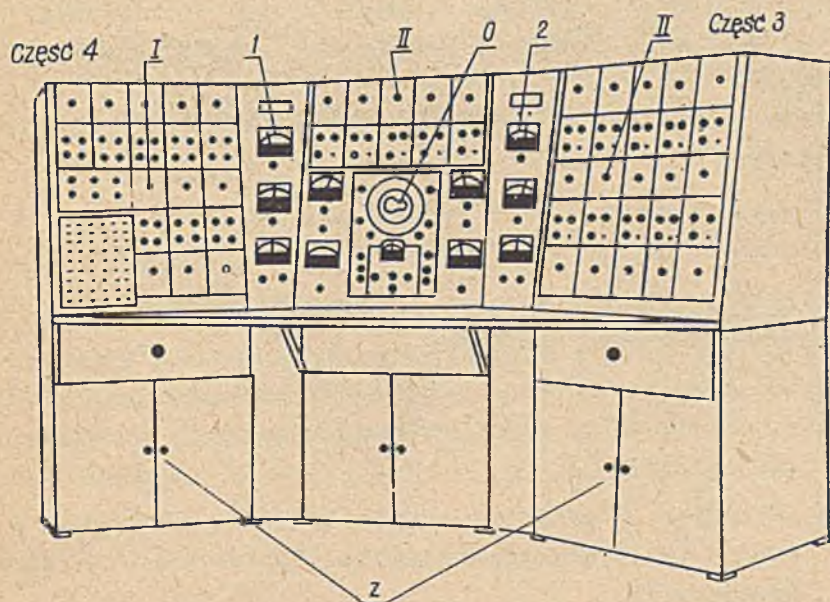


OLGIERD PALUSIŃSKI
Katedra Teorii Regulacji

MASZYNA ANALOGOWA
KATEDRY TEORII REGULACJI

Opracowana w Katedrze Teorii Regulacji maszyna analogowa została pomyślana jako maszyna specjalistyczna dla analizy własności dynamicznych i projektowania złożonych, kompleksowych układów automatyki przemysłowej.

Maszynę wykonano w Zakładzie Optyki i Mechaniki Precyzyjnej Politechniki Śląskiej w oparciu o elementy produkcji krajowej. Jest to maszyna średniej wielkości zawierająca 32 wzmacniacze operacyjne. Wygląd zewnętrzny maszyny przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Wygląd zewnętrzny maszyny analogowej, I, II, III - tablice czołowe, 1, 2 - tablice pomiarowe, 0 - oscylograf, Z - zasilacze

Wzmacniacze operacyjne i układy sprzęgające umieszczone są na trzech czołowych tablicach I, II i III i łączone z całością za pomocą wtyków.

Na tablicy II zamontowano specjalnie wykonany oscylograf z długą poświatą umożliwiającą obserwację przebiegów napięć w elementach operacyjnych.

Pole łączeń wraz z polem napięć wymuszających umieszczono na tablicy I.

Przyrządy pomiarowe, lampki sygnalizacyjne oraz przyciski sterujące pracą maszyny znajdują się na tablicach pomiarowych 1 i 2.

W szafkach pod płytą biurka znajdują się zasilacze stabilizowane oraz pola dla dodatkowych nieliniowych elementów operacyjnych. Konstrukcja maszyny pozwala na niezależne uruchomienie połowy wzmacniaczy (tzw. części A lub części B).

1. Tablice pomiarowe

Tablica pomiarowa 1 jest połączona z polami operacyjnymi części A, pomiary w części B dokonywane są przy pomocy tablicy pomiarowej 2.

Każda z tablic pomiarowych wyposażona jest w następujące przyrządy:

- 1) woltomierz kl. 1,5 o zakresach + 300 V, -300 V, 6,3 V do pomiaru napięć zasilających,
- 2) miliamperomierz kl. 1,5 o zakresach + 300 mA, -300 mA do pomiaru prądów zasilaczy,
- 3) woltomierz kl. 1,5 z zerem na środku skali o zakresach 1 V, 5 V, 25 V, 100 V do pomiaru napięć wyjściowych wzmacniaczy,
- 4) woltomierz z zerem na środku skali logarytmicznej o zakresie 100 V służący do kontroli położenia zerowego wzmacniaczy.

