

**POLSKA
RZECZPOSPOLITA
LUDOWA**



**URZĄD
PATENTOWY
PRL**

OPIS PATENTOWY

61427

Patent dodatkowy
do patentu _____

Kl. 21 e, 25/02

Zgłoszono: 29.VII.1968 (P 128 359)

Pierwszeństwo: _____

MKP G 01 r, 25/02

Opublikowano: 31.X.1970

UKD 621.317.3:621.
3.018.12/.621.
372.837

Współtwórcy wynalazku: Stanisław Stuchły, Jerzy Kaliński
Właściciel patentu: Polska Akademia Nauk (Zakład Doświadczalny Budowy Aparatury Naukowej UNIPAN), Warszawa (Polska)

Sposób automatycznej regulacji kąta przesunięcia fazowego między sygnałami mikrofalowymi w kanałach nośnej i podnośnej oraz układ do stosowania tego sposobu w mikrofalowych układach pomiarowych

1

Przedmiotem wynalazku jest sposób automatycznej regulacji kąta przesunięcia fazowego między sygnałami mikrofalowymi w kanałach nośnej i podnośnej układu mikrofalowego z falą podnośną oraz układ do realizacji tego sposobu w mikrofalowych układach pomiarowych.

Mikrofalowe układy z falą podnośną modulowaną w amplitudzie sygnałem małej częstotliwości stosowane są do pomiarów tłumienia w zakresie mikrofal wymagających dużej dokładności i dużego zakresu pomiarowego. Zmiany tłumienia wnoszonego przez element badany umieszczony w kanale podnośnej są odwzorowywane liniowo przez układ jako zmiany sygnału małej częstotliwości na wyjściu detektora mikrofalowego. Sygnał wyjściowy detektora jest liniową funkcją sygnału mikrofalowego w kanale podnośnej jedynie w przypadku dostrojenia fazowego sygnałów w obu kanałach, nośnej i podnośnej, do wartości kąta przesunięcia fazowego między sygnałami równej zeru lub wielokrotności Π . Zmianom tłumienia elementu badanego towarzyszą na ogół zmiany kąta przesunięcia fazowego sygnału w kanale podnośnej.

Celem uzyskania wymaganej dokładności układ pomiarowy musi być każdorazowo wyrównany fazowo przed dokonaniem odczytu mierzonej wartości tłumienia. Równoważenie fazowe przeprowadzane jest ręcznie przy pomocy przesuwników fazowych umieszczonych w kanale podnośnej lub nośnej a wskaźnikiem dostrojenia fazowego jest

2

maksimum sygnału wyjściowego. W technice laboratoryjnej konieczność takiego równoważenia nie powoduje zasadniczych trudności i przedłuża jedynie czas trwania pomiaru. W technice przemysłowej, szczególnie przy pomiarach ciągłych związanych z automatyzacją przebiegu procesów technologicznych, prowadzi do nieprzydatności tej metody pomiaru.

Celem wynalazku jest uniezależnienie wyniku pomiaru tłumienia w układzie mikrofalowym z falą podnośną od zmian kąta przesunięcia fazowego względem siebie sygnałów w kanale nośnej i kanale podnośnej.

Cel ten został osiągnięty przez kompensację zmian kąta przesunięcia fazowego w kanale nośnej i podnośnej za pomocą zmian kąta przeciwnie skierowanych i wprowadzanych do kanału podnośnej sterowanych sygnałem uzyskiwanym przez dodatkową modulację fazy modulowanego amplitudowo pomiarowego sygnału mikrofalowego.

