

JERZY SIWIŃSKI

Katedra Elektryfikacji Kopalń

SYNTEZA UKŁADU AUTOMATYCZNEGO STEROWANIA  
NAPĘDÓW POTOKU PRODUKCYJNEGO

(Referat wygłoszony na Sekcji Elektrycznej Sesji Naukowej Wydziału Górniczego Politechniki Śląskiej w Gliwicach w dniu 10.12.1960 w ramach obchodu XV-lecia Uczelni oraz 10-lecia Wydziału Górniczego)

Streszczenie: Praca dotyczy jednego z najpowszechniejszych zagadnień automatyzacji przemysłu, jakim jest automatyczne sterowanie procesów produkcyjnych za pomocą układów przekaźnikowych. Przedstawiono w niej zasady syntezy schematów wielotaktowych z elementami zwykłymi i z elementami czasowymi oraz sposób przejścia od schematu szeregowo-równoległego do schematu mostkowego. Wyjaśniono kryteria wg których podstawowe równanie schematowe elementu układu wielotaktowego należy uzupełniać elementami pośredniczącymi. Przy pomocy przedstawionych zasad rozwiązano zagadnienie określone w tytule.

## 1. WSTĘP

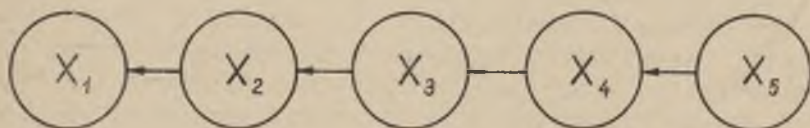
Silniki napędzające mechanizmy potoku produkcyjnego muszą być sterowane z uwzględnieniem niezbędnych blokad, wynikających z warunków procesu technologicznego. Przy ścisłym określeniu tych warunków zawsze można wykonać syntezę odpowiedniego układu automatycznego sterowania, w którym uruchomienie i zatrzymanie wszystkich mechanizmów odbywa się za pomocą tylko jednej pary przycisków: "załącz" Z i "wyłącz" W. Wszystkie skomplikowane nieraz wymagania odnośnie kolejności uruchomienia poszczególnych silników, odstępów czasowych między kolejnymi rozruchami itp. wykonuje samoczynnie odpowiednio zaprojektowany układ przekaźnikowy automatycznego sterowania.

Zastosowanie układów przekąźnikowych umożliwia automatyzację wielu czynności wykonywanych przez urządzenia przemysłowe. Układy takie pracujące we wzajemnie współzależnych obwodach elektrycznych mogą wykonywać nawet najbardziej skomplikowane czynności wg założonego przez konstruktora programu. W miarę rozwoju automatyzacji przemysłu zastosowanie układów przekąźnikowych staje się coraz powszechniejsze. Ilustracją układów przekąźnikowych są schematy przekąźnikowo-stykowe. Syntezę przekąźnikowego układu automatycznego sterowania wykonuje się przez syntezę odpowiedniego schematu elektrycznego tego układu. W przypadkach prostych syntezą układu przekąźnikowego można wykonać na drodze intuicyjnej przez bezpośrednie "odgadnięcie" właściwego schematu. W przypadkach bardziej skomplikowanych, zazwyczaj w praktyce występujących, konieczne jest zastosowanie algebry układów łączeniowych.

Do często spotykanych przypadków należy zagadnienie syntezy układu automatycznego sterowania zespołu silników szeregowego potoku produkcyjnego. Zagadnienie to występuje w różnych gałęziach przemysłu, jak np. w przemyśle górniczym, hutniczym, maszynowym itp. Dla takiego właśnie często spotykanego przypadku zostanie wykonana synteza układu automatycznego sterowania, przy wykorzystaniu zasad algebry układów łączeniowych.

## 2. ZAŁOŻENIA TECHNOLOGICZNE

Przypuśćmy że mechanizmy pewnego procesu technologicznego współpracują ze sobą wg kolejności podanej na rys.1. Numeracja mechanizmów odpowiada wymaganej kolejności ich załączania podczas rozruchu. Kolejność ta jest odwrotna do kierunku procesu technologicznego zaznaczonego strzałkami, tzn. maszyna  $X_1$  załączona jako pierwsza, w przebiegu



Rys.1. Schemat współpracy mechanizmów procesu technologicznego

potoku produkcyjnego znajduje się na końcu - i odwrotnie. Przedmioty produkcji wytworzone na maszynie  $X_2$  przechodzą kolejno na maszyny o zmniejszającej się numeracji i wreszcie proces produkcyjny kończy się na maszynie  $X_1$  [4], [6]. Jest to typowy przebieg procesu technologicznego w takich urządzeniach np. przemysłu węglowego, jak sortownia i płuca, względnie transport dołowy ciągły za pomocą przenośników taśmowych.

W rzeczywistości w schemacie produkcyjnym mogą jeszcze występować rozgałęzienia albo drogi równoległe, jednakże nie zmienia to już istoty schematu elektrycznego układu automatycznego sterowania, a wprowadza do niego tylko pewne uzupełnienia. Rozwiązanie odpowiadające przykładowemu procesowi technologicznemu z rys.1 będzie słuszne również dla dowolnie dużej liczby mechanizmów.

Dla uniknięcia nakładania się prądów rozruchowych napędy elektryczne poszczególnych maszyn powinny uruchamiać się w odstępach np. 5-sekundowych. Do uruchomienia wszystkich maszyn ma wystarczyć jednorazowe krótkie naciśnięcie przycisku rozruchowego "załącz". Wobec tego do układu automatycznego sterowania musi wchodzić specjalny generator impulsów, który samoczynnie wysyłałby w odstępach 5-sekundowych dalsze impulsy, uruchamiające kolejno poszczególne napędy. Wzajemne zablokowanie pracy napędów, oprócz ściśle wyznaczonej kolejności załączania, jest określone w ten sposób, że w razie wyłączenia którejkolwiek maszyny mają być samoczynnie wyłączone te spośród pozostałych pracujących maszyn, które na maszynę wyłączoną podają przedmioty produkcji.

Z powyższych założeń technologicznych wynika, że dla rozwiązania postawionego zadania należy najpierw wykonać syntezę układu odpowiedniego generatora impulsów, a dopiero potem syntezę układu automatycznego sterowania napędów przez impulsy tego generatora. W obydwu powyższych układach ma być zachowana określona kolejność pracy elementów, zatem będą to układy wielotaktowe. Ponadto w generatorze impulsów ma być zachowany określony czas trwania poszczególnych taktów, zatem układ takiego generatora będzie układem wielotaktowym z elementami czasowymi.

Rozpatrzmy najpierw ogólne zasady syntezy schematów wielotaktowych z elementami zwykłymi i z elementami czasowymi.

### 3. ZASADY SYNTEZY SCHEMATÓW WIELOTAKTOWYCH Z ELEMENTAMI ZWYKŁYMI [1,2,3,4,7]

Aby wykonać syntezę schematu wielotaktowego, określamy z zadanych warunków pracy liczbę elementów odbiorczych i wykonawczych i układamy tablicę łączeń zawierającą te elementy. Tablica łączeń składająca się tylko z elementów odbiorczych i wykonawczych może być rozwiązalna albo nierozwiązalna. W pierwszym przypadku można znaleźć równanie schematowe szukanego układu do którego wchodzi tylko wykazane w tablicy elementy odbiorcze i wykonawcze. W drugim przypadku takiego równania schematowego znaleźć nie można i wtedy uzupełniamy jeszcze tablicę łączeń niezbędnymi elementami pośredniczącymi. Sprawdzenie czy tablica łączeń jest rozwiązalna wykonujemy przez obliczanie tzw. stopni łączenia poszczególnych taktów. W tablicy rozwiązalnej nie może powtarzać się ten sam stopień łączenia w żadnym z taktów całego cyklu pracy układu. Jeżeli ze sprawdzenia okaże się że tak nie jest, to tablicę łączeń uzupełniamy niezbędnymi elementami pośredniczącymi. Jeżeli tablica łączeń, uzupełniona ewentualnie niezbędnymi elementami pośredniczącymi jest rozwiązalna, wtedy na podstawie tej tablicy układamy równania schematowe poszczególnych elementów i całego układu.

