

JAN PIECHA

Katedra Automatykacji
Procesów Przemysłowych

ANALIZA SELSYNOWEGO UKŁADU ŚLEDZĄCEGO

Streszczenie. Elektryczny układ nadający śledzi zmiany zespołu wiodącego na podstawie których wypracowuje sygnał dla zespołów wykonawczych. W artykule przedstawiono jedno z rozwiązań, którego model wykonany został w Katedrze Automatykacji Procesów Przemysłowych Politechniki Śląskiej.

1. Wprowadzenia

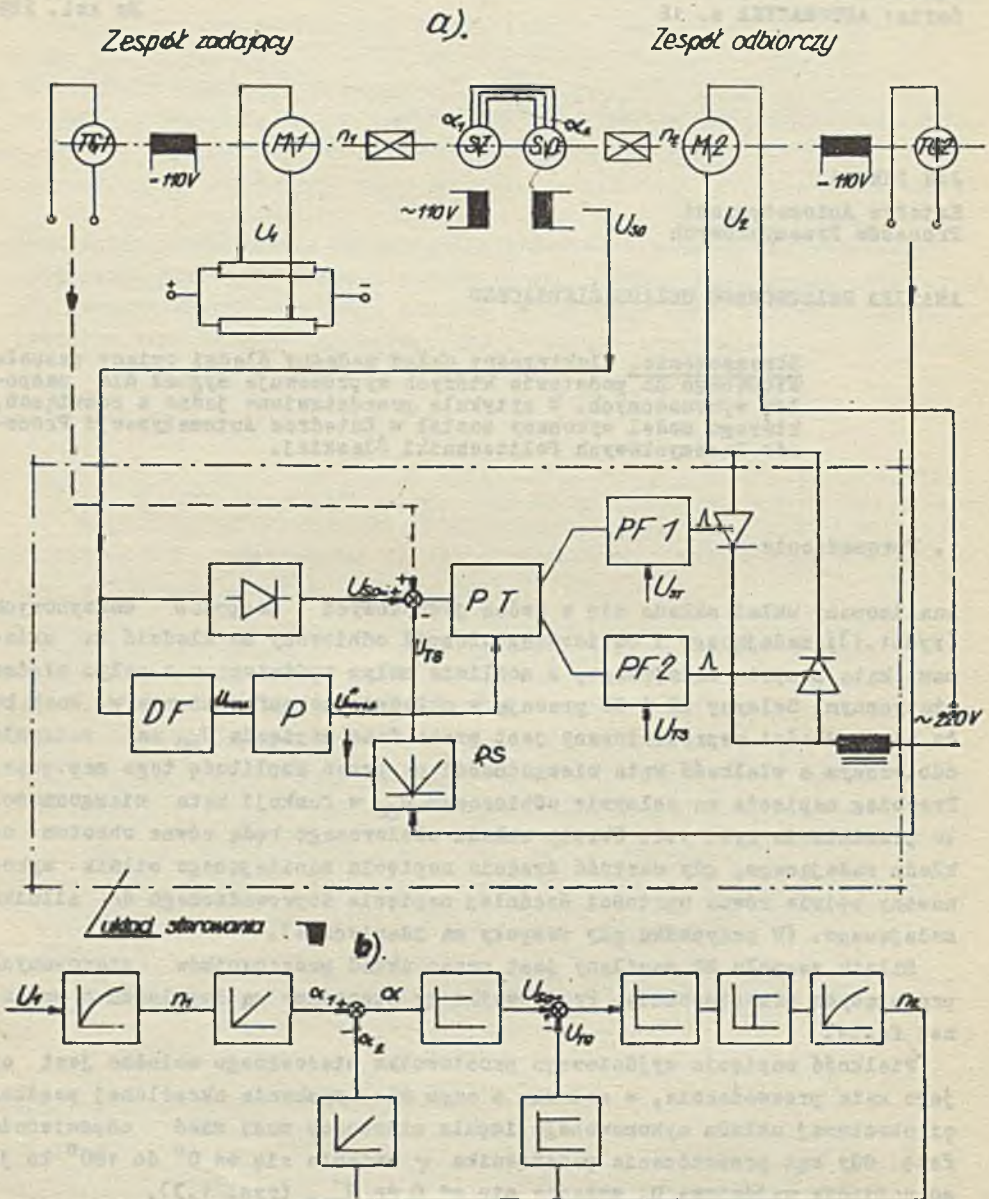
Analizowany układ składa się z dwóch jednakowych zespołów maszynowych (rys.1.1); zadającego i odbiorczego. Zespół odbiorczy ma śledzić za zmianami kąta zespołu zadającego, z możliwie małym opóźnieniem i małym błędem statycznym. Selsyny S2 i S0 pracują w układzie transformatorowym. Znak kąta niezgodności reprezentowany jest przez fazę napięcia U_{S0} na selsynie odbiorczym a wielkość kąta niezgodności α przez amplitudę tego napięcia. Przebieg napięcia na selsynie odbiorczym U_{S0} w funkcji kąta niezgodności α przedstawia rys. 1.2. Obroty układu odbiorczego będą równe obrotom układu zadającego, gdy wartość średnia napięcia zasilającego silnik wykonawczy będzie równa wartości średniej napięcia doprowadzonego do silnika zadającego. (W przypadku gdy zespoły są identyczne).

