaniem gałęzi  $\bar{\beta}_j$  typu  $x/y$ , skierowanej od wierzchołka  $y$  do  $x$  z rysunku 8a. Graf przepływu sygnałów z wykorzystaniem gałęzi  $\bar{\beta}_j$  zamiast  $\beta_j$  pokazany jest na rysunku 8b.



Rys. 8. Konstruowanie grafu przepływu sygnałów na podstawie grafu oddziaływań

W grafie przepływu sygnałów utworzonym w podany wyżej sposób z grafu oddziaływań w postaci ogólnej, sytuacja przedstawia się inaczej. Mianowicie wierzchołki  $x$  mogą być końcowymi; wierzchołki  $y$  mogą być wierzchołkami początkowymi oraz wartość sygnału reprezentowanego przez wierzchołek  $y$  nie musi wynosić zero. Na rysunku 9 przedstawiono fragment grafu przepływowego z parą wierzchołków  $x$  i  $y$ .

Pierwszy etap przekształcenia polegał więc, jak można zauważyć na rysunku 9, na wyznaczeniu gałęzi zastępczych dla gałęzi schodzących się ( $\beta_j$ ) i rozchodzących się ( $\alpha_i$ ) w wierzchołku  $y$  grafu przepływu sygnałów. Naturalnie niezbędne jest wówczas usunięcie gałęzi  $\alpha_i$  (również wykonywane w pierwszym etapie) oraz gałęzi  $\beta_j$ , co jest realizowane



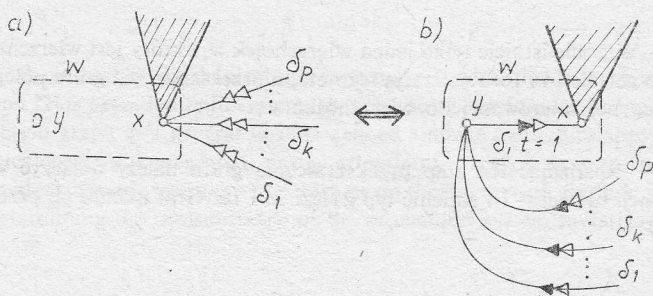
Rys. 9. Ilustracja do pierwszych dwóch etapów przekształcenia

w etapie drugim. Realizowane w drugim etapie przekształcenia usuwanie gałęzi  $\beta_j$  wynika z następującego spostrzeżenia. Otóż, suma wielkości przepływowych  $y_i$  ( $i=1, \dots, m$ ), będących wielkościami wyjściowymi gałęzi  $\beta_j$ , nie może być równa zero gdy wierzchołek  $x$  (stowarzyszony z  $y$ ) jest końcowym wierzchołkiem gałęzi  $\delta_k$ . W przeciwnym przypadku istniałaby możliwość wyznaczenia wartości  $x$  w sposób przedstawiony na rysunku 8 i wówczas wartość ta byłaby określona dwukrotnie. Ponadto gałęzi  $\alpha_i$  miałyby początek w wierzchołku o wartości sygnału równej zero. Łatwo zresztą zauważyć, że w poprawnie skonstruowanym grafie oddziaływań wspomniany warunek ( $\Sigma y \neq 0$ ) jest zawsze spełniony.



Usunięcie niektórych pęków gałęzi  $\beta_j$  jest więc konieczne ze względu na równanie (1), które musi zachodzić dla grafu admitycyjnego. Wykonany wcześniej pierwszy etap gwarantuje niezmiennosc wartości wielkości  $x$  we wszystkich wierzchołkach grafu. Natomiast w następstwie drugiego etapu nie występują w niektórych wierzchołkach w sposób jawny wielkości  $y$ , które jednak można zawsze wyznaczyć znając wielkość  $x$  oraz admityancję członu.

Trzeci etap przekształcenia znajduje swoje uzasadnienie w równoważności grafów przepływowych przedstawionych na rysunkach 10a i 10b. Po drugim etapie przekształcenia wierzchołek  $y$ , stowarzyszony z wierzchołkiem  $x$ , do którego dochodzą gałęzie  $\delta_k$ , jest swobodny (rys. 10a). Można więc graf przepływu sygnałów z rysunku 10a przekształcić do równoważnej mu postaci z rysunku 10b.



Rys. 10. Ilustracja do trzeciego etapu przekształcenia

Po zwarciu wierzchołków  $x$  i  $y$  w grafie przepływu sygnałów z rysunku 10b otrzymuje się wierzchołek  $w$  w grafie oddziaływań. W wierzchołku tym pojawi się pętla  $\delta$ , która jest gałęzią typu  $x/y$  i ma przyporządkowaną transmitancję 1. Typ gałęzi  $\delta$  można zmienić na  $y/x$ , lecz wymaga to zmiany znaku gałęzi (patrz rys. 8b i równania (2) oraz (3)).