Sposób formułowania równań schematowych dla poszczególnych elementów szukanego układu może być rozmaity. Przy układaniu równania jakiegoś elementu wykonawczego  $W$  można np. brać pod uwagę wszystkie takty cyklu załączenia (włączając takt poprzedzający cykl załączenia i wykluczając takt poprzedzający cykl wyłączenia) i stan pozostałych elementów w tych taktach traktować jako warunki działania elementu  $W$  [1,2,7]. Sumując wszystkie takie warunki otrzymamy równanie schematowe elementu  $W$ . Równanie to jest zwykle dość złożone. w celu uproszczenia wymaga żmudnych przekształceń opartych na podstawowych prawach algebry łączeniowej. Końcowy wynik w ten sposób otrzymany zwykle nie jest najprostszy z możliwych. Wynik taki da się zazwyczaj dalej upraszczać, ale przy zastosowaniu nowych zależności wyprowadzonych specjalnie dla schematów wielotaktowych i wynikających ze ściśle ustalonej kolejności pracy poszczególnych elementów [1].

Np. jeżeli element  $X_1$  zawsze działa wcześniej od elementu  $X_2$ , a zwalnia równocześnie albo później od  $X_2$ , to ważne są zależności:

$$x_1 + \bar{x}_2 = 1; \quad \bar{x}_1 x_2 = 0; \quad \bar{x}_1 + \bar{x}_2 = \bar{x}_2;$$

$$x_1 x_2 = x_2; \quad \bar{x}_1 \bar{x}_2 = \bar{x}_1; \quad x_1 + x_2 = x_1; \quad \text{itd.}$$

Metoda ta wymaga pamiętania dodatkowych zależności i jest żmudna w zastosowaniu.

Poniżej podamy znacznie prostszy sposób postępowania [3,4] z tablicy łążeń dla elementu np. W określamy warunki zadziałania  $f'$  powstające w takcie poprzedzającym cykl załączenia i warunki zwolnienia  $\bar{f}''$  powstające w takcie poprzedzającym cykl wyłączenia, czyli w ostatnim takcie cyklu załączenia. Dla uproszczenia postępowania warunki zwolnienia  $\bar{f}''$  zapisujemy tak jak by to były warunki zadziałania i nad takim zapisem umieszczamy kreskę jako znak dopełnienia (inwersji). Wtedy oczywiście równanie schematowe elementu W można napisać w postaci

$$F(W) = f' \cdot \bar{f}''$$

Ale uwzględnienie tych warunków jest wystarczające tylko wtedy, kiedy wchodzące do nich elementy nie zmieniają swego stanu w ciągu cyklu załączenia elementu wykonawczego W. W przeciwnym razie do równania  $F(W) = f' \cdot \bar{f}''$  należy wprowadzić jeszcze elementy dodatkowe.

Jeżeli tablica łążeń jest rozwiązalna, to te dodatkowe elementy już się w niej znajdują. Jeżeli tablica łążeń jest nierozwiązalna, to te dodatkowe elementy znajdują się między tymi elementami pośredniczącymi, jakie do tablicy łążeń trzeba było wprowadzić aby zamienić ją na tablicę rozwiązalną.

Szczegółowa analiza przypadków w których zależność  $F(W) = f' \cdot \bar{f}''$  jest nie wystarczająca daje w wyniku kryteria, wg których należy do równań schematowych poszczególnych elementów układu wielotaktowego wprowadzać elementy pośredniczące. Można tu rozróżnić następujące cztery przypadki.

Przypadek 1. Warunki zadziałania  $f'$  znikają przedwcześnie w którymś z taktów cyklu załączenia. Jeżeli np. dla jakiegoś elementu W istnieje w dowolnym cyklu załączenia warunek zadziałania w postaci funkcji

$$f' = (x, y, z, \dots)$$

to żaden z elementów wchodzących do  $f'$  nie powinien zmieniać swego stanu w ciągu całego cyklu załączenia. Jeżeli jednak swój stan zmienia np. element Y, to trzeba zastosować odpowiednią blokadę w postaci dodatkowego styku jakiegoś elementu pośredniczącego Q, która uniemożliwiła by przedwczesne zwolnienie elementu W.

Przypadek ten jest przedstawiony w czterech możliwych wariantach na rys. 2a, b, c, d. Na każdym z tych czterech rysunków pokazano: wykres pracy elementów Y, W, Q wyjaśniający warunki zadziałania elementu W (warunki zwolnienia  $\bar{f}''$  nie są pokazane); tablicę łączy odpowiadającą temu wykresowi; równanie schematowe elementu W ułożone na podstawie tablicy łączy z wprowadzonym stykiem dodatkowego elementu pośredniczącego Q; schemat odpowiadający znalezionemu równaniu schematowemu.

Oczywiście powyższa blokada może być uzyskana również stykiem własnym elementu W przez tzw. samopodtrzymanie. Wtedy odnośne rozwiązania otrzymują postać:

$$F(W) = (y + w) \cdot \bar{f}''$$

albo

$$F(W) = (\bar{y} + w) \cdot \bar{f}''$$

Warunki zwolnienia  $\bar{f}''$  mogą być odniesione również do samego elementu blokującego. Wtedy równanie elementu W dla dowolnego cyklu załączenia będzie w ogólnym przypadku

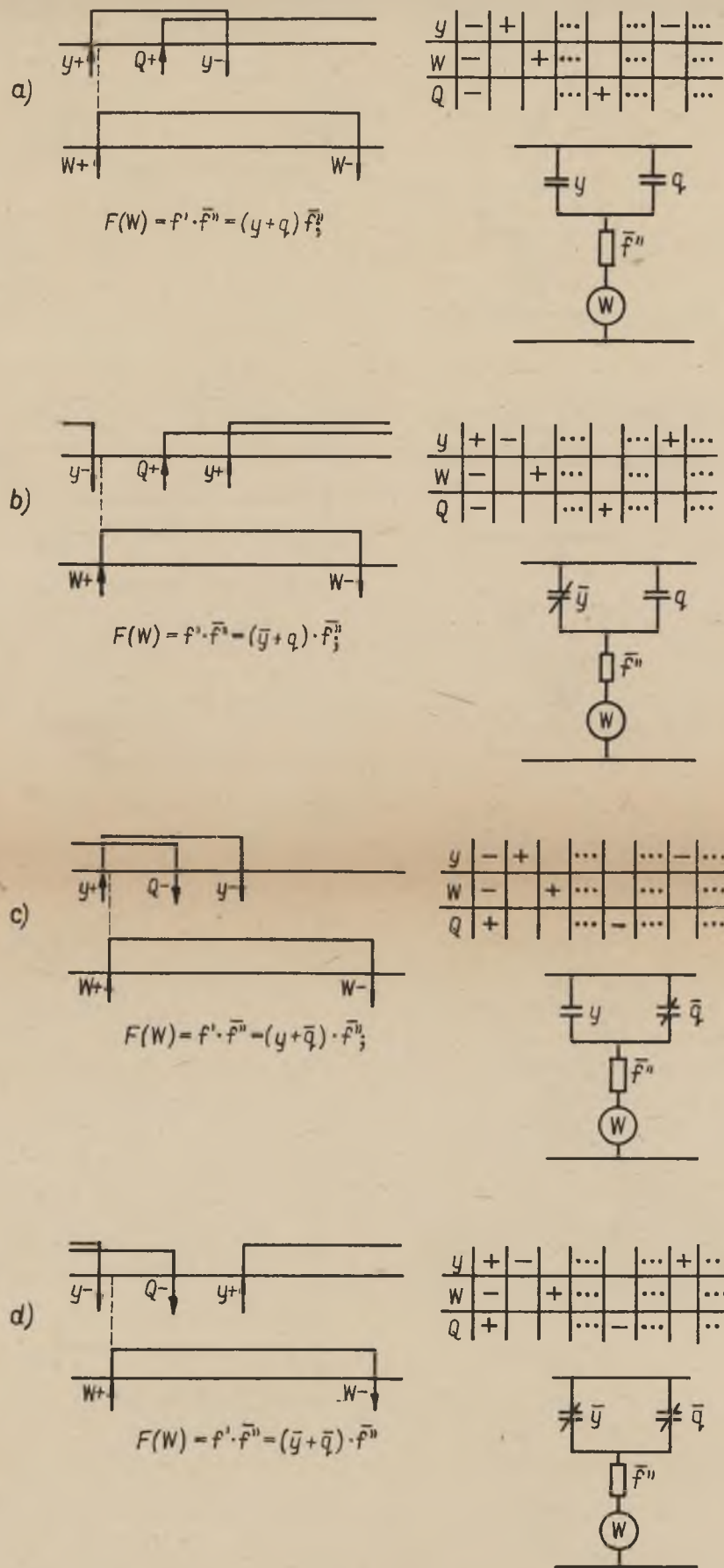
$$F(W) = f'(x, y, z, \dots) + q \cdot \bar{f}''$$