Układ do stosowania sposobu zawiera generator mikrofalowy zasilający ciągłym sygnałem mikrofalowym kanał nośnej i kanał podnośnej pomiarowego układu mikrofalowego, połączony z detektorem i z modulatorem umieszczonym w kanale podnośnej, w którym sygnał mikrofalowy zostaje zmodulowany amplitudowo sygnałem o pulsacji Ω , dostarczonym przez drugi generator, obszar pomiarowy, w którym umieszczony jest element lub materiał badany, ferrytowy przesuwnik fazy zasil-

lany z zasilacza i generatora prądem stałym i sygnałem zmiennym o pulsacji Ω_2 , detektor mikrofalowy, przedwzmacniacz pasmowy, wzmacniacz selektywny z detektorem i miernikiem wychyłowym, wyskalowanym w jednostkach wartości mierzonej, drugi wzmacniacz selektywny z układem automatycznej regulacji wzmacniania, drugi przesuwnik fazowy, konieczny do dobrania przesunięć fazowych między sygnałami o pulsacji Ω_2 zasilającymi detektor fazoczuły, którego sygnał wyjściowy steruje przepływem prądu stałego przez uzwojenie ferrytowego przesuwnika fazy.

Celem otrzymania sygnału proporcjonalnego do odchylenia wartości kąta przesunięcia fazowego Φ między sygnałami mikrofalowymi w obu kanałach, nośnej i podnośnej, od zera lub wielokrotności Π z jednoczesnym wyróżnieniem kierunku odchylenia wykorzystano charakterystykę zależności sygnału małej częstotliwości na wyjściu diody demodulacyjnej od wartości tego kąta.

Sygnał wyjściowy detektora mikrofalowego osiąga wartości maksymalne dla wartości kąta Φ równej zeru lub wielokrotności Π i wartości minimalne dla wartości kąta Φ równej $\frac{\pi}{2}$ lub nieparzystym wielokrotnościom $\frac{\pi}{2}$. Sygnał o podobnej charakterystyce zmian w funkcji kąta Φ lecz przesuniętej na osi Φ o $\frac{\pi}{2}$ uzyskuje się doprowadzając do wyżej wymienionego przesuwnika fazowego umieszczonego w kanale podnośnej sygnał małej częstotliwości o okresie różnym od okresu sygnału małej częstotliwości modulującego amplitudę sygnału mikrofalowego. Sygnał mikrofalowy w kanale podnośnej zostanie w ten sposób zmodulowany dodatkowo w fazie sygnałem małej częstotliwości. Na wyjściu detektora mikrofalowego uzyskuje się dwa sygnały małej częstotliwości o różnych pulsacjach, przy czym dla kątów przesunięć fazowych Φ równych zeru lub wielokrotności Π jeden z nich osiąga wartość maksymalną a drugi minimalną a dla kątów Φ równych $\frac{\pi}{2}$ lub nieparzystym wielokrotnościom $\frac{\pi}{2}$ odwrotnie.

Ponieważ modulacja fazy sygnału mikrofalowego uzyskiwana jest na charakterystyce przechodzącej przez ekstremum dla pożądanej wartości kąta Φ sygnał małej częstotliwości na wyjściu detektora mikrofalowego zmienia fazę o kąt Π w zależności od znaku przyrostów kąta Φ . Sygnał ten po wzmocnieniu i fazoczułej detekcji wykorzystany do sterowania prądu stałego przepływającego przez uzwojenie ferrytowego przesuwnika fazy automatycznie wyrównuje każdą zmianę kąta przesunięcia fazowego między sygnałami mikrofalowymi w kanale nośnej i podnośnej w granicach liniowości układu.

Korzyścią podstawową zastosowania wynalazku jest uniezależnienie wyników pomiarów tłumienia w zakresie mikrofal w układach z falą podnośną od kąta przesunięcia fazowego między sygnałami w obu kanałach oraz od jego zmian. Korzyściami pochodnymi są znaczne przyspieszenie i uproszczenie laboratoryjnych pomiarów tłumie-

nia oraz umożliwienie zastosowania mikrofalowych metod pomiaru do układów automatycznej kontroli i sterowania przebiegiem przemysłowych procesów technologicznych.