Przyrządy do pomiaru napięć wyjściowych wzmacniaczy i do kontroli "zera" można przyłączyć na wyjście dowolnego wzmacniacza za pomocą przełączników wielopozycyjnych.

Na tablicy 1 mieści się również woltomierz kl. 1,5 o zakresach 1 V, 5 V, 25 V, 100 V do pomiaru napięć wymuszających.

Uruchomienie jednej z części wzmacniaczy dokonywane jest za pomocą przycisku sterowniczego i jest sygnalizowane zapaleniem się lampki kontrolnej.

Na obu tablicach umieszczono przyciski służące do jednoczesnego rozładowywania wszystkich kondensatorów sprzęgających oraz do zwierania wejść celem "ustawienia" zera wzmacniaczy. Liczenie rozpoczyna się w momencie naciśnięcia przycisków "Pomiar".

2. Pole napięć wymuszających

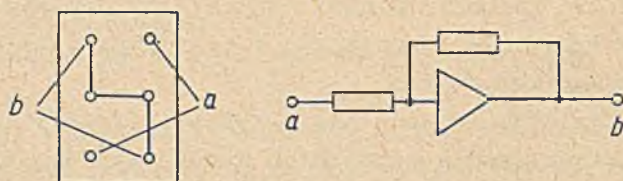
Pole napięć wymuszających znajduje się na tablicy I. Składa się ono z trzech niezależnych źródeł napięciowych regulowanych skokowo i ciągle od -100 V do $+100$ V. Napięcia te mierzy się za pomocą przyrządu umieszczonego na tablicy pomiarowej I.

Każde źródło napięcia posiada gniazdka na polu łączy. Załączenia i wyłączenia napięć dokonuje się za pomocą odpowiednich przycisków.

3. Pole łączy

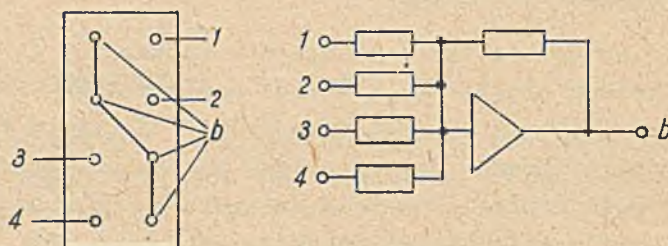
Każdy element operacyjny zmontowany jest w oddzielnym panelu co umożliwia umieszczenie go w dowolnym polu operacyjnym. Każde pole operacyjne posiada zespół gniazdek na polu łączyowym oznaczony numerem pola operacyjnego. Gniazdka te odpowiadają wejściom i wyjściom elementu operacyjnego.

Oprócz tego na pole łążeń wyprowadzono wejście oscylografu oraz napięcia zasilające i wymuszające. Rozmieszczenie gniazdek wzmacniacza operacyjnego na polu łążeń przedstawia rys.2.



Rys. 2. Rozmieszczenie gniazdek wzmacniacza na polu łążeń

Rozmieszczenie gniazdek sumatora ilustruje rys. 3.



Rys. 3. Rozmieszczenie gniazdek sumatora na polu łążeń

4. Oscylograf pomiarowy

Specjalnie wykonany dwustrumieniowy oscylograf z długą poświatą posiada wzmacniacze prądu stałego przenoszące pasmo do 1MHz wzmacniacze prądu zmiennego o dużej czułości oraz podstawę czasu regulowaną w granicach $5 \cdot 10^{-3}$ Hz do 1 MHz. Oscylograf umożliwia obserwację i bezpośrednie pomiary zarówno przebiegów czasowych jak i portretów fazowych.