albo

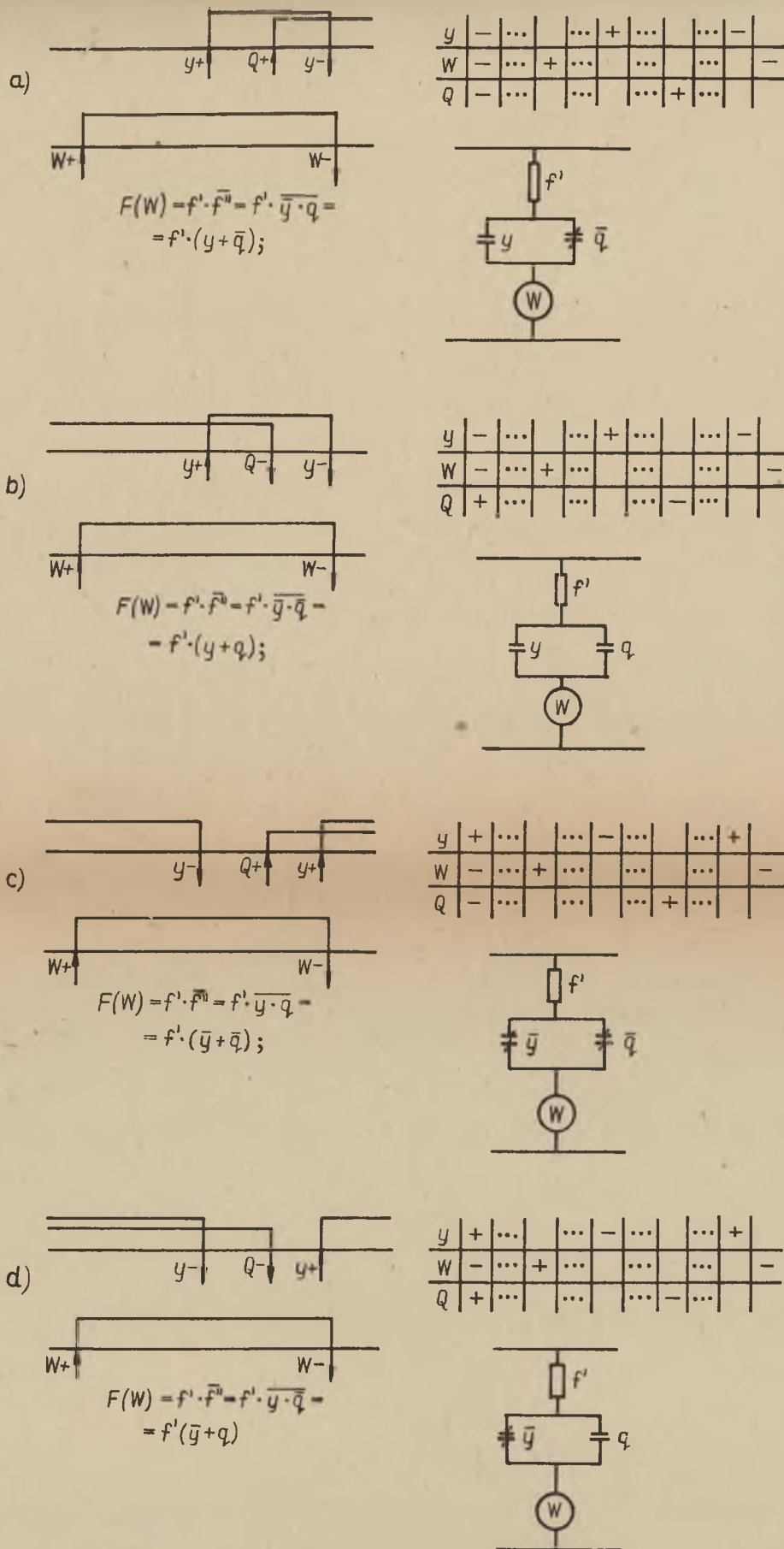
$$F(W) = f'(x, y, z, \dots) + w \cdot \bar{f}''$$

Jeżeli więc któryś z elementów wchodzących do warunków zadziałania  $f'$  elementu W, np. element Y zmienia przedwcześnie swój stan w ciągu cyklu załączenia, to do funkcji  $f'$  należy wprowadzić jeszcze dodatkowy element pośredniczący Q, który także zmienia swój stan w ciągu cyklu załączenia, ale wcześniej od elementu Y. Jako inną ewentualność można w takim przypadku wprowadzić samopodtrzymanie własnym stykiem elementu W.

Przypadek 2. Warunki zwolnienia  $\bar{f}''$  powstają nie tylko w ostatnim taktie cyklu załączenia, ale również przedwcześnie w którymś z innych taktów cyklu załączenia.



Rys.2. Cztery warianty schematu wielotaktowego w którym warunki zadziałania  $f'$  zanikają przedwcześnie



Rys.3. Cztery warianty schematu wielotaktowego w którym warunki zwolnienia  $\bar{f}''$  powstają przedwcześnie



Jeżeli np. dla jakiegoś elementu  $W$  w dowolnym cyklu wyłączenia istnieje warunek zwolnienia (niedziałanie) w postaci funkcji

$$\bar{f}''(x, y, z, \dots)$$

to obwody wyrażone tą funkcją powinny być połączone szeregowo z obwodami przedstawiającymi warunki zadziałania  $f'$  elementu  $W$  dla poprzedniego cyklu załączenia.

Od stanu elementów wchodzących do funkcji  $\bar{f}''$  zależny będzie stan elementu  $W$  w poprzednim cyklu załączenia. Zatem żaden z tych elementów nie powinien zmieniać swego stanu w poprzednim cyklu załączenia. Jeżeli jednak w tym cyklu zmieni swój stan np. element  $Y$  wchodzący do warunków  $\bar{f}''$ , to należy w schemacie przewidzieć takie obwody dodatkowe, aby przedwczesna zmiana stanu elementu  $Y$  nie wpływała na stan elementu  $W$ . Przypadek ten jest przedstawiony w czterech możliwych wariantach na rys. 3a, b, c, d. Na każdym z tych czterech rysunków pokazano wykres pracy elementów  $Y, W, Q$  wyjaśniający warunki zwolnienia  $\bar{f}''$  elementu  $W$  (warunki zadziałania  $f'$  nie są pokazane), jak również tablicę łążeń, równanie schematowe i wreszcie schemat, analogicznie jak na rys. 2.