Silnik zespołu M2 zasilany jest przez układ prostowników sterowanych pracujących przeciwobnie. Prostowniki te sterowane są impulsami o zmiennej fazie.

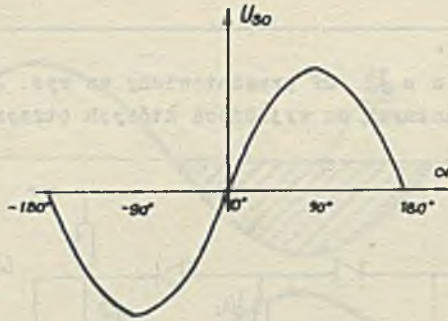
Wielkość napięcia wyjściowego prostownika sterowanego zależna jest od jego kąta przewodzenia, w związku z czym dla uzyskania określonej prędkości obrotowej układu wykonawczego impuls sterujący musi mieć odpowiednią fazę. Gdy kąt przewodzenia prostownika φ zmienia się od 0° do 180° to jego napięcie wyjściowe U_2 zmienia się od 0 do U_{\max} (rys. 1.3).

W praktyce taki zakres zmian jest trudny do uzyskania. W rzeczywistości w przedstawionym układzie kąt przewodzenia zmienia się w przybliżeniu od 8° do 150° (rys. 1.4).

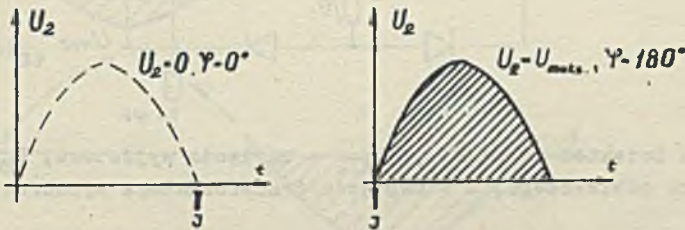
W modelu laboratoryjnym należało zaprojektować taki układ sterowania, który zapewniłby jednoznaczność $\varphi = f(U_1)$ (kąt przewodzenia φ prostownika sterowanego, ma być jednoznaczna funkcją napięcia U_1 , zasilającego silnik zadający). Układ ten podano na dolnej części rys. 1.1a.



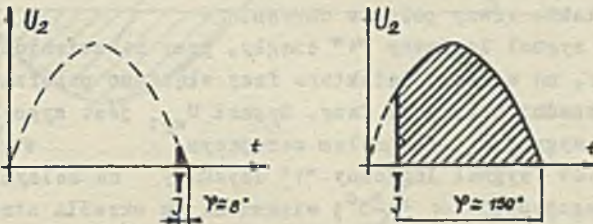
Rys. 1.1. Schemat napędu śledzącego: a) idealowy, b) blokowy
 M1 - silnik sadający, M2 - silnik odbiorczy (wykonawczy), SZ - selayn sadający, SO - selayn odbiorczy, TG 1,2 - tachoprądnióska, DF - detektor fazy, P - przesuwnik, PT - przelącznik tranzystorowy, PF - przesuwnik fazowy, PS - przekładnik sprężenia swrotnego, U_1 - napięcie silnika sadającego, U_{SO} - napięcie selayna odbiorczego, U_2 - napięcie silnika wykonawczego, U_{TS} , U_{ST} - napięcia synchronizujące międzyprzewodowe



Rys. 1.2. U_{SO} - napięcie na selsynie odbiorczym, α - kąt niezgodności położenia selsyna odbiorczego i zadającego



Rys. 1.3. U_2 - napięcie anodowe, I - impuls sterujący, φ - kąt przewodzenia prostownika sterowanego

