ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1967
Seria: AUTOMATYKA z. 8 Nr kol. 192

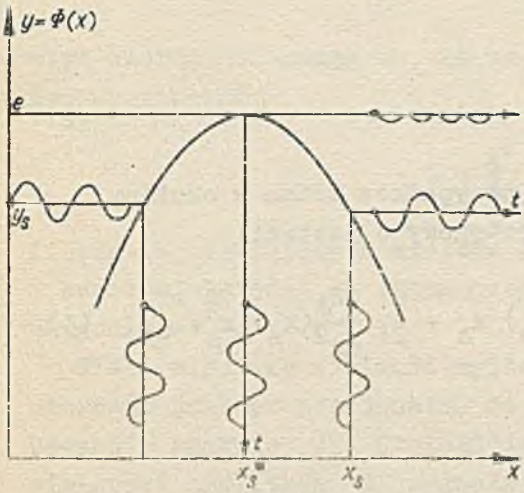
RYSZARD GESSING
Katedra Teorii Regulacji

UWAGI O UKŁADACH REGULACJI EKSTREMALNEJ Z SYGNAŁEM MODULUJĄCYM

Streszczenie. W pracy omówiona jest zasada detekcji synchronicznej stosowana w układach regulacji ekstremalnej z zewnętrznym sygnałem modulującym. Rozpatrzono przypadek obiektu bezinercyjnego i obiektu posiadającego inercję. Pokazano, że układy takie mogą być traktowane jako układy stabilizacji składowej stałej napięcia detektora na poziomie zero. Omówiono zbudowany przez autora laboratoryjny układ regulacji ekstremalnej oraz zamieszczono wnioski z pomiarów i obserwacji tego układu.

Wstęp

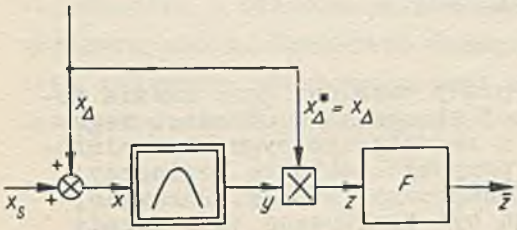
Jedną z metod wykrywania ekstremum w układach regulacji ekstremalnej jest stosowanie dodatkowego, niewielkiego sygnału modulującego x_Δ wytwarzanego przez specjalny generator sygnału. Jako sygnały modulujące można stosować periodyczne przebiegi o kształcie na przykład sinusoidalnym, prostokątnym, piłowym i inne. Sygnał modulujący dodaje się do sygnału x_s regulatora i wprowadza do obiektu. Wywołuje to periodyczne zmiany sygnału wyjściowego y obiektu, przy czym jak widać z rysunku 1 faza tego sygnału zależy od tego po której stronie ekstremum układ w danej chwili pracuje.



Rys. 1. Faza sygnału wyjściowego zależy od tego po której stronie ekstremum układ pracuje

I. Detekcja synchroniczna

Do wykrywania fazy sygnału wyjściowego służy detektor synchroniczny zwany inaczej dyskryminatorem fazy. W detektorze synchronicznym następuje mnożenie wielkości y przez sygnał modulujący x_Δ i odzyskiwana jest zazwyczaj za pomocą filtru F- składowa stała $\bar{z}$ iloczynu yx_Δ (rys. 2). Pokażemy, że w przypadku gdy wielkość x_s jest stała,[x)] to składowa stała $\bar{z}$ z dokładnością do małych wartości wyższego rzędu jest proporcjonalna do pochodnej $\frac{d\Phi}{dx}$ w punkcie x_s, czyli do $\frac{d\Phi}{dx}(x_s)$.



Rys. 2. Schemat blokowy obiektu współpracującego z detektorem synchronicznym

Załóżmy, że sygnał x_Δ jest sinusoidalny czyli

$$x_\Delta = A \sin\omega t \tag{1}$$

wtedy mamy

$$x = x_s + A \sin\omega t . \tag{2}$$

Funkcję $\Phi(x)$ dla większości przypadków można w okolicy punktu x_s rozłożyć na szereg potęgowy o postaci:

$$y = \Phi(x_s+x_\Delta) = \Phi(x_s) + \frac{d\Phi}{dx}(x_s)\, x_\Delta + \frac{1}{2!}\frac{d^2\Phi}{dx^2}(x_s)\, x_\Delta^2 + \ldots, \tag{3}$$

---

x) lub zmienia się tak powoli, że zmiany wielkości x_s w okresie $\tau = \frac{\omega}{2\pi}$ sygnału modulującego można pominąć.

gdzie:

wartości pochodnych funkcji $\Phi(x)$ obliczone są w punkcie x_s

Składową stałą $\bar{z}$ sygnału $z = yx_\Delta$ obliczymy z wzoru:

$$\bar{z} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} yx_\Delta \, d(\omega t). \tag{4}$$

Uwzględniając (1) i (3) mamy więc:

$$\bar{z} = \frac{A}{2\pi} \Phi(x_s) \int_0^{2\pi} \sin\omega t \, d(\omega t) + \frac{A^2}{2\pi} \frac{d\Phi}{dx}(x_s) \int_0^{2\pi} \sin^2\omega t \, d(\omega t) +$$

$$+ \frac{1}{2!} \frac{A^3}{2\pi} \frac{d^2\Phi}{dx^2}(x_s) \int_0^{2\pi} \sin^3\omega t \, d(\omega t) + \ldots \tag{5}$$