Wynalazek zostanie bliżej objaśniony na przykładzie wykonania przedstawionym na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia wykres wektorowy sygnałów niemodulowanych na wejściu detektora, fig. 2 wykres wektorowy sygnałów mikrofalowych modulowanych amplitudowo i fazowo na wejściu detektora dla dowolnego kąta przesunięcia fazowego Φ między sygnałami w obu kanałach, fig. 3 taki sam wykres wektorowy dla kąta Φ równego zeru lub parzystej wielokrotności Π , fig. 4 charakterystykę zależności sygnału o pulsacji Ω_1 od wartości kąta przesunięcia fazowego Φ między sygnałem fali nośnej i podnośnej, fig. 5 charakterystykę zależności sygnału o pulsacji Ω_2 od wartości kąta przesunięcia fazowego Φ , fig. 6 charakterystykę zależności sygnału o pulsacji Ω_2 od zmian kąta przesunięcia fazowego Φ wokół wartości odpowiadającej maksymalnej wartości sygnału o pulsacji Ω_1 , fig. 7 charakterystykę zależności sygnału o pulsacji Ω_2 po detekcji fazoczułej od zmian kąta przesunięcia fazowego Φ wokół wartości Φ równej zeru, fig. 8 schemat blokowy układu do automatycznej regulacji kąta przesunięcia fazowego sygnałów nośnej i podnośnej na wartość odpowiadającą maksymalnej wartości sygnału o pulsacji Ω_1 oraz fig. 9 charakterystykę ferrytowego przesuwnika fazy tzn. krzywą zależności kąta przesunięcia fazowego sygnału mikrofalowego od wartości prądu stałego płynącego przez uzwojenie elektromagnesu.

W układach z falą podnośną do detektora mikrofalowego doprowadzane są dwa sygnały pochodzące z kanału nośnej E_n i kanału podnośnej E_{pn} . Wykres wektorowy sygnałów fali ciągłej na wejściu detektora podano na rysunku fig. 1. Wektory E_n i E_{pn} przesunięte są względem siebie o kąt Φ uzależniony od kątów przesunięć fazowych wprowadzanych przez każdy kanał. Wartość wektora sumy obu sygnałów E wyraża zależność:

$$E = \sqrt{E_n^2 + E_{pn}^2 - 2E_n E_{pn} \cos \beta}$$

gdzie: $\beta = 180^\circ - \Phi$,

$$\cos \gamma = \frac{E_n - E_{pn} \cos \beta}{E}$$

$$\sin \gamma = \frac{E_{pn} \sin \beta}{E}$$

Z zależności (1) i (2) wynika, że wartość E osiąga ekstrema dla wartości kąta przesunięcia fazowego Φ równej zeru lub wielokrotności Π . Dla $\Phi = 0$:

$$E = E_n + E_{pn}. \quad (5)$$

Dla $\Phi = \Pi$:

$$E = E_n - E_{pn}. \quad (6)$$

Jeżeli ciągły sygnał mikrofalowy w kanale podnośnej zostanie kolejno zmodulowany amplitudowo i fazowo sygnałami o pulsacjach równych odpowiednio Ω_1 i Ω_2 wykres wektorowy sygnałów na wejściu detektora przyjmie postać podaną na rysunku fig. 2 względnie dla kąta $\Phi = 0$ postać podaną na rysunku fig. 3. Na wyjściu detektora uzyskuje się między innymi sygnały o pulsacjach

Ω_1 i Ω_2 , których charakterystyki zależności od wartości kąta przesunięcia fazowego Φ między sygnałami mikrofalowymi w kanałach nośnej i podnośnej podano na rysunku fig. 4 i fig. 5. Sygnał o pulsacji Ω_1 przy pewnych założeniach upraszczających określa zależność.

$$E_{\Omega_1} = -E_{pn} [\cos \beta + \sin \beta F_{1(q)}], \quad (7)$$

gdzie $F_{1(q)}$ oznacza złożone wyrażenie matematyczne. Zmianom kąta Φ w granicach 0 do 2π odpowiada zmiana sygnału E_{Ω_1} zgodnie z charakterystyką podaną na rysunku fig. 4. Sygnał E_{Ω_1} osiąga maksima dla wartości kąta Φ równych zero i wielokrotnościom π oraz minima dla wartości kąta Φ równym nieparzystym wielokrotnościom $\frac{\pi}{2}$.