Jak widać z rys. 3, element  $Y$  wchodzący do warunków zwolnienia zmienia swój stan dwukrotnie, z tym że zmiana jego stanu w ostatnim takcie cyklu załączenia jest konieczna, gdyż warunkuje zwolnienie elementu  $W$ , natomiast zmiana poprzednia zmusza nas do skomplikowania schematu, gdyż dla taktów poprzedzających tę zmianę musimy szukać dodatkowego elementu  $Q$ , który swoim stanem zastąpiłby zmieniony stan elementu  $Y$ . Zatem element  $Q$  powinien zmieniać swój stan później od przedwczesnej zmiany stanu elementu  $Y$ , ale wcześniej od drugiej zmiany stanu elementu  $Y$ , powodującej zwolnienie elementu  $W$ , i powinien wchodzić do warunków zwolnienia  $\bar{f}''$  elementu  $W$ .

Jeżeli więc któryś z elementów wchodzących do warunków zwolnienia  $\bar{f}''$  elementu  $W$ , np. element  $Y$ , zmienia swój stan w ciągu cyklu załączenia, to do funkcji  $\bar{f}''$  należy wprowadzić jeszcze dodatkowy element pośredniczący  $Q$ , który także zmienia swój stan w ciągu cyklu załączenia, ale później od elementu  $Y$ .

Przypadek 3. Kombinacja stanu elementów odpowiadająca warunkowi działania elementu  $W$  w dowolnym cyklu załączenia powstaje również w jakimś takcie  $k$  jednego z cykli wyłączenia.

Przypuśćmy że funkcja  $F(W) = f' \cdot \bar{f}$  po zniesieniu znaku dopełnienia i otwarciu nawiasów otrzyma postać

$$F(W) = \varphi_1 + \varphi_2 \dots + \varphi_n$$

Jakiś warunek  $\varphi$  powtarza się w takcie  $k$  jednego z cykli wyłączenia. Wtedy warunek  $\varphi$  należy uzupełnić szeregowym stykiem dodatkowego elementu  $X^Q$ , którego stan zmieniałby się w przedziale taktów zawartych między taktem poprzedzającym cykl załączenia elementu  $W$  i taktem  $k$ .

Otrzymamy

$$F(W) = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_{X^Q} \dots + \varphi_n$$

Przypadek 4. Ten sam warunek zadziałania  $f'$  elementu  $W$  wywołuje przy powtórzeniu się w jednym z późniejszych taktów cyklu pracy układu zadziałanie innego elementu, np.  $X$ .

Wtedy w przedziale taktów zawartych między taktami decydującymi o zadziałaniu elementu  $W$  i elementu  $X$  musi zmieniać swój stan jeszcze jeden element dodatkowy np.  $Q$ . Element ten należy wprowadzić do warunków zadziałania elementu  $W$ .

Otrzymamy

$$F(W) = (f' \cdot q) \cdot \bar{f}$$

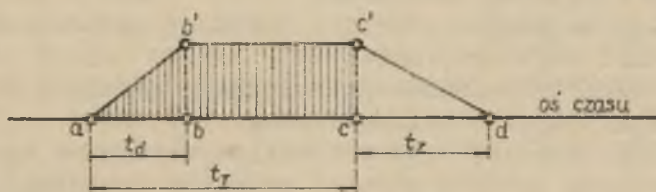
#### 4. ZASADY SYNTEZY SCHEMATÓW WIELOTAKTOWYCH Z ELEMENTAMI CZASOWYMI<sup>1)</sup> [4]

Dla uzyskania w układzie wielotaktowym określonego czasu trwania poszczególnych taktów stosujemy elementy czasowe. Spośród różnych typów elementów czasowych najprostsze w budowie i najpewniejsze w działaniu są elektromagnetyczne przekaźniki czasowe prądu stałego z tuleją miedzianą, albo bez tulei, ale wyłączane przez zwarcie cewki.

<sup>1)</sup> Podany tu sposób syntezy schematów wielotaktowych z elementami czasowymi autor przedstawił w r.1954 w swej pracy kandydackiej: J.Siwiński, Synteza i analiza schematów przekaźnikowo-stykowych w zastosowaniu do automatyzacji niektórych urządzeń górniczych. Politechnika Śląska Gliwice 1954.

Przełączniki czasowe prądu stałego z tuleją mają opóźnienie czasu zwalniania do 5s (w nowszych wykonaniach nawet do 10s). Zalety tych przełączników zdecydowały o szerokim ich rozpowszechnieniu. Tam gdzie nie ma do dyspozycji źródła prądu stałego i obwody sterownicze zasilane są prądem zmiennym, stosuje się do zasilania przełączników czasowych prądu stałego specjalny układ mostkowy prostowników stykowych. Dalsze rozważania na temat syntezy schematów wielotaktowych z elementami czasowymi dotyczyć będą takich właśnie przełączników czasowych prądu stałego.

Pracę przełącznika czasowego prądu stałego można przedstawić za pomocą wykresu czasowego, rys.4. Jest to wygodne szczególnie przy badaniu długości trwania poszczególnych taktów w układach wielotaktowych. Na wykresie tym oznacza się w umowny sposób zmiany prądu w cewce przełącznika (lub innego elementu układu) i towarzyszące im zmiany strumienia magnetycznego w jego rdzeniu. Na rys.4 punkt a oznacza chwilę



Rys.4. Wykres czasowy pracy przełącznika.  $t_d$  - czas zadzia-  
łania;  $t_z$  - czas zwalniania;  $t_r$  - czas przepływu prądu przez  
cewkę

zamknięcia obwodu prądu w cewce przełącznika. Narastanie prądu i strumienia pokazuje linia  $ab'$ . Punkt  $b$  odpowiada chwili przyciągnięcia zwory przełącznika. Odcinek  $ab$  w skali czasu równa się czasowi zadziałania przełącznika  $t_d$ . Obwód prądu płynącego przez cewkę przełącznika otwiera się w chwili  $c$ . Opadanie strumienia magnetycznego pokazuje linia pochyła  $c'd$ . Punkt  $d$  odpowiada chwili zwolnienia zwory; odcinek  $cd$  równa się czasowi zwalniania zwory przełącznika  $t_z$ .

Przy wykorzystaniu przełącznika czasowego prądu stałego jako elementu schematowego należy znać następujące parametry jego pracy:  $t_d$  - czas zadziałania;  $t_z$  - czas zwalniania;

$t_u$  - czas po którym praktycznie strumień magnetyczny prze-  
kazywnika osiąga swą ustaloną wartość;  $t_I$  - czas przepływu  
prądu przez cewkę.

Oczywiście przekazywnik czasowy z opóźnionym zwalnianiem  
osiąga określony dla niego czas  $t_u$  tylko wtedy, kiedy przed  
wyłączeniem go z obwodu jego strumień magnetyczny zdążył  
osiągnąć swą ustaloną wartość, to znaczy gdy przedtem prze-  
kazywnik znajdował się pod prądem co najmniej przez czas  $t_u$ .  
Jeżeli czas  $t_I$  w ciągu którego przekazywnik znajdował się  
pod prądem jest krótszy od  $t_u$ , to i czas zwalniania  $t$  bę-  
dzie krótszy od wartości znamionowej. Zatem przy syntezie  
schematów wielotaktowych z elementami czasowymi należy uwa-  
żać, aby było zawsze

$$t_I \geq t_u$$

Sposób postępowania przy syntezie schematów wielotakto-  
wych z elementami czasowymi będzie podobny jak przy synte-  
zie schematów z elementami zwykłymi, z tym że trzeba wyko-  
nać pewne czynności dodatkowe.