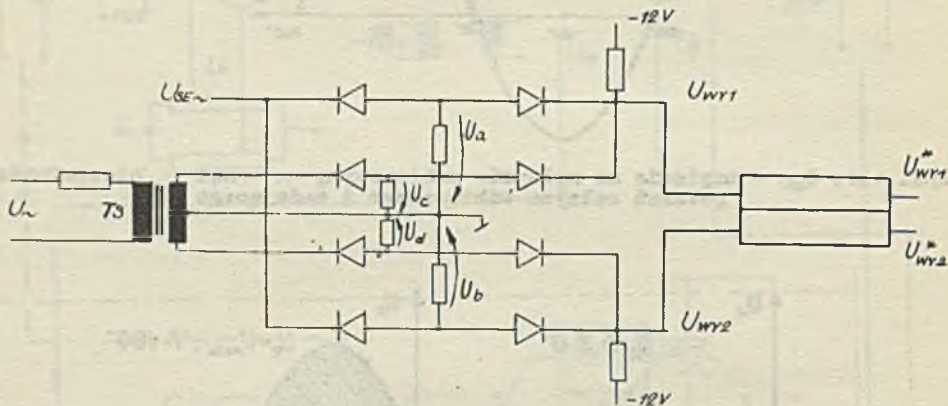


Rys. 1.4. U_2 - napięcie anodowe, I - impuls sterujący, φ - kąt przewodzenia prostownika sterowanego

2. Opis układu sterowania

Poszczególne fragmenty układu z dolnej części uproszczonego schematu na rys. 1.1a przedstawiono w sposób bardziej szczegółowy na rysunkach 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 i 2.5.

Detektor fazy DF przedstawiony na rys. 2.1 składa się z dwóch iloczynów logicznych na wyjściach których otrzymujemy sygnał logicz-



Rys. 2.1. Detektor fazy: U_{WY1} , U_{WY2} - napięcia wyjściowe, U_{SO} - napięcie selsyna odbiorczego, U - napięcie transformatora synchronizującego

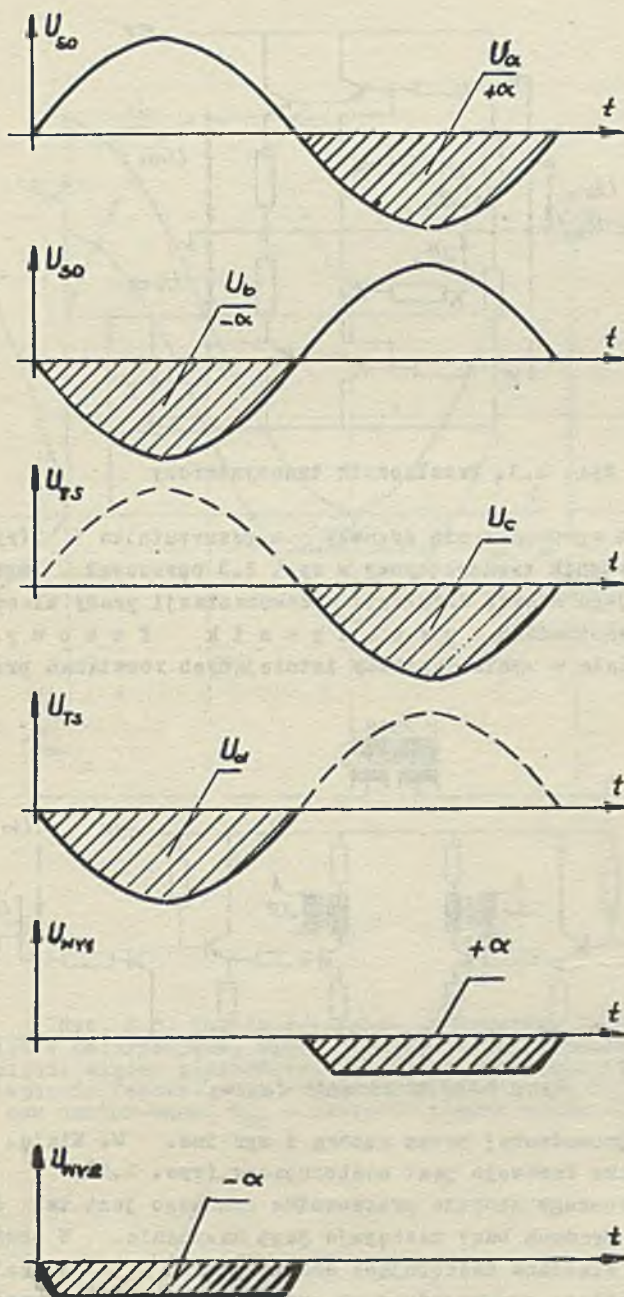
ny "1" (równy - 10V) wtedy gdy na obu wejściach iloczynów pojawia się sygnał "1". Zasadę działania detektora fazy można przedstawić za pomocą przebiegów czasowych pokazanych na rys. 2.2. Zgodność sygnałów U_a (U_b) i U_c (U_d) trwa przez pół okresu, w związku z czym czas trwania sygnału wyjściowego jest także równy połowie okresu.