Ponieważ mamy:

$$\int_0^{2\pi} \sin^{(2n-1)}\omega t \, d(\omega t) = 0 \text{ dla } n = 1,2,\ldots$$

oraz

$$\int_0^{2\pi} \sin^2\omega t \, d(\omega t) = \pi,$$

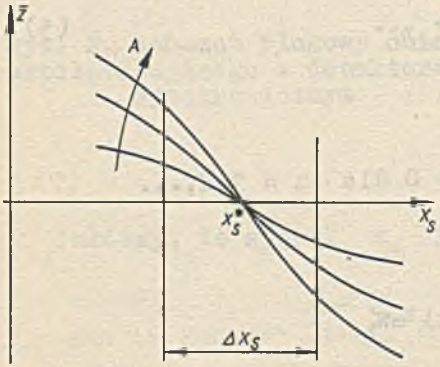
więc biorąc pod uwagę to, że sygnał modulujący jest niewielki możemy napisać:

$$\bar{z} \approx \frac{A^2}{2} \frac{d\Phi}{dx}(x_s). \tag{6}$$

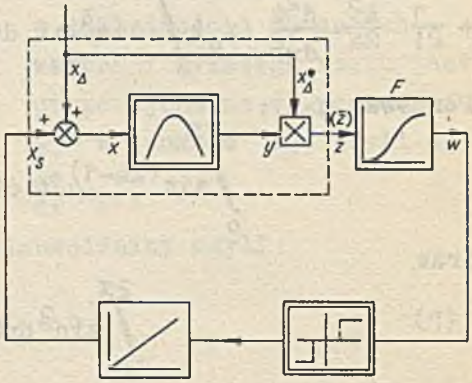
Pierwszy z pominiętych wyrazów szeregu zawiera wielkość x_Δ w czwartej potędze, a zatem przy małych sygnałach x_Δ można go pominąć.

Widać więc, że wielkość wyjściowa $\bar{z}$ detektora synchronicznego jest proporcjonalna do pochodnej funkcji $\Phi(x)$ obliczonej w punkcie x_s. Czułość detektora zależy jak widać od wielkości amplitudy A sygnału x_Δ i to w kwadracie.

Przez zastosowanie detekcji synchronicznej z charakterystyki obiektu nieliniowego posiadajego ekstremum uzyskaliśmy charakterystykę zwykłego "obiektu" (rys. 3) nieliniowego, który nawet w pewnym zakresie zmian Δx_s można uważać za liniowy[x)]. Do "nowego obiektu" można już zastosowac zwykły układ regulacji z ujemnym sprzężeniem zwrotnym. Schemat blokowy takiego układu został przykładowo przedstawiony na rys. 4. Łatwo zauważyć, że układ ten traktować można jako układ stabilizacji wielkości w na poziomie zero.



Rys. 3. Charakterystyki statyczne detektora (ściślej obiektu współpracującego z detektorem)



Rys. 4. Schemat blokowy układu regulacji ekstremalnej z wymuszonym sygnałem modulującym

Należy podkreślić, że przedstawiona na rysunku 3 krzywa jest charakterystyką statyczną obiektu wraz z detektorem synchronicznym. Charakterystyka ta jest również ważna przy sto-

x) Charakterystyka z rysunku 3 jest ważna tylko dla powolnych zmian wielkości x_s. Jak widać charakterystyka ta ma ujemne nachylenie, i dla zmian Δx_s element jest liniowy o ujemnym współczynniku wzmocnienia.

sunkowo wolnych zmianach wielkości x_s, dla takich zmian można więc uważać, że część układu z rysunku 4 objęta linią przerywaną jest elementem bezinercyjnym opisanym tą charakterystyką. Do tak uproszczonego układu można stosować jedną z metod analizy zwykłych jednoobwodowych układów regulacji (dla układu z rysunku 4 jedną z metod analizy układów regulacji trójpołożeniowej). Zaznaczamy tutaj, że ze względu na poprawną pracę detektora synchronicznego wielkość x_s nie powinna się zmieniać zbyt prędko, a zatem detektor synchroniczny znacznie ogranicza szybkość działania układu.

Jeżeli prześledzimy dokładnie wyprowadzenia wzoru (6) to zauważymy, że podobny wynik ($\bar{z}$ proporcjonalne do $\frac{d\Phi}{dx}(x_s)$) otrzymamy stosując dowolny periodyczny sygnał modulujący x_Δ dla którego składowa stała $\bar{x}$ jest równa zero. Zazwyczaj sygnały te spełniają relację:

$$x_\Delta(t + \frac{\tau}{2}) = - x_\Delta(t) , \qquad (7)$$

gdzie:

τ - okres funkcji $x_\Delta(t)$.

Łatwo zauważyć, że sygnały x_Δ i x^*_Δ (patrz rysunek 2) nie muszą być takie same. Mogą to być różne funkcje periodyczne spełniające warunek (7), wystarczy tylko aby oba te sygnały były ze sobą synchromiczne tzn. aby $\operatorname{sgn} x_\Delta(t) = \operatorname{sgn} x^*_\Delta(t)$ dla dowolnego t. Oczywiście kształt funkcji x_Δ i x^*_Δ będzie miał wpływ na współczynnik proporcjonalności pomiędzy wielkościami $\bar{z}$ i $\frac{d\Phi}{dx}(x_s)$.