5. Wzmacniacz operacyjny

Wzmacniacz operacyjny składa się ze wzmacniacza prądu stałego oraz układu sprzężenia zwrotnego zmontowanego w oddzielnym panelu z wtykiem. Taka konstrukcja pozwala na wymianę układów sprzężeń zwrotnych i dowolny ich dobór. Na rys. 4 pokazano płytę czołową wzmacniacza.

Dane techniczne wzmacniacza:

wzmocnienie 10000-20000 V/V

Zakres napięć wyjściowych

przy obciążeniu 20 k Ω \pm 100V

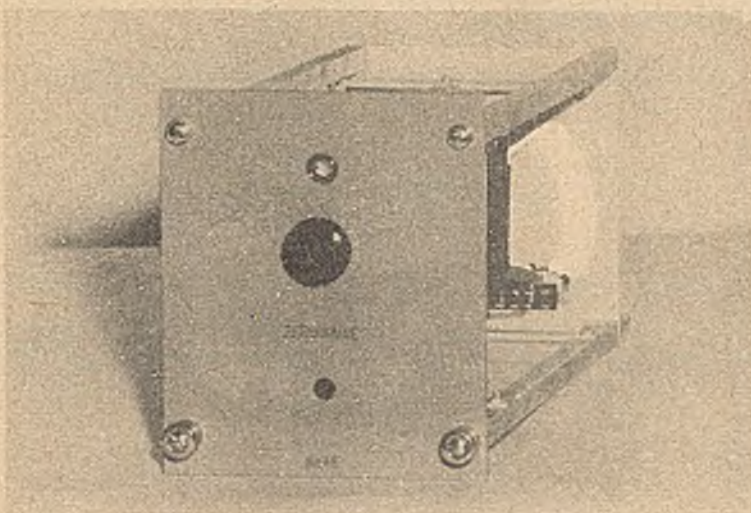
pełzanie zera rzędu 1 mV/godz.

prąd siatki wejściowej rzędu 10^{-9} A

częstotliwość graniczna (2,5-3,0) kHz dla wzmacniacza pracującego jako inwertor

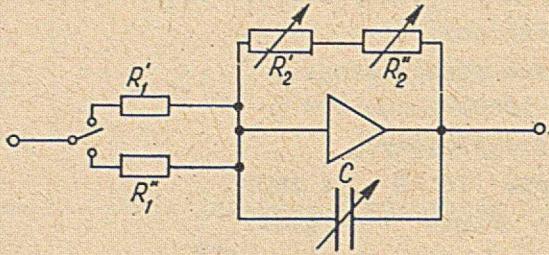
lampy 2 x ECC83

1 x ECC82



Rys. 4. Płyta czołowa wzmacniacza operacyjnego

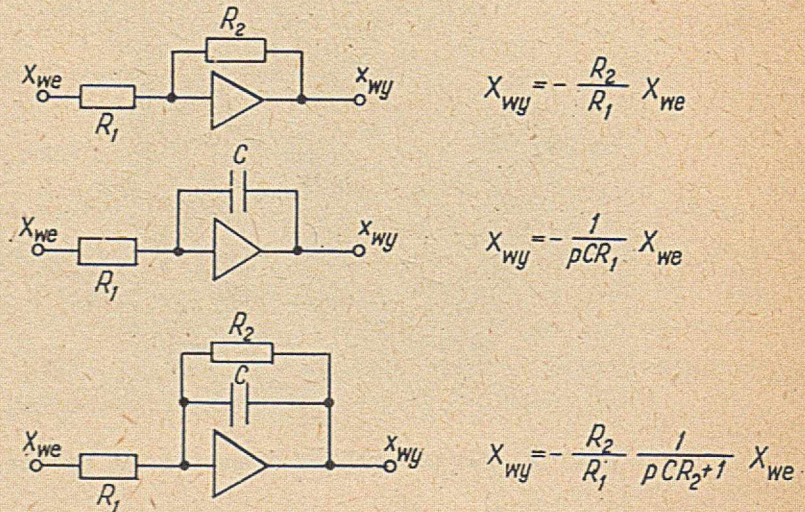
Przesterowanie wzmacniacza, uszkodzenie jednego z elementów lub znaczna zmiana któregośkolwiek z napięć zasilających sygnalizowana jest zapaleniem się neonówki umieszczonej na płycie czołowej wzmacniacza.