Sygnał o pulsacji Ω_2 będący wynikiem modulacji fazy sygnału mikrofalowego w kanale podnośnej pojawia się na wyjściu diody demodulacyjnej w wyniku zależności amplitudy sygnału mikrofalowego w kanale podnośnej od kąta przesunięcia fazowego sygnałów mikrofalowych w obu kanałach. Modulacja fazy sygnału nie powoduje bowiem jednoczesnej modulacji amplitudy tego sygnału. Sygnał o pulsacji Ω_2 uzależniony jest od nachylenia charakterystyki $E_{\Omega_2} = f(\Phi)$ i jest tym większy im to nachylenie jest większe. Charakterystyka sygnału E_{Ω_2} w funkcji kąta Φ ma przebieg zbliżony do przebiegu charakterystyki $E_{\Omega_1} = f(\Phi)$ lecz o maksimach i minimach przesuniętych na osi Φ o wartości $\frac{\pi}{2}$, jak to podano na rysunku fig. 5.

Dla maksymalnej wartości amplitudy sygnału E_{Ω_1} amplituda sygnału E_{Ω_2} osiąga minimum. Po przejściu przez minimum faza sygnału E_{Ω_2} zmienia się o 180° . Charakterystyki zależności amplitudy i fazy sygnału E_{Ω_2} od wartości kąta Φ dla zmian tego kąta wokół wartości zerowej podano na rysunku fig. 6 i fig. 7. Sygnał o pulsacji Ω_2 przechodzący przez minimum i zmieniający fazę na przeciwną przy przechodzeniu sygnału o pulsacji Ω_1 przez maksimum wykorzystany może być do automatycznej regulacji kąta przesunięcia fazowego sygnałów mikrofalowych w obu kanałach w układzie, którego schemat blokowy podano na rysunku fig. 8. Generator 1 zasilą sygnałem mikrofalowym układ pomiarowy składający się z połączonych równolegle kanałów nośnej i podnośnej. W kanale podnośnej umieszczony jest modulator 2 zasilany sygnałem zmiennym o pulsacji Ω_1 z generatora małej częstotliwości 3.

Sygnał mikrofalowy modulowany amplitudowo przepuszczany jest przez obszar pomiarowy 4 w którym ulega tłumieniu oraz ferrytowy przesuwnik fazy 5. Przesuwnik fazy 5 zasilany jest prądem stałym z zasilacza 13 oraz sygnałem zmiennym o pulsacji Ω_2 z generatora małej częstotliwości 14. W przesuwniku tym sygnał mikrofalowy zmodulowany uprzednio amplitudowo sygnałem o pulsacji Ω_1 zostaje dodatkowo zmodulowany fazowo sygnałem o pulsacji Ω_2 . Na wyjściu detektora 6 otrzymuje się między innymi sygnały o pulsacjach Ω_1 i Ω_2 , z których pierwszy jest miarą tłumienia wprowadzanego do kanału podnośnej w obszarze

pomiarowym, a drugi przesunięcia fazowego między sygnałami mikrofalowymi w kanale nośnej i podnośnej. Oba sygnały wzmocnione przez przedwzmacniacz pasmowy 7 doprowadzone są do wejść wzmacniaczy selektywnych 8 i 10.

Wzmacniacz selektywny 8 wzmacnia sygnał o pulsacji Ω_1 , który po wyprostowaniu wykazywany jest przez miernik wychyłowy 9 i stanowi o wyniku pomiaru tłumienia w obszarze pomiarowym. Wzmacniacz selektywny 10 wyposażony w układ automatycznej regulacji wzocnienia o dynamice dobranej do założonych maksymalnych zmian tłumienia w obszarze pomiarowym, wzmacnia sygnał o pulsacji Ω_2 i poprzez przesuwnik fazowy 11 doprowadza go do wejścia detektora fazoczułego 12. Sygnał odniesienia do detektora fazoczułego 12 pobierany jest z generatora sygnału o pulsacji Ω_2 . Uzależniony fazowo, wyprostowany sygnał wyjściowy detektora fazoczułego 12 doprowadzony jest do zasilacza 13 i steruje przepływem prądu stałego przez uzwojenie ferrytowego przesuwnika fazy 5.