Aby uzyskać sygnał logiczny "1" ciągły, przy niezmiennym znaku kąta niezgodności α , na wyjście detektora fazy włączono przerzutnik który pamięta stan poprzedni detektora fazy. Sygnał U_{WY1} jest sygnałem wpisuującym przerzutnika a sygnał U_{WY2} sygnałem zerującym.

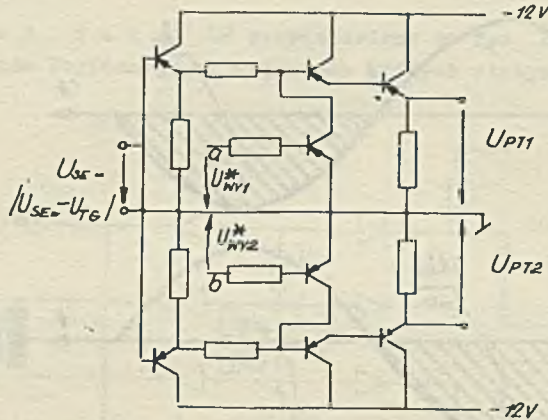
Napięcie - 10V (sygnał logiczny "1" uzyskamy na selsynie odbiorczym przy kącie niezgodności $\alpha \approx \pm 5^\circ$; większość ta określa strefę nieczułości układu.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że czułość układu będzie w znacznym stopniu zależała od wielkości napięcia, które zostało przyjęte jako sygnał logiczny "1". Im to napięcie będzie niższe tym czułość układu będzie wyższa.

Sinusoidalne napięcie U_{SO} - selsyna odbiorczego zostaje wyprostowane. Wartość napięcia stałego na wyjściu prostownika zależna jest od wielkości kąta niezgodności α . Tak więc znak kąta niezgodności reprezentowany jest przez napięcia U_{WY1} i U_{WY2} , a wielkość kąta niezgodności przez wartość napięcia U_{SO} . Sygnały te są wprowadzane na przelazystorowy PT (rys. 2.3). Napięcie U_{SO} jest powtarzane na jednym z wyjść przełącznika tranzystorowego U_{PT1} lub U_{PT2} , w zależności od tego na którym z wejść blokujących (a lub b) jest sygnał logiczny "1".



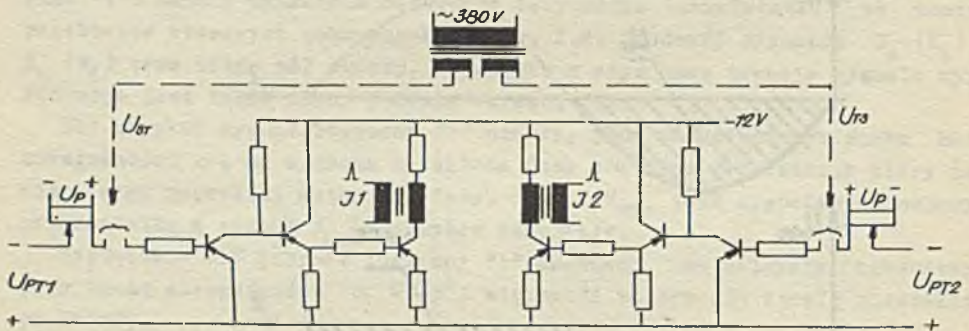
Rys. 2.2. Przebiegi czasowe detektora fazy



Rys. 2.3. Przełącznik tranzystorowy

Na wejścia a i b wprowadza się sygnały z przerzutnika P (rys. 2.3) U_{a1}^* i U_{a2}^* . Przełącznik tranzystorowy z rys. 2.3 opracował mgr inż. M. Ziaja i opisał jego zasadę działania w dokumentacji pracy zleconej [1]