Z zależności (6) widać, że czułość dyskryminatora zależy od amplitudy A sygnału x_Δ, która to amplituda nie powinna być zbyt duża, gdyż ze wzrostem A rosną wahania wielkości y. W układzie regulacji ekstremalnej, w stanie ustalonym wahania te odbywają się wokół ekstremum i powodują występowania pewnego błędu w stanie ustalonym. Wartość średnia $\bar{y}$ (składowa stała) mianowicie jest nieco mniejsza od maksymalnej wartości wielkości $y^* = \Phi(x^*_s) = e$.

Oznaczając we wzorze (3) $\frac{1}{2!}\frac{d^2\Phi}{dx^2}(x_s^*) = -d$, biorąc pod uwagę to, że $\frac{d\Phi}{dx}(x_s^*) = 0$, oraz odrzucając dalsze wyrazy szeregu mamy:

$$y \approx e - d\,x_\Delta^2. \tag{8}$$

Oznaczając przez ε błąd w stanie ustalonym mamy:

$$\varepsilon = e - \bar{y} = \frac{dA^2}{2\pi}\int_0^{2\pi} \sin^2 \omega t \, d(\omega t) = \frac{dA^2}{2}. \tag{9}$$

Widać więc, że podobnie jak czułość detektora, również błąd rośnie proporcjonalnie do kwadratu amplitudy A sygnału x_Δ. Ponieważ zależy nam na możliwie małym błędzie ε i na pewnym działaniu układu przy występowaniu ewentualnych "szumów" w obiekcie - więc przy wyborze wielkości A trzeba iść na kompromis.

II. Detekcja synchroniczna w przypadku gdy obiekt posiada bezwładność

Rozpatrzymy jeszcze przypadek, gdy w obiekcie występuje bezwładność. Dla niewielkich zmian wielkości wejściowej x możemy wydzielić część bezwładnościową i część nieliniową obiektu przy czym rozpatrzymy przypadek, gdy część bezwładnościowa występuje przed częścią nieliniową[x)] (rys. 5). W ogólnym przypadku część bezwładnościowa dla różnych punktów pracy może się zmieniać. Oznaczamy więc przez $K(x_s,p)$ operatorową funkcję przejścia części bezwładnościowej obiektu dla niewielkich zmian wielkości x wokół wielkości x_s. Mamy przy tym

$$K(x_s,0) = 1^{xx)}. \tag{10}$$

---

x) Bez większych trudności można rozpatrzyć przypadek odwrotny.

xx) Czyli część bezwładnościowa nie zmienia sygnałów stałych.

Jeżeli

$$x_\Delta = A \sin \omega t$$

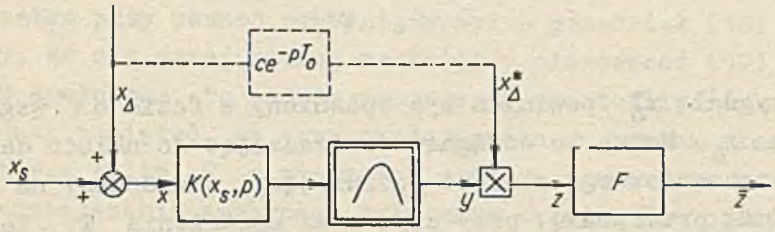
to

$$x_{1\Delta} = Ak^* \sin (\omega t - \varphi^*), \tag{11}$$

gdzie:

$k^* = |K(x_s, j\omega)|$ – współczynnik wzmocnienia części bezwładnościowej w punkcie $x = x_s$ dla sygnału sinusoidalnego o częstotliwości ω.

$\varphi^* = -\arg K(x_s, j\omega)$ – przesunięcie fazowe pomiędzy sygnałami x_Δ i $x_{1\Delta}$ w punkcie $x = x_s$.



Rys. 5. Schemat blokowy połączenia detektora z obiektem w przypadku gdy ten ostatni posiada inercję

Zakładamy jeszcze, że:

$$x_\Delta^* = cA \sin (\omega t + \psi), \tag{12}$$

gdzie:

c i ψ – stałe wielkości.

Mamy więc:

$$\bar{z} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} y x_\Delta^* d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \Phi(x_s + x_{1\Delta}) \; x_\Delta^* \; d(\omega t).$$

Uwzględniając zależności (3), (11) i (12) oraz odrzucając w szeregu (3) wyrazy od drugiego rzędu począwszy otrzymujemy:

$$\bar{z} \approx \frac{1}{2\pi} c\, k^* A^2 \frac{d\Phi}{dx_1}(x_s) \int_0^{2\pi} \sin(\omega t - \varphi^*)\sin(\omega t + \psi)\, d(\omega t) =$$

$$= \frac{1}{2\pi} ck^* A^2 \frac{d\Phi}{dx_1}(x_s) \int_0^{2\pi} \frac{1}{2}\left[\cos(\psi+\varphi^*) + \cos(2\omega t + \psi - \varphi^*)\right] d(\omega t)$$

czyli

$$\bar{z} \approx \frac{A^2 ck^*}{2} \cos(\psi+\varphi^*) \frac{d\Phi}{dx_1}(x_s). \tag{13}$$