Z charakterystyki ferrytowego przesuwnika fazy podanej na rysunku fig. 9 wynika, że przez odpowiednie zmiany prądu stałego można skompensować zmiany kąta przesunięcia fazowego sygnałów mikrofalowych w obu kanałach. Dobierając przy pomocy przesuwnika fazowego 11 kąt przesunięcia fazowego między obu doprowadzonymi do detektora fazowego sygnałami o pulsacji Ω_2 , dla uzyskania maksymalnej czułości układu detektora, do wartości równej zeru lub wielokrotności π , początkowy prąd w uzwojeniu ferrytowego przesuwnika fazy 5 do wartości odpowiadającej zerowej wartości kąta przesunięcia fazowego między sygnałami mikrofalowymi w obu kanałach oraz znak sygnału wyprostowanego doprowadzanego do zasilacza prądu stałego ferrytowego przesuwnika fazy 13 w taki sposób, by wprowadzane przezeń zmiany przesunięcia fazowego zachodzące w przestrzeni pomiarowej 4 uzyskuje się wielokrotne zmniejszenie zależności wyników pomiaru tłumienia w układzie z falą podnośną od zmian kąta przesunięcia fazowego między sygnałami w obu kanałach.

Opisany sposób i układ do automatycznej kompensacji zmian kąta przesunięcia fazowego między sygnałami mikrofalowymi w kanałach nośnej i podnośnej może być stosowany w urządzeniach lub układach pomiarowych do badania elementów, podzespołów lub zespołów składowych układów mikrofalowych, poszczególnych przyrządów mikrofalowych lub właściwości ciał stałych, ciekłych lub gazowych w polu mikrofalowym. Wynikiem stosowania sposobu i układu stanowiącego przedmiot wynalazku będzie wielokrotne zmniejszenie zależności wyników pomiaru od zmian kąta przesunięcia fazowego między sygnałami mikrofalowymi w obu kanałach czyli praktyczne niezależnienie tychże wyników od charakterystyk fazowych badanych elementów lub materiałów. Istotne korzyści może dać zastosowanie opisanego sposobu i układu w urządzeniach do ciągłej kontroli przebiegu procesów technologicznych w zakładach przemysłowych, szczególnie w przypadku

urządzeń współpracujących z systemami automatyki przemysłowej.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób automatycznej regulacji kąta przesunięcia fazowego między sygnałami mikrofalowymi w kanałach nośnej i podnośnej, w którym zmiany kąta przesunięcia fazowego między obu sygnałami mikrofalowymi kompensowane są takimi samymi lecz przeciwnie skierowanymi zmianami kąta przesunięcia fazowego wprowadzanymi do kanału podnośnej, **znamienny tym**, że sygnał sterujący zmianami kąta przesunięcia fazowego wprowadzanymi do kanału podnośnej uzyskuje się przez dodatkową modulację fazy modulowanego amplitudowo pomiarowego sygnału mikrofalowego.

2. Sposób według zastrz. 1 **znamienny tym**, że modulację amplitudy i fazy pomiarowego sygnału mikrofalowego dokonuje się w kanale podnośnej.

3. Sposób według zastrz. 1 i 2 **znamienny tym**, że sygnały modulujące amplitudowo i fazowo syg-

nał mikrofalowy w kanale podnośnej różnią się od siebie w sposób umożliwiający ich rozdzielenie na wyjściu układu detektora mikrofalowego.

4. Układ do stosowania sposobu według zastrz. 1 i 3 w mikrofalowych układach pomiarowych, **znamienny tym**, że zawiera generator mikrofalowy (1), którego wyjście z jednej strony, jest połączone poprzez detektor mikrofalowy (6), przedwzmacniacz pasmowy (7), wzmacniacz selektywny (8) z detektorem i miernikiem wychyłowym (9) a z drugiej strony, jest połączone poprzez modulator (2), obszar pomiarowy (4) i przesuwnik fazy (5) z wejściem detektora (6), a przesuwnik fazy (5) jest zasilany z generatora (14) i zasilacza (13) połączonego poprzez detektor fazo-czuły (12), przesuwnik (11) i wzmacniacz selektywny (10) z wyjściem przedwzmacniacza pasmowego (7).