Rys. 5. Połączenie wzmacniacza z układem sprzężenia zwrotnego

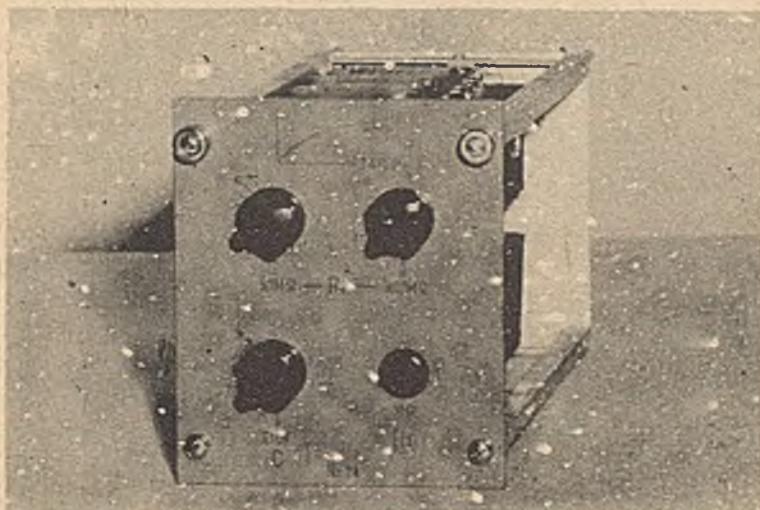
Sposób połączenia wzmacniacza z układem sprzężenia zwrotnego przedstawiony jest na rys. 5.

Na rys. 6 pokazano możliwości wykorzystania układu wzmacniacza ze sprzężeniem zwrotnym do modelowania elementów o różnych funkcjach przejścia.



Rys. 6. Elementy modelowane przez wzmacniacz i ich funkcje przejścia

Płytę czołową liniowego układu sprzężenia zwrotnego pokazano na rys. 7. Przełączniki umieszczone na płycie oznaczono symbolami zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 5.



Rys. 7. Płyta czołowa liniowego układu sprzężenia zwrotnego

Zestawienie parametrów liniowych układów sprzężenia zwrotnego.

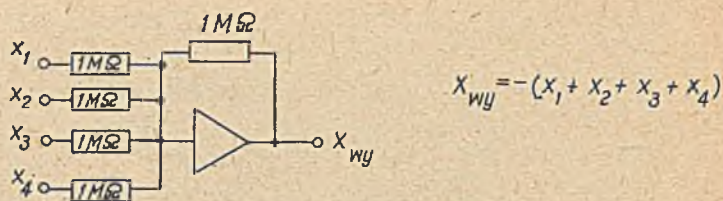
Opory

$R_1 = 1 \text{ M}\Omega$ R_2' opor dekadowy $10 \times 1 \text{ M}\Omega$ oraz $R_2' = \infty$
 $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ R_2'' " " $10 \times 100 \text{ k}\Omega$

Dekady pojemnościowe wykonano w trzech wierszach $10 \times 1 \mu\text{F}$,
 $10 \times 0,1 \mu\text{F}$ i $10 \times 0,01 \mu\text{F}$.

Każdy układ sprzężenia zwrotnego posiada wyżej podane zestawy oporności oraz jedną z trzech dekad pojemnościowych.

Sumator jest to wzmacniacz ze sztywnym sprzężeniem zwrotnym zmontowanym na panelu wzmacniacza. Jego schemat pokazano na rysunku 8.