Tak więc najpierw, podobnie jak przy syntezie schematów  
z elementami zwykłymi, należy:

- 1) z zadanych warunków pracy układu określić liczbę ele-  
mentów odbiorczych i wykonawczych;
- 2) ułożyć tablicę łączeń i obliczyć stopnie łączenia  
poszczególnych taktów; w razie potrzeby uzupełnić tablicę  
łączeń elementami pośredniczącymi;
- 3) na podstawie tablicy łączeń ułożyć równania schemato-  
we poszczególnych elementów;
- 4) mając równania schematowe poszczególnych elementów  
znaleźć równanie całego schematu i ewentualnie przekształ-  
cić je do postaci najprostszej;
- 5) na podstawie otrzymanego równania narysować odpowia-  
dający mu schemat;
- 6) sprawdzić czy działanie układu przedstawionego na  
otrzymanym schemacie zgadza się z tablicą łączeń, tzn. z  
zadanymi warunkami.

Przy syntezie schematów wielotaktowych z elementami cza-  
sowymi należy wykonać o jedną czynność więcej, a mianowicie  
po czynnościach od 1 do 3 należy jeszcze wykonać czynność  
3<sup>o</sup>:

3<sup>o</sup>) sprawdzić, czy przy zastosowaniu przekazywników cza-  
sowych otrzymane czasy trwania poszczególnych taktów mają  
założoną długość oraz czy przekazywniki czasowe pracują we

właściwych warunkach, zapewniających im osiągnięcie podczas taktów działania koniecznego czasu  $t_d$ ; w razie przeciwnym uzupełnić tablicę łączeń potrzebnymi czasowymi elementami pośredniczącymi i dla tych elementów również ułożyć równania ich obwodów.

Do wykonania czynności 3' wprowadza się metodę graficzną wykresów czasowych pracy układu. Na takim wykresie czasowym przedstawiona jest praca wszystkich wzajemnie od siebie zależnych elementów, z tym, że praca każdego z tych elementów zilustrowana jest w sposób jak na rys.4.

Wykres czasowy pracy układu wykorzystujemy w celu:

- a) sprawdzenia działania układu pod względem długości trwania poszczególnych taktów;
- b) sprawdzenia czy w pracy przekaźników czasowych zachowany jest minimalny czas narastania strumienia  $t_u$ , tzn. sprawdzenie warunku  $t_I \geq t_u$ .

Zarówno sprawdzenie a) jak i sprawdzenie b) może wykazać, że tablicę łączeń należy uzupełnić dodatkowym elementem pośredniczącym. Specjalnie ważne jest tu sprawdzenie b), bez którego wszelkie pozory mogą wskazywać na prawidłowość rozwiązania, a mimo to rozwiązanie może być błędne. Jeżeli ze sprawdzenia okaże się, że należy wydłużyć czas przerwy, to tablicę łączeń należy uzupełnić dodatkowym elementem czasowym, który działa później od elementu sprawdzanego. Jeżeli natomiast okaże się że należy wydłużyć czas  $t_d$  lub czas impulsu, to należy zastosować element dodatkowy, który działa wcześniej od elementu sprawdzanego.

## 5. SYNTEZA SCHEMATU GENERATORA IMPULSÓW [4]

Elementem odbiorczym (tzn. odbierającym zlecenia z zewnątrz) w układzie generatora impulsów będzie ręczny przycisk załączający Z, a elementem wykonawczym przekaźnik (oznaczony np. literą A) który ma zmieniać swój stan co 5 s. Styki tego przekaźnika, przedstawiając się co 5 s, mają wysyłać impulsy sterownicze do układu automatycznego sterowania napędów. Założony czas trwania poszczególnych taktów uzyskamy przez zastosowanie odpowiednich przekaźników czasowych.

Przypuśćmy że mamy do dyspozycji dwa typy przekaźników czasowych prądu stałego, dla których czasowe dane katalogowe wynoszą:

$$\text{Typ 1 : } t_d = 0,1 \text{ s} \quad t_u = 0,4 \text{ s} \quad t_z = 5,0 \text{ s}$$

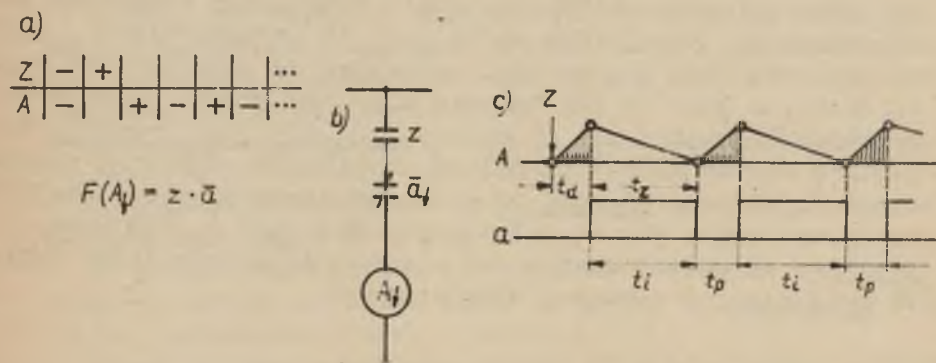
$$\text{Typ 2 : } t_d = 0,1 \text{ s} \quad t_u = 0,3 \text{ s} \quad t_z = 0,2 \text{ s}$$

Praca elementu wykonawczego  $A$  ma polegać na cyklicznym zamykaniu i otwieraniu styków. Zadanie takie może spełnić najprostszy impulsator 1 - przekaźnikowy uruchamiany przyciskiem  $Z$ , należy tylko sprawdzić, czy długość otrzymanych tym sposobem impulsów i przerw odpowiada założeniu.

Na rys.5 przedstawiono dla takiego impulsatora tablicę łążeń, schemat i wykres czasowy. Widoczne w tablicy łążeń i na schemacie strzałki skierowane w dół i umieszczone przy oznaczeniu literowym przekaźnika  $A_1$  (i jego styku  $a_1$ ) oznaczają, że chodzi tu o przekaźnik czasowy z opóźnionym zwalnianiem. Z tablicy łążeń mamy:

$$F(A_1) = z \cdot \bar{a}_1$$

co odpowiada pokazanemu schematowi.



Rys.5. Impulsator 1-przekaźnikowy: a) tablica łążeń; b) schemat; c) wykres czasowy;

Na podstawie wykresu czasowego pracy impulsatora (rys.5c) sprawdzamy czasy: impulsu  $t_i$ , przerwy  $t_p$ , ustalonej wartości strumienia  $t_u$ . Otrzymamy:

$$t_i = t_z = 5 \text{ s}$$

$$t_p = t_d = 0,1 \text{ s} < 5 \text{ s}$$

$$t_u = t_d = 0,1 \text{ s} < 0,4 \text{ s}$$

Jak widzimy otrzymany czas przerwy  $t = 0,1$  s jest mniejszy od wartości założonej 5 s. Zatem do tablicy łączeń należy wprowadzić element pośredniczący  $Q_i$  dla którego  $t = 4,9$  s  $\approx 5$  s, działający później od elementu  $A_i$ .

Również otrzymany czas  $t = 0,1$  s jest mniejszy od wartości założonej 0,4 s. Zatem do tablicy łączeń należy wprowadzić jeszcze drugi element pośredniczący  $P_i$  dla którego  $t = 0,3$  s, działający wcześniej od elementu  $A_i$ .

Tym sposobem otrzymamy impulsator trzyprzełącznikowy z przełącznikami  $A_i, Q_i, P_i$ . Uzupełniona tablica łączeń przedstawiona jest na rys.6a. Na podstawie tej tablicy znajdujemy równania schematowe poszczególnych elementów oraz całego impulsatora

$$F(P_i) = z \cdot \bar{q}_i$$

$$F(A_i) = p_i \cdot \bar{p}_i = p_i$$

$$F(Q_i) = a_i \cdot \bar{a}_i = a_i$$

$$F = z \cdot \bar{q}_i \cdot P_i + p_i \cdot A_i + a_i \cdot Q_i$$

Równaniu temu odpowiada schemat z rys. 6 b.