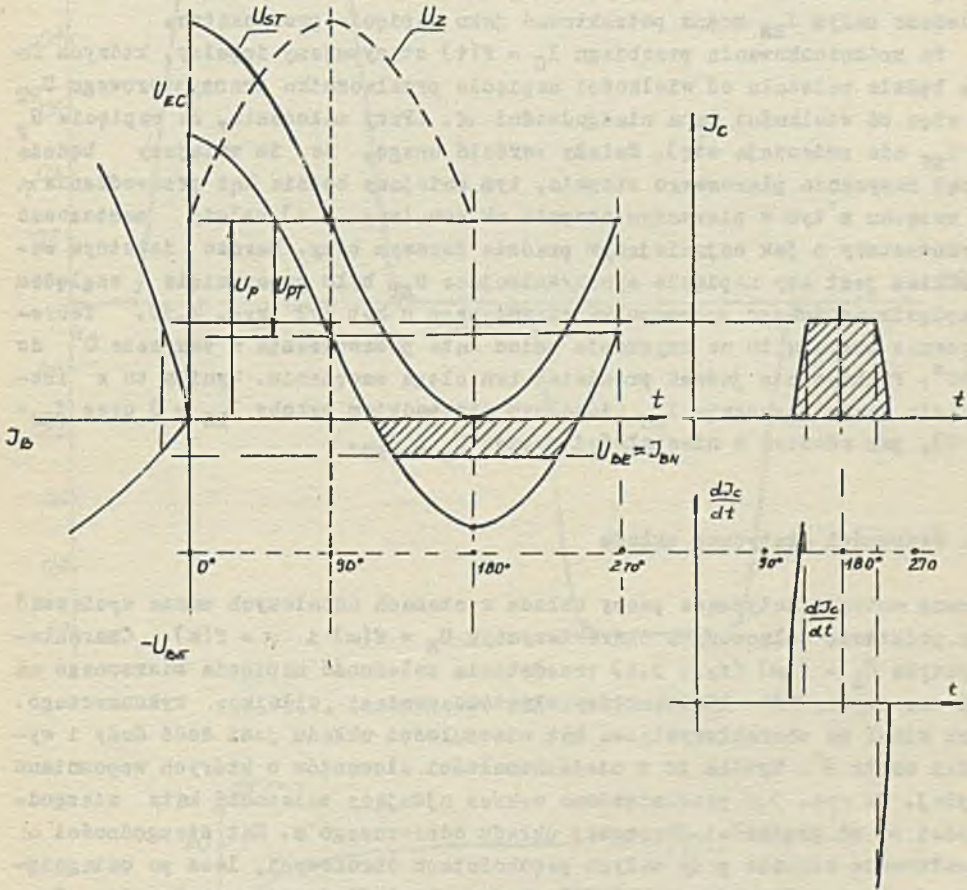
Na rys. 2.4 przedstawiono przesuwnik fazowy. Konsepcja układu powstała w wyniku analizy istniejących rozwiązań przesuwni-



Rys. 2.4. Przesuwnik fazowy

ków fazowych, przeprowadzonej przez autora i mgr inż. M. Ziaję. Zasada działania przesuwnika fazowego jest następująca: (rys. 2.5).

Punkt pracy pierwszego stopnia przesuwnika fazowego jest tak dobrany, że już przy małych prądach bazy następuje jego nasycenie. W obwód bazy pierwszego stopnia włączono następujące źródła prądu: U_p - napięcie polaryzujące, U_{ST} - napięcie synchronizujące, międzyprzewodowe (przesunięte względem U_2 o kąt $\pi/2$) oraz U_{PT} - napięcie z przełącznika tranzystorowego (rys. 2.4). Napięcie polaryzujące U_p dobrano w ten sposób, że jego wartość równa jest amplitudzie napięcia U_{ST} , to znaczy w przypadku gdy $U_{PT} = 0$



Rys. 2.5. Zasada działania przesuwnika fazowego

U_p - napięcie polaryzujące, U_{pr} - napięcie z przełącznika tranzystorowego
 U_{ST} - napięcie między przewodowe, U_z - napięcie zasilające prostownik sterowany (napięcie fazowe), J_{BN} - prąd nasycenia bazy, U_{BE} - napięcie złącza emiter-baza, U_{EC} - napięcie złącza emiter-kolektor

pierwszy stopień jest "zatkany". Gdy napięcie U_{PT} wzrasta przebieg U_{ST} obniża się, co daje w rezultacie przepływ prądu bazy. Na kolektorze pierwszego stopnia uzyskujemy obcięte napięcie sinusoidalne, które przy odpowiednio małym I_{BN} można potraktować jako napięcie prostokątne.

Po zróżniczkowaniu przebiegu $I_C = f(t)$ otrzymujemy impulsy, których faza będzie zależała od wielkości napięcia przełącznika tranzystorowego U_{PT} a więc od wielkości kąta niezgodności α . (Przy założeniu, że napięcie U_p i U_{ST} nie zmieniają się). Należy zwrócić uwagę, że im mniejszy będzie prąd nasycenia pierwszego stopnia, tym mniejszy będzie kąt przewodzenia φ . W związku z tym w pierwszym stopniu układu (rys. 2.4) należy zastosować tranzystory o jak najmniejszym prądzie zerowym bazy. Bardzo istotnym warunkiem jest aby napięcie synchronizujące U_{ST} było przesunięte względem napięcia anodowego prostownika sterowanego o kąt $\pi/2$ (rys. 2.5). Teoretycznie pozwala to na uzyskanie zmian kąta przewodzenia w zakresie 0° do 180° . Praktycznie jednak przedział ten ulega zawężeniu. Wynika to z istnienia prądu nasycenia I_{BN} (idealnym przypadkiem byłoby $I_{BN} = 0$ oraz $I_{B0} = 0$), jak również z niestałości napięć U_p i U_{ST} .