Dla zwiększenia czułości detektora synchronicznego należy kąt ψ sygnału x_Δ^* dobrać tak aby $\cos(\psi + \varphi^*) = 1$. A zatem powinno być:

$$\psi = -\varphi^*, \tag{14}$$

czyli sygnał x_Δ^* powinien być opóźniony w fazie o φ^* względem sygnału x_Δ. Można to osiągnąć wprowadzając do układu detektora synchronicznego element opóźniający, zaznaczony na rysunku 5 linią przerywaną, przy czym czas opóźnienia T_o tego elementu powinien wynosić:

$$T_o = \frac{\varphi^*}{\omega}. \tag{15}$$

W ogólnym przypadku wielkość φ^* zależy od punktu pracy obiektu, czyli od x_s (jak również od wartości wielkości zakłócających), a zatem dla stałej wartości ψ nie da się spełnić relacji (14). Wielkość $\cos(\psi + \varphi^*)$ zależy wtedy od wielkości x_s (i od zakłóceń), a zatem we wzorze (13) współczynnik proporcjonalności pomiędzy wielkością $\bar{z}$ i $\frac{d\Phi}{dx_1}(x_s)$ nie jest stały lecz zależy od punktu pracy obiektu (i od zakłóceń). Jeżeli w obiekcie przy różnych możliwych warunkach pracy wielkość φ^*

zmienia się w granicach od φ^*_{min} do φ^*_{max} to wielkość ψ należy dobrać tak aby dla dowolnego φ^* z przedziału

$$(\varphi^*_{min}, \varphi^*_{mx}) \tag{16}$$

$\cos(\psi+\varphi^*)$ miał wartość dodatnią i aby wartość ta nie była mniejsza od pewnej zadanej wartości (ze względu na czułość detektora). Dla dowolnego φ^* z przedziału (16) powinna więc być spełniona nierówność:

$$-\frac{\pi}{2} + q < \psi + \varphi^* < \frac{\pi}{2} - q , \tag{17}$$

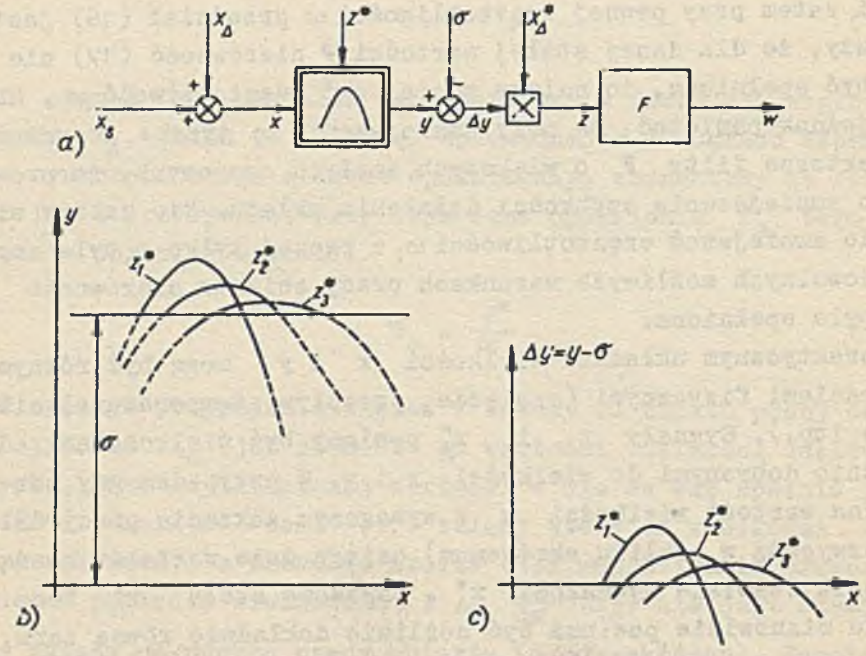
gdzie wielkość q spełnia nierówność $0 < q < \frac{\pi}{2}$ i wyznacza minimalną dopuszczalną wartość $\cos(\psi+\varphi^*)$.

Przedział zmian φ^* zależy od częstotliwości ω sygnału x_Δ. Przedział ten maleje wraz ze zmniejszeniem częstotliwości ω, jeżeli zatem przy pewnej częstotliwości ω przedział (16) jest tak duży, że dla danej stałej wartości ψ nierówność (17) nie może być spełniona, to należy zmniejszyć częstotliwość ω. Należy jednak pamiętać, że przy zmniejszeniu ω trzeba stosować w detektorze filtr F o większych stałych czasowych, co prowadzi do zmniejszenia szybkości działania układu. Nie należy więc zbytnio zmniejszać częstotliwości ω, a raczej tylko o tyle aby przy dowolnych możliwych warunkach pracy obiektu nierówność (17) była spełniona.

W praktycznym układzie wielkości x i y mogą być różnymi wielkościami fizycznymi (napięcie, przepływ, temperatura, ciśnienie itp.). Sygnały x_Δ i x^*_Δ powinny być wielkościami odpowiednio dobranymi do wielkości x i y. W przypadku gdy bezwzględna wartość wielkości y w wymaganym zakresie pracy układu (zazwyczaj w pobliżu ekstremum) osiąga duże wartości rosną wymagania stawiane sygnałowi x^*_Δ. Składowa stała $\bar{x}^*_\Delta$ tego sygnału mianowicie powinna być możliwie dokładnie równa zeru, co praktycznie może sprawiać duże trudności. Występowanie nawet bardzo niewielkiej składowej stałej w sygnale x^*_Δ może spowodować błędne działanie detektora synchronicznego. Widać to