Sprawdzamy działanie układu pod względem kolejności taktów. Z rys.6 b mamy:

Z+, P+, A+, Q+,

P-, A-, Q-,

P+, ..... itd.

zgadza się z tablicą łączeń.

Sprawdzamy działanie układu pod względem długości generowanych impulsów. W tym celu sporządzamy wykres czasowy pracy układu, rys.6c. Z rys.6c mamy

$$t_{IP} = t_{dP} + t_{dA} + t_{dQ} = 0,1 + 0,1 + 0,1 = 0,3 \text{ s}$$

$$t_{IA} = t_{dA} + t_{dQ} + t_{dP} = 0,1 + 0,1 + 0,2 = 0,4 \text{ s}$$

$$t_{IQ} = t_{dQ} + t_{dP} + t_{dA} = 0,1 + 0,2 + 5,0 = 5,3 \text{ s}$$

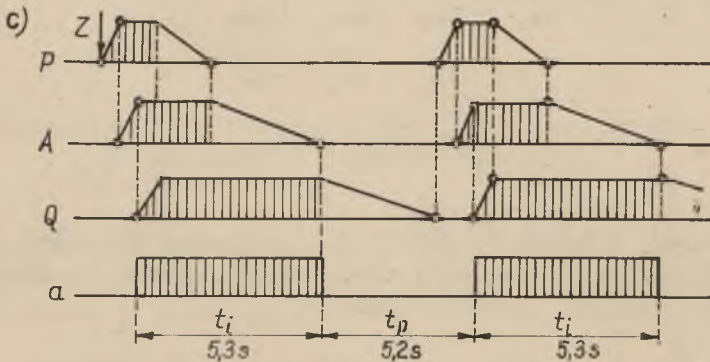
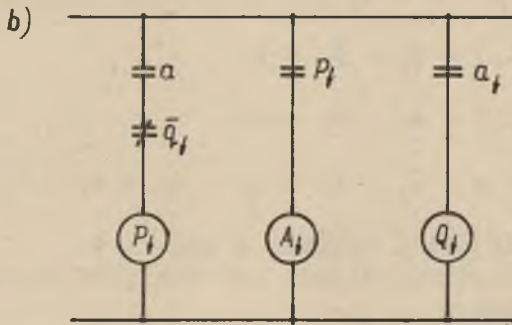
$$t_i = t_{dQ} + t_{dP} + t_{dA} = 0,1 + 0,2 + 5,0 = 5,3 \text{ s}$$

$$t_p = t_{dQ} + t_{dP} + t_{dA} = 5,0 + 0,1 + 0,1 = 5,2 \text{ s}$$

Obliczone czasy zgadzają się z założeniami. Czas impulsu  $t_i$  i przerwy  $t_p$  tylko nieznacznie różni się od założonych 5 s, zatem otrzymany wynik jest dobry.

a)

Z	-	+							
$P_f$	-		+			-			+
$A_f$	-			+			-		
$Q_f$	-				+			-	



Rys.6. Impulsator 3-przełącznikowy: a) tablica łążeń; b) - schemat; c) - wykres czasowy



6. SYNTEZA SCHEMATU AUTOMATYCZNEGO STEROWANIA NAPĘDÓW

W schemacie automatycznego sterowania napędów elementem odbiorczym będzie element generujący impulsy, czyli przełącznik A impulsatora. Drugim elementem odbiorczym będzie przycisk wyłączający W, za pomocą którego dyspozytor może każdej chwili unieruchomić wszystkie mechanizmy. Elementami wykonawczymi będą styczniki poszczególnych silników  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$ .

Po załączeniu ostatniego silnika  $X_5$  powinno zakończyć się nadawanie impulsów rozruchowych, czyli generator impulsów powinien zostać wyłączony. Do tego celu przewidujemy w tablicy łączeń jeszcze element Y, załączany po uruchomieniu ostatniej maszyny  $X_5$ . Powyższym założeniom odpowiada tablica łączeń z rys.7.

Takty	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$2^0$	A	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-				
$2^1$	W	-												+		-
$2^2$	$X_1$	-	-	+												-
$2^3$	$X_2$	-			+											-
$2^4$	$X_3$	-					+									-
$2^5$	$X_4$	-							+							-
$2^6$	$X_5$	-									+					-
$2^7$	Y	-											+			-
Stopień Łączenia	0	1	5	4	12	13	29	28	60	61	125	124	252	254	2	0

Rys.7. Tablica łączeń automatycznego sterowania napędów

Żaden stopień łączenia nie powtarza się w innym takcie cyklu pracy układu, zatem jest to tablica rozwiązalna nie wymagająca uzupełnienia elementami pośredniczącymi.

Na podstawie tablicy łączeń wykonujemy syntezę schematu, znajdując równania schematowe kolejnych elementów. Jako podstawową formę tych równań bierzemy zależność  $F(W) = f' \bar{f}''$

Dla elementu  $X_1$  z taktów 1 i 13 mamy

$$F_1(X_1) = a \cdot \bar{w}$$

Ale warunek A+ powtarza się również w taktach 5 i 9 jako warunek zadziałania innych elementów. Zachodzi tu przypadek 4 rozpatrzony w p.3 niniejszej pracy; zatem należy uzupełnić funkcję f' elementem, którego stan byłby różny w taktach 1 i 5. Elementem takim jest element  $X_2$ .

Otrzymamy

$$F_2(X_1) = a \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{w}$$

Ale warunek zadziałania A+ znika zaraz w takcie 3 podczas cyklu załączenia elementu  $X_1$  i potem element A wielokrotnie zmienia swój stan. Zachodzi tu przypadek 1 rozpatrzony w p.3 niniejszej pracy; zatem należy uzupełnić funkcję f' równoległym stykiem własnym elementu  $X_1$ .

Ostatecznie otrzymamy

$$F(X_1) = (a \cdot \bar{x}_2 + x_1) \cdot \bar{w}$$

Dla elementu  $X_2$  z taktów 3 i 13 analogicznie otrzymamy

$$F_1(X_2) = \bar{a} \cdot \bar{w}$$

$$F_2(X_2) = \bar{a} \cdot \bar{x}_3 \cdot \bar{w}$$

$$F_3(X_2) = (\bar{a} \cdot \bar{x}_3 + x_2) \cdot \bar{w}$$

Ale w takcie 0 cyklu wyłączenia elementu  $X_2$  powstaje kombinacja stanu elementów  $\varphi(X_2) = \bar{a} \cdot \bar{x}_3 \cdot \bar{w}$  odpowiadająca warunkowi działania elementu  $X_2$ . Zachodzi tu przypadek 3 rozpatrzony w p.3 niniejszej pracy; zatem funkcję f' należy uzupełnić szeregowym stykiem dodatkowego elementu którego stan zmieniałby się w przedziale taktów zawartych między taktem poprzedzającym cykl załączenia elementu  $X_2$ , tzn. taktem 3, i taktem 0. Elementem takim jest element  $X_1$ .