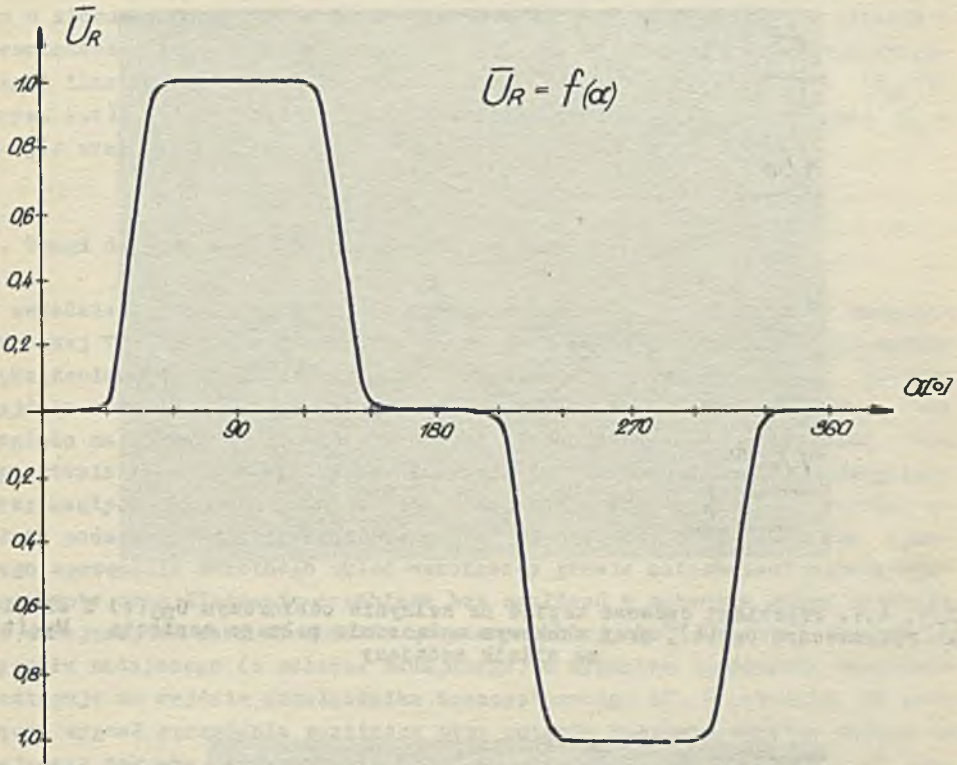
3. Własności statyczne układu

Pewne wnioski dotyczące pracy układu w stanach ustalonych można wyciągnąć na podstawie dołączonych charakterystyk $U_R = f(\alpha)$ i $\alpha = f(n)$. Charakterystyka $\bar{U}_R = f(\alpha)$ (rys. 3.1) przedstawia zależność napięcia mierzonego na oporze czynnym $R = 200\Omega$, który włączono zamiast silnika wykonawczego. Jak widać na charakterystyce, kąt niezgodności układu jest dość duży i wynosi około 8° . Wynika to z niedoskonałości elementów o których wspomniano wyżej. Na rys. 3.2 przedstawiono wykres ujmujący zależność kąta niezgodności α od prędkości obrotowej układu odbiorczego n . Kąt niezgodności α gwałtownie wzrasta przy małych prędkościach obrotowych, lecz po osiągnięciu prędkości obrotowej $n \approx 500$ obr/min błąd śledzenia ustala się. Znajomość tego zjawiska pozwala na prowadzenie odpowiedniej korekty katowej w układzie.