5. Układ według zastrz. 4 **znamienny tym**, że modulator (2) zasilany jest z generatora (3).

6. Układ według zastrz. 4 i 5 **znamienny tym**, że generator (14) jest połączony z detektorem fazo-czułym (12).

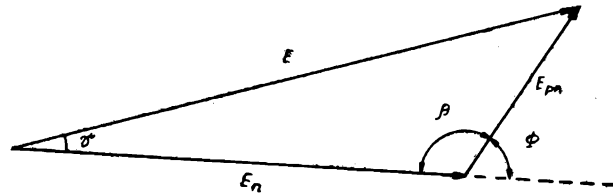


Fig. 1

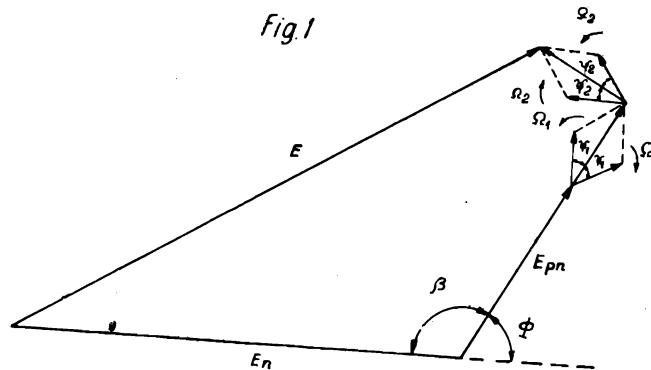


Fig. 2