wyraźnie ze wzoru (5), w którym pierwszy składnik jest iloczynem składowej stałej $\bar{x}^*_\Delta$ i wielkości $\Phi(x_s) = y_s$. Przy dużej wielkości y_s nawet w przypadku bardzo małej wielkości $\bar{x}^*_\Delta$ iloczyn $\bar{x}^*_\Delta\ y_s$ może przewyższać pod względem wartości bezwzględnej drugi składnik wzoru (5), który powinien decydować o działaniu detektora. A zatem widać, że im większa jest bezwzględna wartość składowej stałej sygnału y[x)] tym dokładniej musi być spełniony warunek $\bar{x}^*_\Delta = 0$. W praktyce realizacja takiego sygnału x^*_Δ może sprawiać duże trudności dlatego też wskazane jest w miarę możliwości wydzielenie składowej zmiennej sygnału y i wprowadzenie do detektora tylko tej składowej. Wtedy sygnał x^*_Δ nie musi tak dokładnie spełniać warunku $\bar{x}^*_\Delta = 0$.

Jeden ze sposobów zmniejszenia składowej stałej sygnału podawanego na detektor synchroniczny jest przedstawiony na rys. 6a.



Rys. 6. Jeden ze sposobów zmniejszania składowej stałej w sygnale podawanym na detektor

x) Wielkość y_s niewiele się różni od składowej stałej sygnału y.

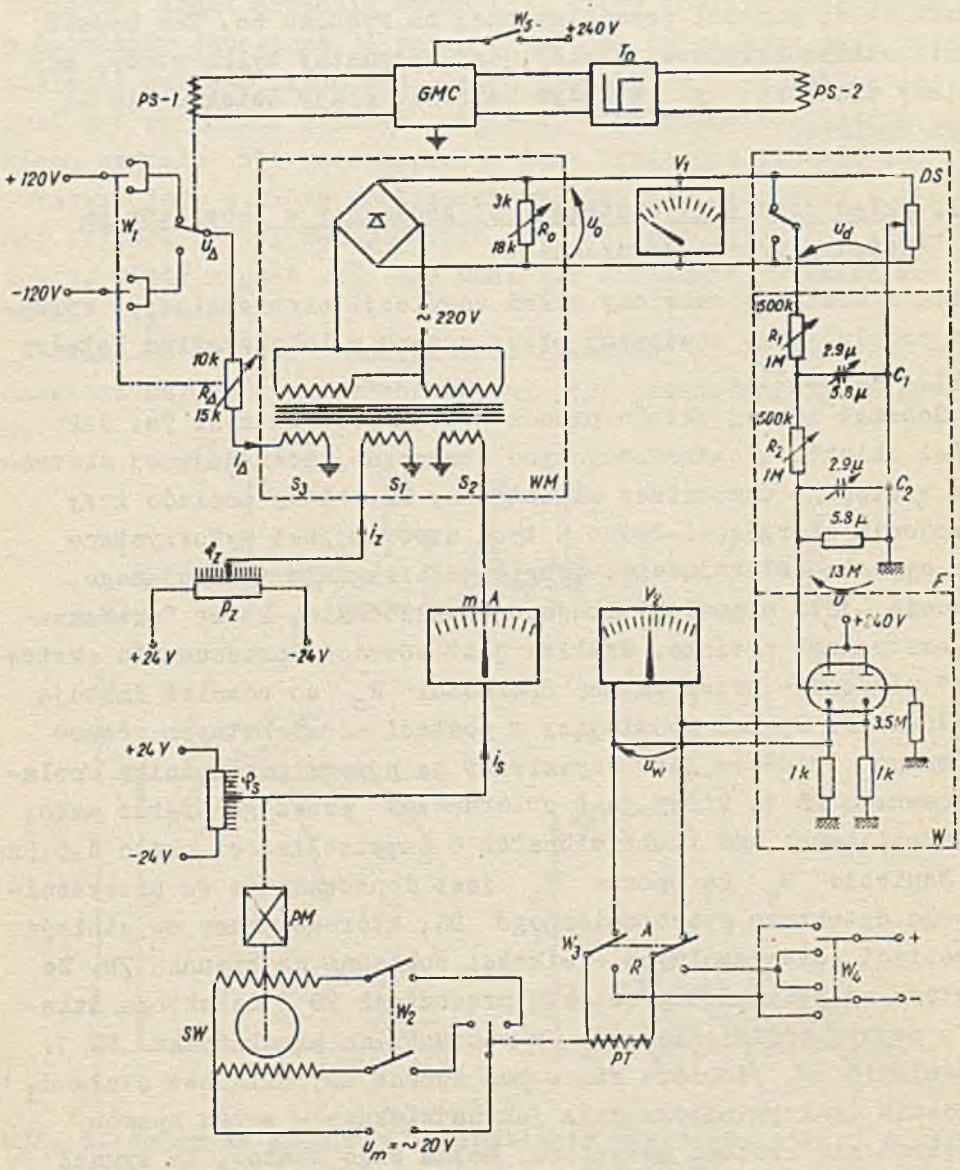
Na wejście detektora podawana jest różnica Δy między sygnałem y a stałym sygnałem σ, którego wartość dobiera się odpowiednio do wartości wielkości y, w wymaganym zakresie pracy. Powoduje to przekształcenie charakterystyk obiektu z rysunku 6b do postaci przedstawionej na rysunku 6c. Ten sposób zmniejszenia składowej stałej jest przydatny tylko wtedy, gdy zmiany wielkości y w całym zakresie pracy obiektu nie są zbyt wielkie.