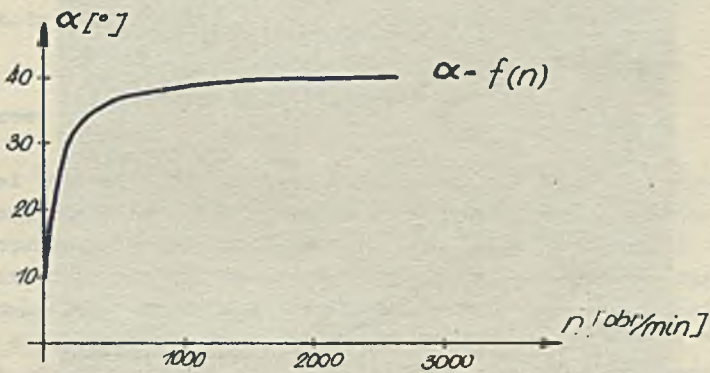
4. Własności dynamiczne układu

Na rys. 4.1 i 4.2 przedstawiono przebiegi czasowe napięć na selsynie odbiorczym $U_{SO}(t)$ i silniku wykonawczym $U_{M2}(t)$, przy skokowym załączeniu pełnego napięcia $U_{M1}(t)$ na silniku zadającym i przy wyłączeniu napięcia $U_{M1}(t)$.

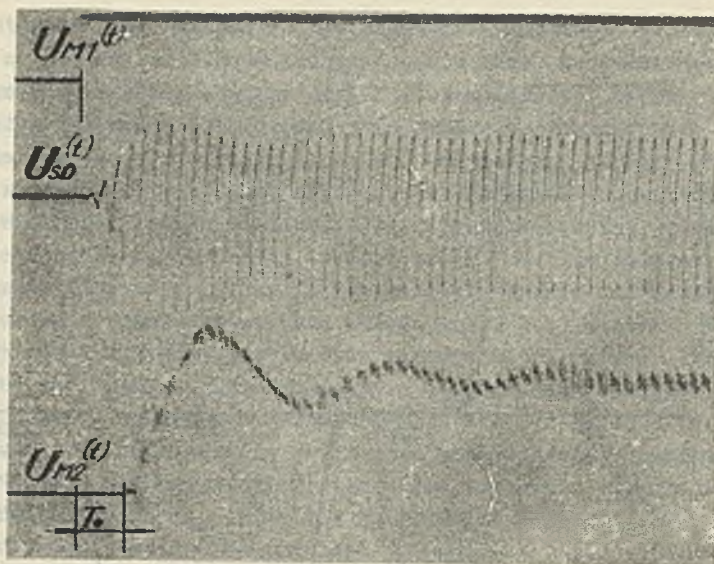
Z analizy schematu wynika, że rozpatrywany obiekt charakteryzuje się pewną inercyjnością oraz wprowadza opóźnienie odpowiedzi układu odbiorcze-



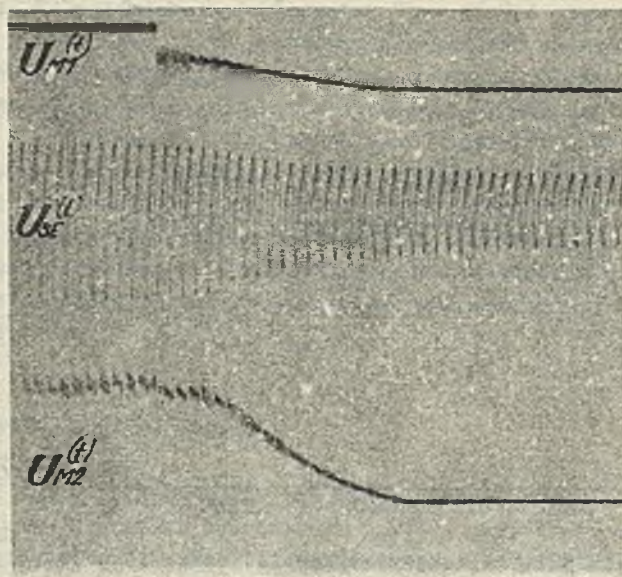
Rys. 3.1. Charakterystyka statyczna $\bar{U}_R = f(\alpha)$



Rys. 3.2. Charakterystyka statyczna $\alpha = f(n)$



Rys. 4.1. Przebiegi czasowe napięć na selsynie odbiorczym $U_{S0}(t)$ i silniku wykonawczym $U_{M2}(t)$, przy skokowym załączeniu pełnego napięcia $U_{M1}(t)$ na silnik zasilający



Rys. 4.2. Przebiegi czasowe napięć na selsynie odbiorczym $U_{S0}(t)$ i silniku wykonawczym $U_{M2}(t)$, przy wyłączeniu napięcia $U_{M1}(t)$ na silniku zasilającym

go w stosunku do zmian napięcia układu zadającego. Wynika to głównie z bezwładności elementów mechanicznych układu. Potwierdzają to charakterystyki ilustrujące odpowiedź układu na skok jednostkowy napięcia ($U_{M1}(t)$) (rys. 4.1). Widać wyraźnie opóźnienie przebiegu $U_{M1}(t)$ o czas $T_0 = 0,1s$ oraz gasnące oscylacje przebiegów $U_{M2}(t)$ i $U_{SO}(t)$.