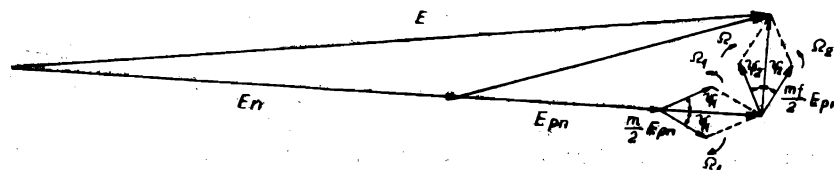


Fig. 3

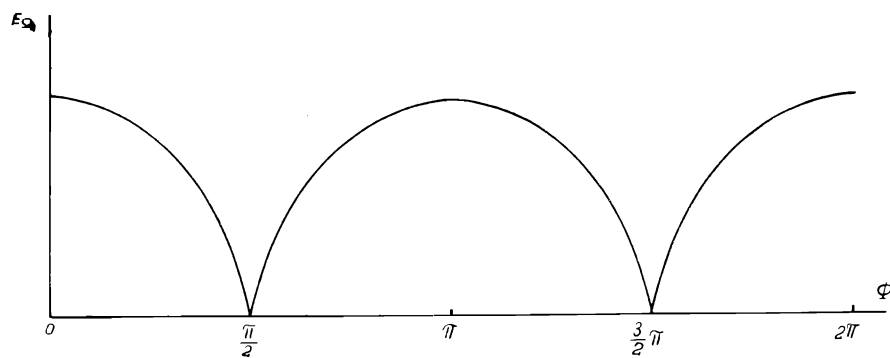


Fig.4

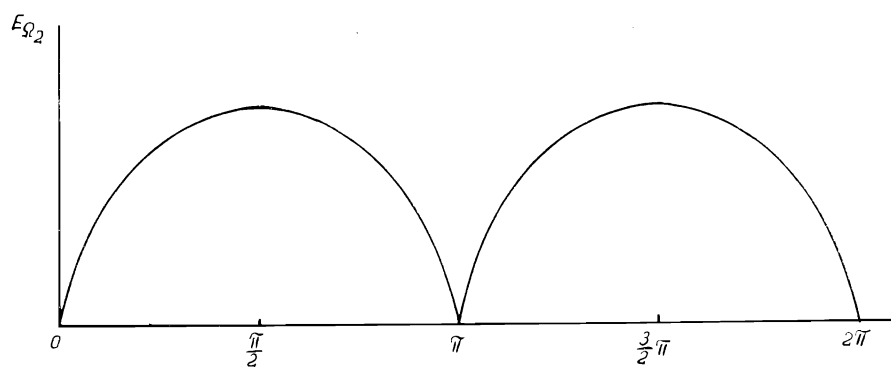


Fig.5

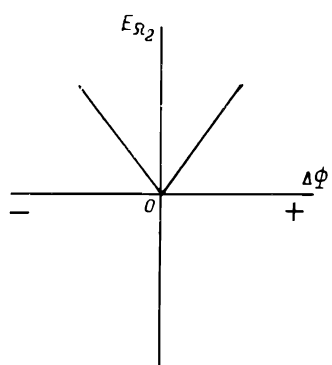


Fig.6

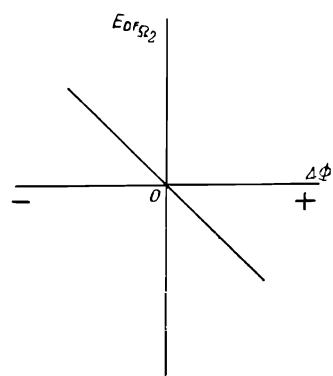


Fig.7

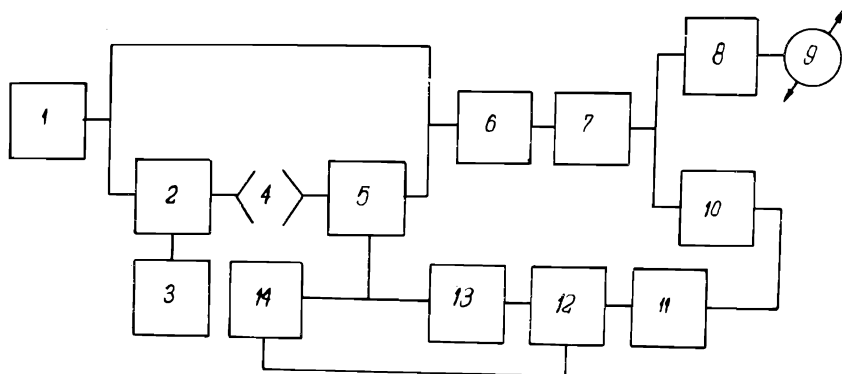


Fig. 8

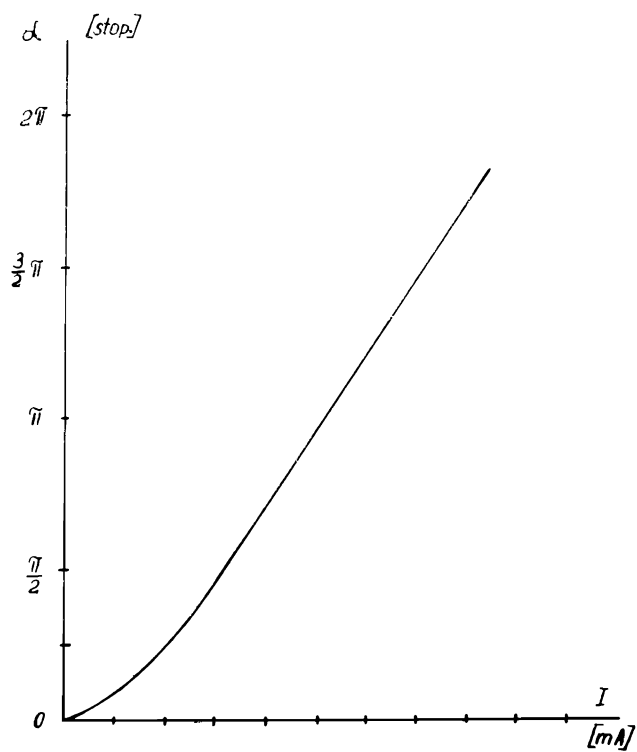


Fig. 9