III. Układ regulacji ekstremalnej zbudowany w laboratorium Katedry Teorii Regulacji

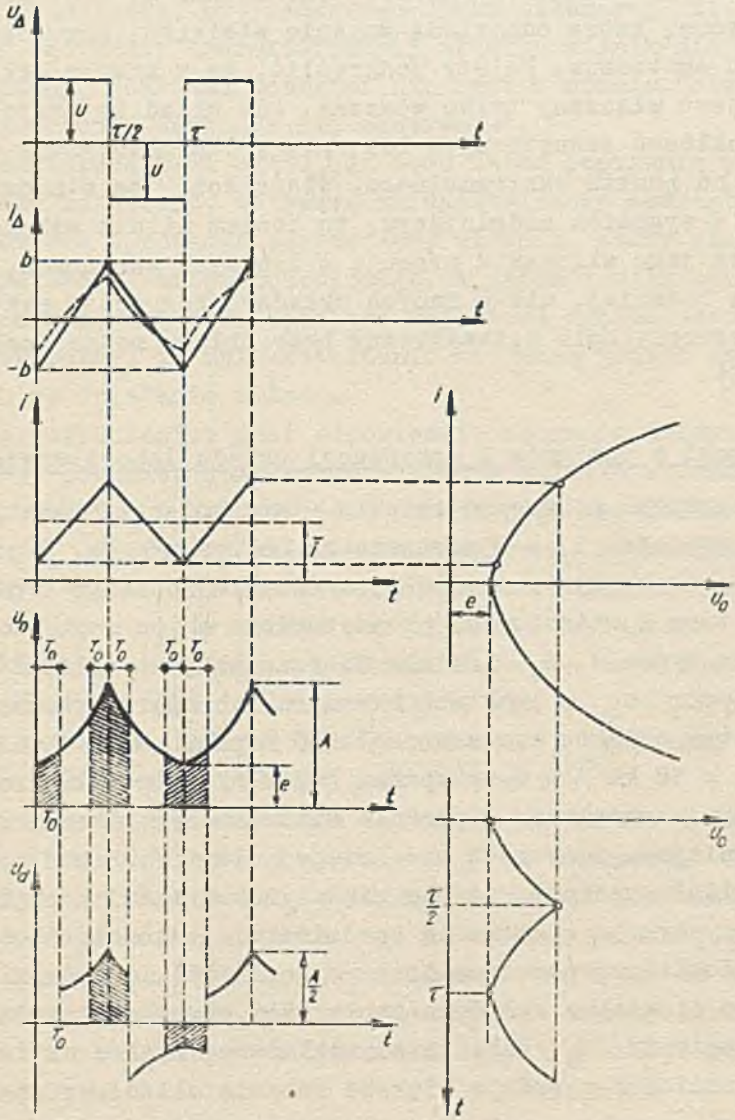
Obecnie zostanie omówiony układ regulacji ekstremalnej z sygnałem modulującym, zbudowany przez autora w Laboratorium Katedry Teorii Regulacji.

Schemat ideowy układu przedstawiony jest na rys. 7a. Jako model obiektu o charakterystyce statycznej posiadającej ekstremum występuje wzmacniacz magnetyczny WM, który posiada trzy uzwojenia sterujące. Jedno z tych uzwojeń jest wykorzystane dla sygnału sterującego, drugie- dla sygnału modulującego, trzecie - dla sygnału imitującego zakłócenia, które "przesuwają ekstremum" poziomo. Możliwe jest również "przesuwanie ekstremum" pionowo - przez zmianę oporności R_o co również imituje zakłócenia. Sygnał modulujący w postaci prostokątnych różnoimiennych impulsów jest uzyskiwany za pomocą przekaźnika spolaryzowanego PS 1, który jest przerzucany przez generator małej częstotliwości GMC (multiwibrator o częstotliwości około 1,5 Hz).

Napięcie u_o na oporze R_o jest doprowadzone do przekaźnikowego detektora synchronicznego DS, którego pracę objaśniają przebiegi poszczególnych wielkości pokazane na rysunku 7b. Ze względu na bezwładność obiektu przekaźnik PS 2 detektora działa z pewnym opóźnieniem T_o w stosunku do przekaźnika PS 1. Opóźnienie T_o dobiera się w ten sposób aby składowa stała $\bar{u}_d$ napięcia dyskryminatora była jak największa - w ten sposób zwiększa się czułość detektora. Można więc uważać, że sygnał x_Δ^* jest przebiegiem prostokątnych, różnoimiennych impulsów o



Rys. 7a. Schemat ideowy układu zbudowanego przez autora w Laboratorium Katedry Teorii Regulacji



Rys. 7b. Przebiegi poszczególnych wielkości dla układu z rysunku 7a

wartości $\pm \frac{1}{2}$, opóźnionym o czas T_o względem przebiegu $x_\Delta = u_\Delta$. Sygnał x^*_Δ jest wielkością bezwymiarową.