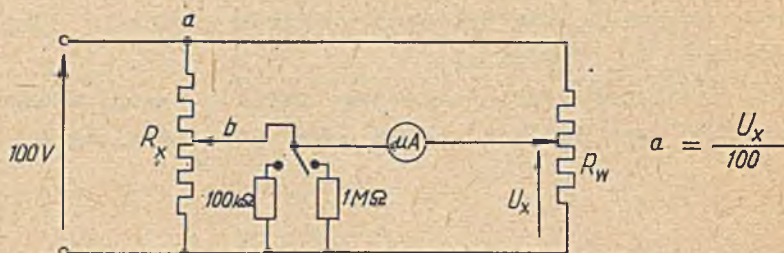


Rys. 8. Schemat sumatora

6. Potencjometry

Blok potencjometrów zawierający 24 potencjometry służące do mnożenia zmiennej maszynowej przez wartość stałą mniejszą od jedności stanowi oddzielną konstrukcję. Pomiar współczynników wzmocnienia potencjometrów przeprowadza się w układzie pomiarowym (rys. 9) przez porównanie z nastawieniem potencjometru wzorcowego.

Ponieważ potencjometr jest zawsze obciążony wzmacniaczem należy dokonać pomiaru współczynnika wzmocnienia potencjometru obciążonego opornością równą oporności wejściowej wzmacniacza to jest $100 \text{ k}\Omega$ lub $1 \text{ M}\Omega$.



Rys. 9. Układ do pomiaru nastawień potencjometrów

Stabilizowane napięcie zasilania układu pomiarowego jest równe 100 V, dzięki czemu położenie przełącznika potencjometru wzorcowego wskazuje bezpośrednio współczynnik wzmocnienia α . Każdy potencjometr może być podłączony do układu pomiarowego za pomocą przełącznika. Blok potencjometrów posiada osobne pole łączzeń na którym każdy potencjometr posiada wyprowadzone punkty "a" i "b". Wspólną masę potencjometrów łączy się z masą maszyny jednym przewodem.

Dokładność pomiaru współczynników α wynosi około 1%.

7. Zasilacze

Zasilacze umieszczone są we wnękach pod płytą biurka i połączone z całym układem za pomocą wtyków. Maszyna posiada dwa identyczne zespoły zasilaczy napięć +300 V, -330V, +250V i -190V.

Dane techniczne zasilaczy:

A. Zasilacze +300V i -330V f-my "Tesla"

dokładność stabilizacji	0,5%
tętnienia	1 mV
zakres pracy stabilnej	0-70 mA
średni prąd roboczy	40 mA
maksymalny prąd roboczy	50 mA

B. Zasilacze +250 V i -190V

dokładność stabilizacji	0,5%
tętnienia	2 mV
zakres pracy stabilnej	0-350 mA
średni prąd roboczy	250 mA
maksymalny prąd roboczy	300 mA

8. Rejestracja

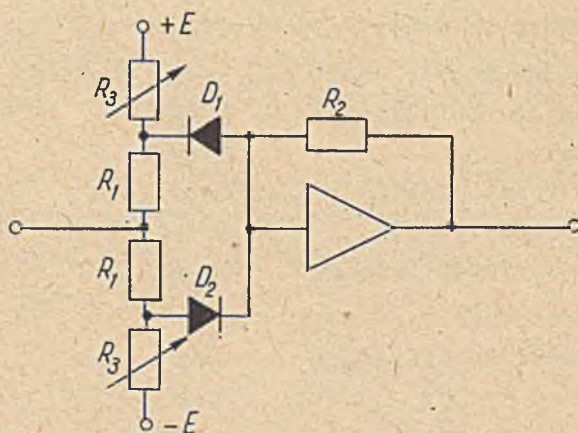
Do rejestracji i obserwacji przebiegów używa się zasadniczo oscylografu z długą poświatą. Stosuje się również kompensator

f-my MAW specjalnie przystosowany do współpracy z maszyną analogową. Możliwa jest również współpraca maszyny z innymi typami rejestratorów wielkości elektrycznych.

9. Układy nieliniowe

Maszyna wyposażona jest w układy nieliniowe, które służą do modelowania typowych nieliniowych elementów automatyki takich jak przekaźniki dwu-i trójpołożeniowe, elementy z nasyceniem lub ze strefą nieczułości.

Przewidziane jest wyposażenie maszyny w kwadratory diodowe, układy mnożące oraz układy z wyjściem mechanicznym (tj. układy, w których następuje zamiana sygnału elektrycznego na sygnał mechaniczny).