5. Uwagi dotyczące obwodu sprzężenia zwrotnego

W układzie wprowadzono ujemne sprzężenie zwrotne z prądniczki tachometrycznej TG2, poprzez przekaźnik sprzężenia PS, rys. 1.1a. Przekaźnik sprzężenia PS jest sterowany z przerzutnika P w taki sposób, że na jego wyjściu otrzymuje się sygnał napięciowy zawsze tego samego znaku bez względu na kierunek obrotów prądniczki tachometrycznej TG2. Układ bez sprzężenia zwrotnego wykazywał tendencje do dużych oscylacji, szczególnie przy nagłych zmianach pracy układu zadającego. Przy większych obrotach układu zadającego następowało "zrywanie" śledzenia. Po wprowadzeniu ujemnego sprzężenia zwrotnego układ wykonywał prawie natychmiast ustala swoje obroty oraz śledzenie przebiega bez zakłóceń w zakresie zmian prędkości zadającej od zera do obrotów znamionowych tj. 3600 obr/min. Sumowanie sygnału zadającego (z selsyna zadającego) z sygnałem sprzężenia zwrotnego następuje na wejściu przełącznika tranzystorowego PT. Przekaźnik PS przełącza sygnał sprzężenia zwrotnego przy zmianie kierunku obrotów układu zadającego tak aby jego znak nie uległ zmianie. Zamiast przekaźnika PS można by również zastosować diodowy układ Gretza, jednak wówczas przy niskich napięciach uzyskiwanych z tachiprądniczki układ prostownikowy pracowałby zaporowo. Stan przekaźnika ustalany jest przez przerzutnik P w zależności od kąta niezgodności (a więc i kierunku obrotów).

6. Uwagi końcowe

Wykonany model laboratoryjny posiada stosunkowo dużą histerezę. Strefa nieożyłości wynosi około $\pm 8^\circ$. Zmniejszenie strefy nieożyłości zależy jest głównie od poprawnego wykonania detektora fazy. Z przedstawionej analizy pracy detektora fazy wynika, że należy przyjąć jak najniższe napięcie odpowiadające sygnałowi logicznemu "1". Należy jednak zachować pewien margines między napięciami odpowiadającymi sygnałom logicznym "0" i "1". Dobre napięcia odpowiadające sygnałowi jedynki logicznej najlepiej dokonać eksperymentalnie.

Dynamikę układu można poprawić przez odpowiednie dobranie ujemnego sprzężenia zwrotnego. W omawianym układzie napięcie sprzężenia zwrotnego U_{TG} jest znacznie niższe od napięcia U_{SO} (rys. 1.1a). Należałoby zwią-

kszyb wzmoenie tachoprzdniczki tak, aby napienie U_{TG} bylo porbwnywalne z napieniem $U_{SO=}$. Z przedstawionej zasady dzialania przesuwnika fazowego wynika, ze wielkość napienia U_{PT} zalezna jest od wielkości napien U_{ST} i U_p (rys. 2.5). Napienia U_{ST} i U_p musza byc odpowiednio duze, aby wyeliminowac wplyw pradow zerowych tranzystorow na prace przesuwnikow fazowych. Poniewaz U_{PT} jest powtorzeniem sygnalu wejsciowego przełącznika tranzystorowego, nalezaloby rbnicze sygnalów $U_{SO=}$ i U_{TG} wzmoenie do wymaganej wartosci. Zastosowanie dodatkowego wzmoeniaza pradu stalego znacznie podrozy koszt ukkladu sterowania.

LITERATURA

- [1] Ziaja M. - Studia i badania tyristorowej wzbudnicy generatora maszyny wyolagowej w ukkladzie Leonarda.

АНАЛИЗ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ СОСТОЯЩЕЙ ИЗ СЕЛЬСИНОВ

Резюме

В статье рассматривается работа лабораторной модели следящей системы состоящей из сельсинов.

Указано принцип работы системы в целом и принципы проектирования блоков системы управления.

На основе статических и динамических характеристик проведено анализ работы системы. В заключении указано возможности улучшения статических и динамических свойств системы.

AN ANALYSIS OF THE SYNCHRO-SERVO-MECHANISM

S u m m a r y

In the article the analysis of work of the synchro-servo-mechanism laboratorial model is presented. The work principle of the system and the design principle of the control system assembly is described. Basing on static and dynamic model characteristics the analysis of the system work is made. The possibilities of static and dynamic characteristics correction is shown.