Odfiltrowana składowa stała $\bar{u}_d$ napięcia detektora poprzez wtórnik W steruje pracą przekaźnika trójpołożeniowego PT, który załącza (poprzez przekaźniki pośrednie nie przedstawione na schemacie) silnik wykonawczy SW. Silnik SW jest włączany w tę stronę, która odpowiada zmianie wielkości regulowanej w kierunku ekstremum. Należy podkreślić, że w naszym układzie silnik jest włączany tylko wówczas, gdy układ (z przyczyn działania zakłóceń zewnętrznych lub zmiany charakterystyk obiektu) odszedł od punktu ekstremalnego. Właściwość ta stanowi zaletę układów z sygnałem modulującym, tu bowiem silnik wykonawczy i aparatura jego włączania pracują w lepszych warunkach, gdyż są włączone rzadziej, niż w innych układach regulacji ekstremalnej.

Uproszczony opis matematyczny tego układu można znaleźć w pracy [3].

IV. Wnioski z pomiarów i obserwacji układu laboratoryjnego

Charakterystyki statyczne obiektu - wzmacniacza magnetycznego WM przy prądzie $i_z = 0$ pokazane są na rysunku 8a. Odpowiadające im charakterystyki detektora (ściślej obiektu z detektorem, filtrem i wtórnikiem) przedstawione są na rys. 8b i c. Amplituda sygnału i_Δ została dobrana tak, że całkowite wahania napięcia u_o w punktach mieszczących się na zboczach charakterystyk obiektu wynoszą około 30 V przy $R_o = 3k\Omega$ i 40 V - przy $R_o = 18\ k\Omega$ x). W przypadku gdy zamknięty układ znajduje się w stanie ustalonym w punkcie ekstremalnym wahania napięcia u_o są mniejsze i wynoszą nie więcej niż 5 V. Z podanych wykresów widać wyraźnie, że dla większych wartości napięcia u_o charakterystyki detektora są bardziej niejednoznaczne. Wynika to z niedokładnej powtarzalności sygnału x^*_Δ, w którym pojawia się pewna niewielka składowa stała $\bar{x}^*_\Delta$. Przy większych wartościach napięcia u_o wahanie się składowej stałej $\bar{x}^*_\Delta$ w tych samych granicach powoduje większe wahanie składowej stałej $\bar{u}_w$

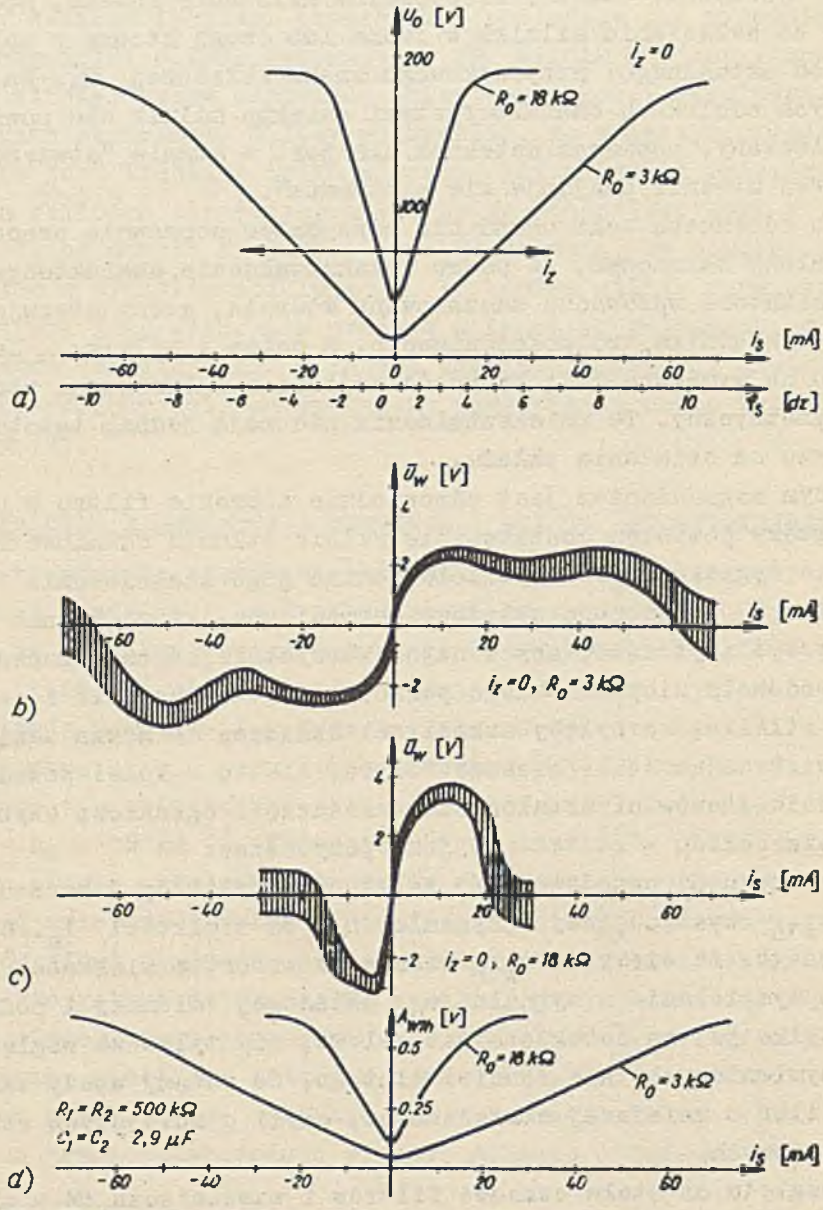
x) W układzie istnieje możliwość nastawienia drugiej nieco większej wartości amplitudy i_Δ.