Rys. 10. Model elementu ze strefą nieczułości

Model elementu ze strefą nieczułości.

Układ modelujący element ze strefą nieczułości skonstruowano w oparciu o wzmacniacz operacyjny. Sygnał wejściowy podawany jest na wzmacniacz przez próg diodowy. Zasadę działania układu wyjaśnia rys. 10. Podwójna dioda (D_1, D_2) oraz opory (R_1, R_2, R_3) umieszczone są w panelu układu sprzęgającego. Napięcie za-

silające dzielnik oporowy na wejściu wzmacniacza doprowadza się do zacisków umieszczonych na płycie czołowej takiego nieliniowego układu sprzęgającego.

Wielkość strefy nieczułości można określić ze wzoru:

$$\mu = \frac{R_1}{R_3} E$$

Wartości poszczególnych elementów:

Diody D_1 i D_2 - podwójna dioda 6X2 π

$$E = 100V$$

$$R_1 = 1 \text{ M}\Omega \text{ lub } 0,1 \text{ M}\Omega$$

$$R_2 = 10 \times 1 \text{ M}\Omega + 10 \times 0,1 \text{ M}\Omega$$

$$R_3 = 10 \times 1 \text{ M}\Omega$$

Układ modelujący element z nasyceniem

Układ modelujący element z nasyceniem uzyskano przez zastosowanie we wzmacniaczu operacyjnym sprzężenia zwrotnego z ogranicznikiem diodowym.

Schemat układu przedstawiony jest na rys. 11.

Diody D_1 i D_2 oraz opory R_1 , R_2 , R_3 i R_4 zmontowane są w panelu układu sprzęgającego.

Przybliżoną wartość napięcia nasycenia można określić z następującego wzoru:

$$\mu = \frac{R_3}{R_4} E$$

Dane układu sprzęgającego:

$$E = 100 \text{ V}$$

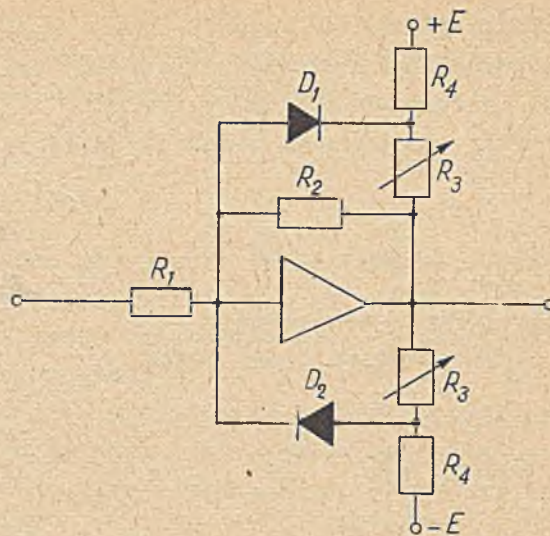
$$R_1 = 1 \text{ M}\Omega \text{ lub } 0,1 \text{ M}\Omega$$

$$R_2 = 10 \times 1 \text{ M}\Omega + 10 \times 0,1 \text{ M}\Omega$$

$$R_3 = 10 \times 1,5 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = 15 \text{ k}\Omega$$

Diody D_1 i D_2 - 2 lampy EZ 11



Rys. 11. Układ modelujący element z nasyceniem

Układ modelujący przekaźniki

Przy konstrukcji układu modelującego przekaźniki dwupołożeniowe i trójpołożeniowe wykorzystano również wzmacniacz operacyjny. Sygnał wejściowy doprowadzany jest na wejście wzmacniacza przez ogranicznik diodowy - podobnie jak w elemencie ze strefą nieczułości. W układzie zastosowano sprzężenie zwrotne z dwoma diodami ograniczającymi wielkość sygnału wyjściowego. Schemat układu przedstawiony jest na rys. 12. Diody oraz opory dzielników umieszczono w panelu układu sprzęgającego. Wartości poszczególnych elementów są następujące:

$$E = 100 \text{ V}$$

$$R_1 = 1 \text{ M}\Omega \text{ lub } 0,1 \text{ M}\Omega$$

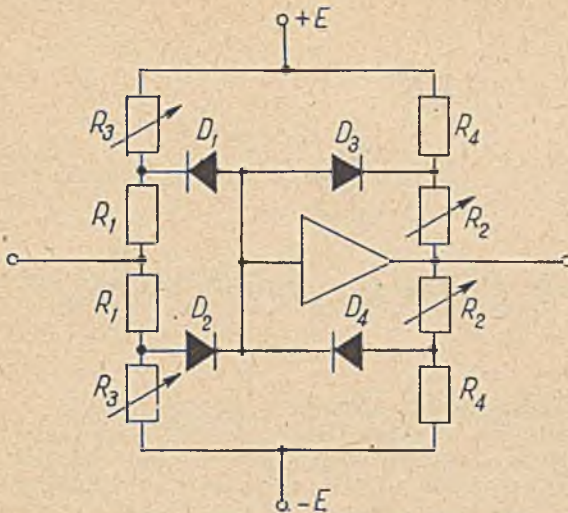
$$R_2 = 10 \times 1,5 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 10 \times 1 \text{ M}\Omega$$

$$R_4 = 15 \text{ k}\Omega$$

Diody D_1 i D_2 - lampa 6x2T

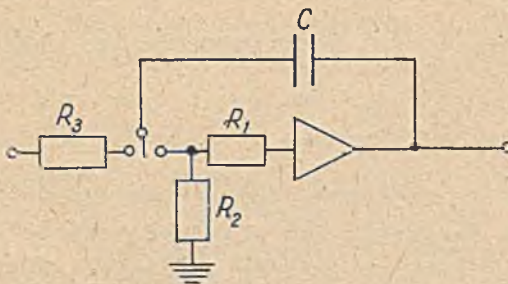
Diody D_3 i D_4 - lampy EZ 11



Rys. 12. Układ modelujący przekaźnik

Model impulsatora

Maszyna umożliwia badanie układów regulacji impulsowej. Konstrukcja modelu impulsatora z modulacją amplitudy oparta jest na wzmacniaczu operacyjnym i pamięci analogowej. Zasadę działania układu wyjaśnia rys. 13.



Rys. 13. Model impulsatora

Przekaźnik spolaryzowany, którego styki oznaczono numerami 1, 2 i 3 jest sterowany napięciem z multiwibratora. Częstotliwość impulsowania można zmieniać w granicach 0,5 Hz do 1,5 Hz.

Dane techniczne układu:

$$C = 0,1 \mu F$$

$$R_1 = 0,5 M\Omega$$

$$R_2 = 2 M\Omega$$

$$R_3 = 0,5 M\Omega$$

Rękopis złożono w Redakcji w dniu 25.IV.1964 r.

АНАЛОГОВАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА КАФЕДРЫ
ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ

Р е з ю м е

В статье дано описание аналоговой вычислительной машины, разработанной в Силезском Политехническом Институте, предназначенной для исследования динамических свойств сложных систем промышленной автоматики.

В состав машины входит 32 решающих усилителей, не имеющих автоматической компенсации дрейфа нуля, элементы, моделирующие типичные нелинейности (насыщение, нечувствительность, реле) а также элементы, моделирующие импульсные регуляторы. Для регистрации решений применено катодный осциллограф, а также регистрирующий автоматический прибор.

THE ANALOGUE COMPUTER OF THE REGULATION THEORY CHAIR

Summary

The paper describes an analogue computer designed in the Silesian Polytechnical Institute and proposed especially for the dynamic analysis of complex industrial control systems. The computer contains 30 operational amplifiers without automatic null point stabilization. It contains also elements for the simulation of common nonlinearities (saturation, backlash, relay characteristic) and elements for the simulation of sampled-data controllers. The transients can be observed on a long luminosity cathode-ray oscillograph and registered with an automatic pen recorder.