Ostatecznie otrzymamy

$$F(X_2) = (\bar{a} \cdot \bar{x}_3 + x_2) \cdot x_1 \cdot \bar{w}$$

Dla elementu  $X_3$  z taktów 5 i 13 analogicznie mamy

$$F_1(X_3) = a \cdot \bar{w}$$

$$F_2(X_3) = a \cdot \bar{x}_4 \cdot \bar{w}$$

$$F_3(X_3) = (a \cdot \bar{x}_4 + x_3) \cdot \bar{w}$$

$$F(X_3) = (a \cdot \bar{x}_4 + x_3) \cdot x_2 \cdot \bar{w}$$

Dla elementu  $X_4$  będzie

$$F_1(X_4) = \bar{a} \cdot \bar{w}$$

$$F_2(X_4) = \bar{a} \cdot \bar{x}_5 \cdot \bar{w}$$

$$F_3(X_4) = (\bar{a} \cdot \bar{x}_5 + x_4) \cdot \bar{w}$$

$$F(X_4) = (\bar{a} \cdot \bar{x}_5 + x_4) \cdot x_3 \cdot \bar{w}$$

Dla elementu  $X_5$  będzie

$$F_1(X_5) = a \cdot \bar{w}$$

$$F_2(X_5) = (a + x_5) \cdot \bar{w}$$

$$F(X_5) = (a + x_5) \cdot x_4 \cdot \bar{w}$$

Dla elementu  $Y$  będzie

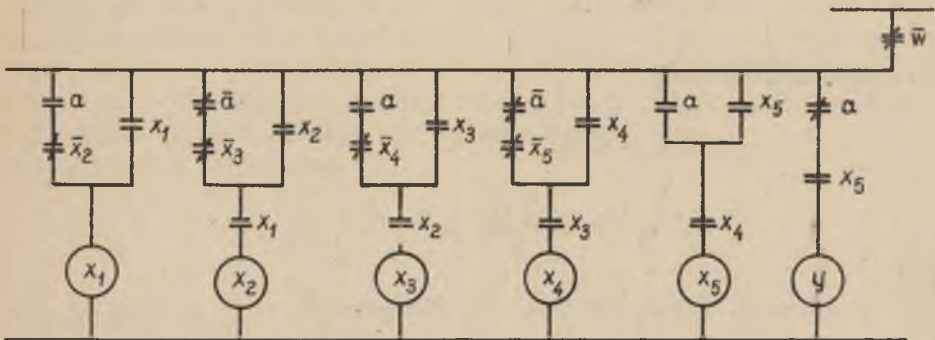
$$F_1(Y) = \bar{a} \cdot \bar{w}$$

$$F(Y) = \bar{a} \cdot x_5 \cdot \bar{w}$$

Sumując znalezione równania schematowe poszczególnych elementów, otrzymamy równanie schematowe całego układu

$$F = \left[ (a\bar{x}_2 + x_1) \cdot X_1 + (\bar{a} \cdot \bar{x}_3 + x_2) \cdot x_1 \cdot X_2 + \right. \\ \left. + (a\bar{x}_4 + x_3)x_2 \cdot X_3 + (\bar{a}\bar{x}_5 + x_4)x_3 \cdot X_4 + \right. \\ \left. + (a + x_5)x_4 \cdot X_5 + \bar{a} x_5 \cdot Y \right] \cdot \bar{w}$$

Otrzymanemu równaniu odpowiada schemat z rys.8.

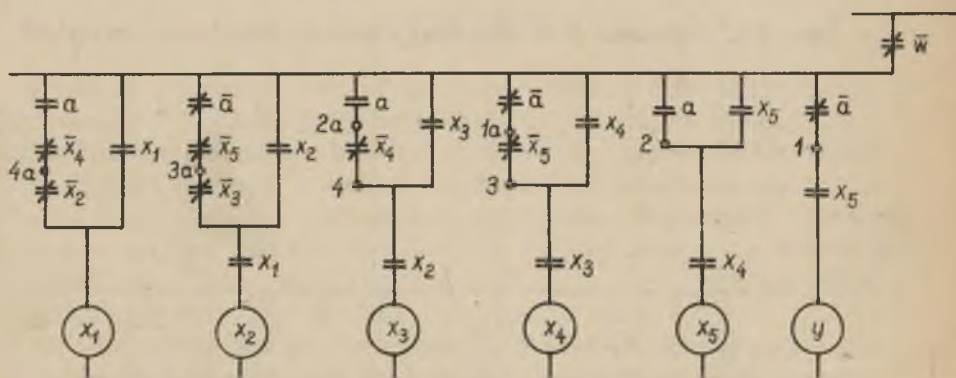


Rys.8. Schemat 1 automatycznego rozruchu napędów

W schemacie tym można zmniejszyć liczbę styków elementu odbiorczego A do jednego n.o. styku a i jednego n.z. styku  $\bar{a}$ , przez odpowiednie połączenie wszystkich styków n.o. i wszystkich styków n.z. tego elementu. Otrzymuje się wtedy schemat mostkowy. Jednakże przy łączeniu styków schematu szeregowo-równoległego w celu przejścia do schematu mostkowego należy uważać, aby przez to nie powstały nowe obwody zmieniające sposób pracy elementów układu. Powstałe ewentualnie nowe obwody tylko wtedy nie są szkodliwe, jeżeli ich przewodność równa się zero, jak np. przy szeregowym połączeniu styku n.o. ze stykiem n.z. tego samego elementu, albo przy szeregowym przeciwsobnym połączeniu dwóch elementów prostownikowych. Dla spełnienia tego warunku jest konieczne, aby w miejscu połączenia odnośnych obwodów iloczyn przewo-

dnosci podłużnych i poprzecznych równa się zero. Uzyskuje się to przez uzupełnienie schematu szeregowo-równoległego, przekształconego na schemat mostkowy - albo dodatkowymi stykami elementów układu, nie zmieniającymi sposobu jego pracy, albo elementami postownikowymi.

W równaniu schematu wielotaktowego (a więc mającego zadaną kolejność załączania elementów) można oczywiście dopisywać do n.z. styku dowolnego elementu włączony szeregowo z nim n.z. styk dowolnego innego elementu działającego później. Wykorzystując tę własność schematów wielotaktowych, włączymy do obwodu działania elementu  $X_1$  styk  $\bar{x}_4$  i do obwodu działania elementu  $X_2$  styk  $\bar{x}_5$ . Porządkując przy tym odpowiednio kolejność szeregowo połączonych styków otrzymamy schemat przedstawiony na rys.9.

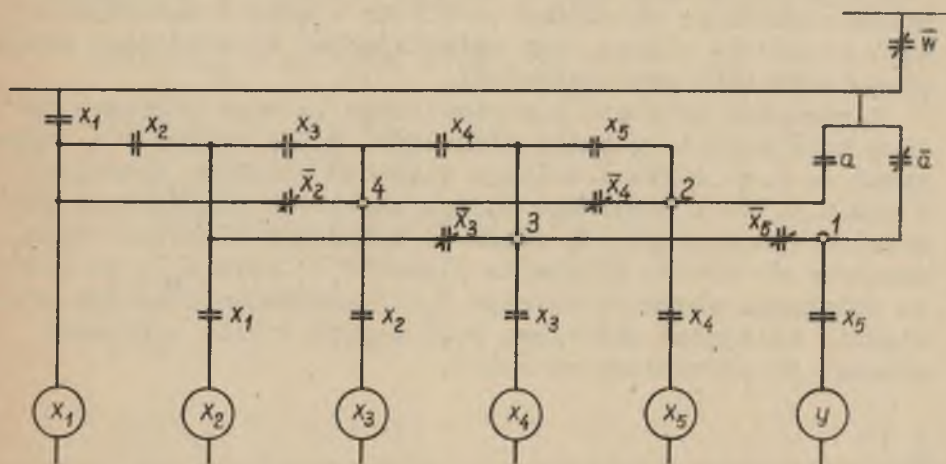


Rys.9. Schemat 2 automatycznego rozruchu napędów

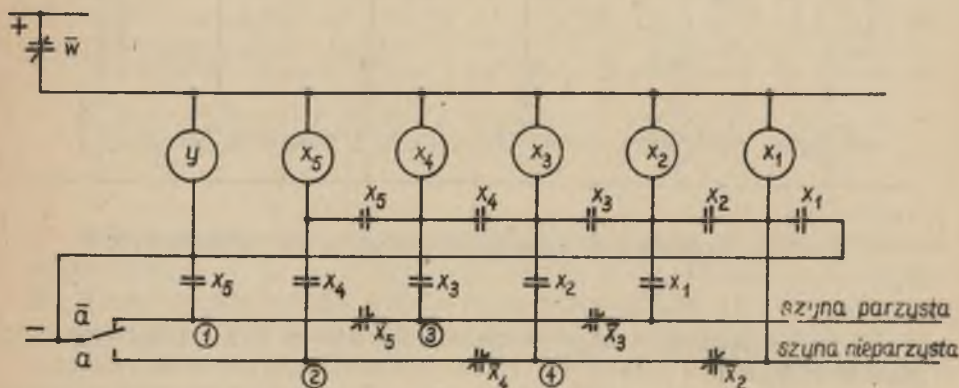
A po połączeniu odpowiednich styków a i  $\bar{a}$  otrzymamy schemat z rys.10.