(ponieważ składowa $\bar{u}_o$ występuje w napięciu u_o podawanym na detektor). W miejscach gdzie następuje nasycenie wzmacniacza - na poziomych odcinkach charakterystyki obiektu - zjawisko to wywoływało czasami niepoprawne działanie układu, polegające na załączeniu silnika w jedną lub drugą stronę w zależności od aktualnego, przypadkowego znaku składowej $\bar{x}^*_\Delta$. Na poziomych odcinkach charakterystyki obiektu silnik nie powinien być załączany, ponieważ detektor nie jest w stanie "stwierdzić po której stronie znajduje się ekstremum".
Na tych odcinkach taki układ nie może zatem poprawnie pracować. Należy zaznaczyć, że pewne zniekształcenie charakterystyk dyskryminatora wprowadza zastosowany wtórnik, który steruje pracą przekaźnika trójpołożeniowego, a zatem i silnika. Ze względu na wymaganą dużą oporność wejściową zastosowano wtórnik asymetryczny. Te zniekształcenia nie mają jednak istotnego wpływu na działanie układu.

Ważnym zagadnieniem jest odpowiednie dobranie filtru w układzie, który powinien dostatecznie silnie stłumić składowe harmoniczne sygnału u_d. Oczywiście pomimo jego zastosowania w napięciu u_w występują składowe harmoniczne, które jednak nie powinny być zbyt duże, aby w najniekorzystniejszych warunkach nie powodowały niepotrzebnego periodycznego wyłączania i załączania silnika, co byłoby szkodliwe. Składowe te można zmniejszyć zwiększając stałe czasowe filtru, ale to z kolei powoduje wydłużenie stanów nieustalonych w układzie i ogranicza szybkość działania układu - co też nie jest pożyteczne.

Na rysunku 8d przedstawiono zależność amplitudy 1 harmonicznej A_{w1h} występującej w sygnale u_w od wielkości i_s. Łatwo zauważyć, że wielkość A_{w1h} rośnie ze wzrostem wielkości u_o. A zatem wydzielenie z sygnału u_o składowej zmiennej i podawanie tylko jej na detektor jest celowe, nie tylko ze względów wyżej wymienionych, ale również dlatego, że możemy wtedy zastosować filtr o mniejszej skuteczności, czyli o mniejszych stałych czasowych.

Ze względu na stałe czasowe filtrów i wzmacniacza WM w układzie musiano zastosować przekładnię PM o dużym przełożeniu



Rys. 8. Charakterystyki statyczne zdjęte na wykonanym układzie laboratoryjnym

500:1, tak że przy stale załączonym silniku szybkość zmian położenia φ_s potencjometru P_s wynosi $\frac{d\varphi_s}{dt} = 0{,}095 \frac{dz}{sek}$, a więc działanie układu jest raczej wolne. Ze względów dydaktycznych parametry układu zostały dobrane tak, że układ działa poprawnie przy $R_o = 3$ kΩ, natomiast przy $R_o = 18$ kΩ układ się wzbudza. W tym ostatnim przypadku napięcie u_o oscyluje wokół ekstremum, przy czym częstotliwość i wielkość wahań tego napięcia zależy od parametrów filtru ($f = 0{,}026 \div 0{,}02 \frac{1}{sek}$, $\Delta u_o \approx 35 \div 45$ V). O wzbudzaniu się układu przy $R_o = 18\Omega$ decyduje przede wszystkim większe nachylenie charakterystyk dyskryminatora (porównaj rysunek 8b i c) w pobliżu ekstremum. W przypadku wzbudzenia się układu występują w nim duże wahania napięcia, układ więc działa z dużym błędem. W stanie ustalonym występuje przy tym zupełnie niepotrzebne załączanie silnika w tą i z powrotem. Układ w tym przypadku nie spełnia swego zadania.

LITERATURA

[1] IWACHNIENKO A.G.: "Cybernetyka techniczna" PWN Warszawa 1962 r. (tłumaczenie z rosyjskiego).

[2] KRASOWSKI A.A., POSPIEŁOW G.S.:"Podstawy automatyki i cybernetyki technicznej" WNT Warszawa 1965 r. (tłumaczenie z rosyjskiego).

[3] GESSING R.: Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych pt. "Regulacja ekstremalna" zawarta w "Zbiorze instrukcji do ćwiczeń laboratoryjnych z Teorii Regulacji II" Skrypt uczelniany, Gliwice 1967 r.

ЗАМЕЧАНИЯ ОБ СИСТЕМАХ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ РЕГУЛЯЦИИ
С МОДИЛИРУЮЩИМ СИГНАЛОМ

Р е з ю м е

В статье говорится об принципе сынхронной детекции который применяется к системам экстремальной регуляции с внешним модулирующим сигналом. Расмотривается случай безинерционного объекта и объекта имеющего инерцию. Показано, что такие системы мы можем разсмотривать как систем стабилизации постоянной составляющей напряжения детектора в режиме нуль. Приведены замечания об системе экстемальной регуляции построенной автором в лаборатории и даже результаты опытов и изучений этой системы.

CONSIDERATIONS ABOUT EXTREMUM CONTROL SYSTEMS
WITH MODULATED SIGNAL

S u m m a r y

The principle of synchronous detection to Extremum Control Systems with modulated signal is presented. The case of non-intertial and inertial plant is considered. These systems can be treated as the systems of stabilization of component direct voltage of detector on zero level. It is demonstrated by the author. The author discass laboratiorial Extremum Control System constructed by himself. Finally the conclusions from measurements and observations a given.