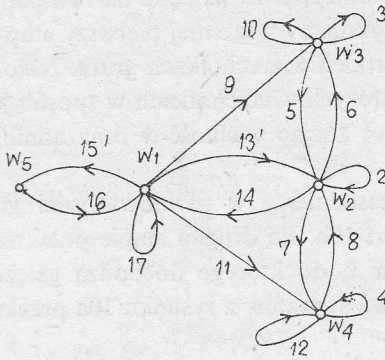
Otrzymany w ten sposób admitycyjny graf oddziaływań posiada takie same wartości  $x$  co graf wyjściowy we wszystkich swoich wierzchołkach. Zmiana wartości  $y$  w niektórych wierzchołkach (w następstwie 2-go i 3-go etapu analizy) jest w tym przypadku bez znaczenia. Wynika to stąd, iż interesujące nas sygnały  $y$  są w grafie oddziaływań związane z gałęziami grafu, a nie z jego wierzchołkami.

## Przykład 2

Przedstawiony na rysunku 4 graf oddziaływań w postaci ogólnej należy przekształcić do postaci admitycyjnej.

Etap pierwszy — W grafie tym istnieje tylko jeden wierzchołek  $w_1$ , który jest wierzchołkiem końcowym gałęzi typu  $a/y$ . Są to w tym przypadku gałęzie 13 i 15. Istnieje w tym wierzchołku jedna gałąź typu  $y/b$  — jest to gałąź 1.

W wyniku pierwszego etapu przekształcenia otrzymujemy więc zamiast gałęzi 13 gałąź 13' skierowaną od  $w_1$  do  $w_2$  o transmitancji  $t'_{13} = t_1 \cdot t_{13}$  oraz zamiast gałęzi 15 gałąź 15' skierowaną od  $w_1$  do  $w_5$ , której przyporządkowujemy transmitancję  $t'_{15} = t_{15} \cdot t_1$ .



Rys. 11. Przekształcony graf oddziaływań serwowomoteru hydraulicznego

$$t'_{13} = t_1 t_{13},$$

$$t'_{15} = t_1 t_{15},$$

$$t_{17} = -1$$

Etap drugi – W grafie istnieje tylko jeden wierzchołek  $w_1$ , który jest wierzchołkiem końcowym gałęzi typu  $x/x$ . Są to gałęzie 14 i 16. Realizacja tego etapu przekształcenia grafu polega więc na usunięciu gałęzi 1, jako jedynej skierowanej do wierzchołka  $w_1$ .

Etap trzeci – Realizując ten etap przekształcenia grafu należy dołączyć w wierzchołku  $w_1$  pętlę 17 o transmitancji równej  $-1$  i zmienić typ gałęzi 14 i 16. Graf układu po przekształceniu pokazano na rysunku 11.

#### 4. Podsumowanie

Zaprezentowane rozszerzenie zakresu zastosowań metody grafów oddziaływań na układy nie posiadające opisu admitancyjnego umożliwia analizę – tą metodą – szerszej klasy układów.

Przyjęto metodę przekształcania grafu w postaci ogólnej do postaci admitancyjnej i wykorzystanie opracowanego już algorytmu analizy na podstawie grafu admitancyjnego. Skuteczność takiego podejścia związana jest przede wszystkim z małą stosunkowo liczbą członów nie posiadających opisu admitancyjnego w urządzeniach mechanicznych.

Dalsze prace autora będą zmierzały do sformalizowania przedstawionego algorytmu, co umożliwi jego realizację przez komputer jako pierwszej fazy analizy układów metodą grafów oddziaływań.

Praca wpłynęła do Redakcji w październiku 1982 r.

#### Literatura

- [1] C. Orlikowski, *Topologiczna analiza układów mechanicznych*. Konferencja „Problemy rozwoju i projektowania maszyn energetycznych”. Zesz. Nauk. IMP PAN, nr 114/1022/81.
- [2] C. Orlikowski, *Topologiczna analiza hydraulicznych układów automatyki*. Prace II konferencji „Pneumatyczne i Hydrauliczne Elementy Automatyki Przemysłowej”, Warszawa, 1981.
- [3] C. Orlikowski, *Topologiczna analiza układów mechanicznych – algorytm obliczeń komputerowych*. Prace II Konferencji „Zastosowanie Komputerów w Przemysle”, Szczecin, 1981.

**Обобщение топологического анализа систем методом графов воздействий****Резюме**

В работе обобщен, на системы не имеющие адмитанционного описания, топологический метод анализа механических систем с применением графов воздействий, представленный в [1] и [2]. Определяется понятие графа воздействий в общем виде, а также представлена методика его конструирования для механических систем, с особым учетом т. наз. механических устройств автоматики. Представлен алгоритм действий над графом воздействий в общем виде, позволяющий определить трансмитанцию исследуемой механической системы.

**Generalized Topological Analysis of Systems by the Method of Interaction Graphs****Summary**

The topological method of mechanical systems analysis with the help of interaction graphs as presented in [1] and [2] is extended onto systems that are not given an admittance description. The notion of the interaction graph in a general form is defined and the methodics allowing to construct the graph for mechanical systems is presented, special attention being paid to so called mechanical devices of automatics. An algorithm is presented of operations on the interaction graph in a general form which makes possible determining the transmittance of the mechanical system investigated.