Aby otrzymać styki a i  $\bar{a}$  z lewej strony, odwracamy schemat tak jak to pokazuje rys.11, albo rys.12.

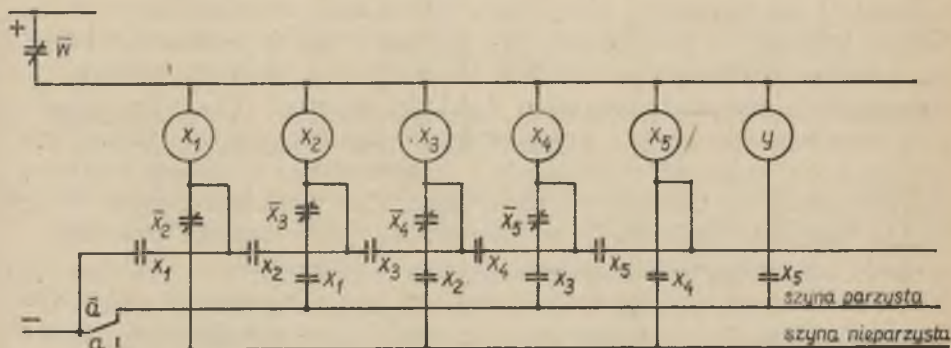
Przełącznik Y z rys.12 ma przerwać pracę generatora impulsów, zatem należy włączyć jego n.z. styk  $\bar{y}$  do schematu tego generatora (rys.6b) w szereg ze stykiem z. Wtedy po uruchomieniu ostatniego silnika praca układu sterowniczego zostanie samoczynnie zakończona.



Rys.10. Schemat 3 - automatycznego rozruchu napędów



Rys.11. Schemat 4 - automatycznego rozruchu napędów



Rys.12. Schemat 5 - automatycznego rozruchu napędów

## 7. ZAKOŃCZENIE

Synteza schematu wielotaktowego układu automatycznego sterowania wykonana przy wykorzystaniu teorii schematów przekaźnikowo-stykowych doprowadziła do znalezienia układu stosunkowo prostego o małej liczbie żył sterowniczych niezależnej od liczby sterowanych obiektów. Uzyskanie takiego prostego wyniku metodą intuicyjną byłoby znacznie trudniejsze albo w ogóle niemożliwe. Należy przy tym zwrócić uwagę, że końcowy wynik nie został otrzymany bezpośrednio z tablicy łączeń, gdyż wynik otrzymany z tablicy łączeń (rys.8) był, jak zwykle w takim przypadku, schematem typu szeregowo-równoległego. Dopiero przekształcenie tego schematu na schemat typu mostkowego doprowadziło do maksymalnego uproszczenia układu.

Schematy mostkowe w układach automatycznego sterowania znajdują ostatnio coraz szersze zastosowanie. Poteż przy syntezie przemysłowych układów automatycznego sterowania konieczne jest operowanie zasadami teorii schematów przekaźnikowo-stykowych w zastosowaniu nie tylko do układów szeregowo-równoległych, ale w bardzo szerokim zakresie również do układów mostkowych. W tych wszystkich przypadkach gdzie tylko jest to możliwe, schemat szeregowo-równoległy powinien być zastąpiony schematem mostkowym. Często możliwość tę osiąga się przez włączenie do układu sterowniczego prostowników stykowych, które przy odpowiednim przeciwnym połączeniu szeregowym przerywają szkodliwe obwody, jakie przy tym mogą powstać.

Otrzymane na drodze teoretycznej rozwiązanie schematowe, czy to w postaci schematu szeregowo-równoległego, czy to schematu mostkowego, odpowiada warunkom uwidocznionym w tablicy łączeń. W przypadku gdy warunki pracy szukanego układu przekaźnikowego są bardzo liczne, nie jest konieczne uwidacznianie ich wszystkich w tablicy łączeń. Dla uproszczenia zadania wystarczy wtedy wybrać warunki najistotniejsze i dla nich znaleźć rozwiązanie schematowe, a potem dopiero rozwiązanie to uzupełnić warunkami nie uwidocznionymi w tablicy łączeń. Tę dodatkową czynność, jako bardzo prostą, można już zwykle wykonać na drodze intuicyjnej. Tak np. aby schemat z rys.12 odpowiadał całkowicie wymaganiom ruchowym, należałoby do niego jeszcze wprowadzić pewne drobne uzupełnienia, odpowiadające warunkom nie przewidzianym w tablicy łączeń [6]. Do wymagań takich należy możliwość sterowania miejscowego napędów w razie remontu lub kontroli, przy czym napędy nie powinny być wtedy wzajemnie zablokowane. Uzupełnienia te, jako elementarnie proste, nie zostały już wykonane.



## LITERATURA

- [1] Gawriłow M.A.: Teoria relejno-kontaktnych schiem. Izdatielstwo Akademii Nauk SSSR Moskwa - Leningrad 1950.
- [2] Promyszlennaja telemekhanika. Red. M.A. Gawriłow. Izdatielstwo Akademii Nauk SSSR Moskwa 1960.
- [3] Jurasow A.N.: K woprosu sostawlenija strukturnych formuł: mnogotaktnych schiem. Gos.nauch.-techn. izd. Moskwa 1952.
- [4] Siwiński J.: Synteza i analiza schematów przekaźnikowo-stykowych w zastosowaniu do automatyzacji niektórych urządzeń górniczych - praca kandydacka. Politechnika Śląska Gliwice 1954.
- [5] Siwiński J.: Automatyżacja centralnego urządzenia wentylacyjnego kopalni. Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej Nr 10 1956. Górnictwo Z.1.
- [6] Siwiński J.: Automatyka napędu elektrycznego. PWT Warszawa 1960.
- [7] Telemekhanika w narodnon hożiajstwie. Materiały sowieszczania po telemekhanizacji. Izdatielstwo Akademii Nauk SSSR Moskwa 1956.

## **Синтез систем автоматического управления приводом производственного потока**

### **С о д е р ж а н и е**

Статья касается одного из самого всеобщего производственного вопроса, каким является автоматическое управление производственных процессов с помощью релейных схем. В ней представлено основы синтеза многотактных схем с обычными элементами и элементами временного запаздывания а также прием перехода от последовательно-параллельной схемы к мостиковой схеме. Выяснено критерия, согласно которым схемное уравнение многотактного элемента нужно дополнить промежуточными элементами. С помощью представленных принципов решено проблему поставленную в заглавлении.

### **Switching Circuit Synthesis for Automatic Production Lines**

#### **S u m m a r y**

This paper deals with an important automation problem: how to control the production lines by means of switching networks. The synthesis of sequential switching circuits with ordinary and time dependent elements is considered. Methods are given for transforming the series parallel networks into the bridge circuits. The basic Boolean equation for sequential circuit is to be supplement by auxiliary transfer elements. The quoted principles make possible to solve the problem of the production line control.