

Czesław GRACZYK, Janusz MĘDRYCH,
Włodzimierz OGULEWICZ

PROBLEMY MODYFIKACJI UKŁADÓW POMIAROWYCH
CZĘSTOTLIWOŚCIOWO-FERRODYNAMICZNYCH
STOSOWANYCH W ZDALNYM PRZEKAZYWANIU INFORMACJI

Streszczenie. Opracowano nowe rozwiązania i przebadano zmodyfikowane wersje układów pomiarowych częstotliwościowo-ferrodynamicznych. Uzyskano znaczną poprawę dokładności systemu przekazywania informacji pomiarowych.

Wprowadzenie

Nowoczesne układy automatyki urządzeń technologicznych wymagają dużych ilości informacji i szybkości ich przekazywania oraz wysokiej dokładności. Przez przetwarzanie mierzonych wielkości nieelektrycznych na sygnał elektryczny zapewnia się spełnienie powyższych wymagań oraz umożliwia przesłanie informacji na znaczne odległości. Celem zminimalizowania zniekształceń powstających podczas wielokrotnego przetwarzania sygnału oraz wywołanych zakłóceniami stosuje się dyskretyzację i kodowanie.

W układach telemetrycznych wykorzystuje się najczęściej następujące metody kodowania:

- kodowanie częstotliwościowe sygnału,
- kod BCD (binarny - decimal code),
- kod ISO-7,
- kod UASCII.

Jedną z realizacji kodowania częstotliwościowego jest modulacja częstotliwości impulsów. Przebiegowi w czasie wielkości fizycznej przypisuje się sygnał elektryczny o częstotliwości będącej monotoniczną funkcją wartości tej wielkości. Metoda ta z uwagi na małą wrażliwość na zakłócenie jest stosowana w systemie pomiarowym Wydziału Wielkich Pieców Huty "Katowice". Do komputerowego sterowania procesem technologicznym prowadzonym na Wydziale Wielkich Pieców Huty "Katowice" konieczny jest pomiar następujących wielkości:

- temperatur,
- różnic ciśnień,

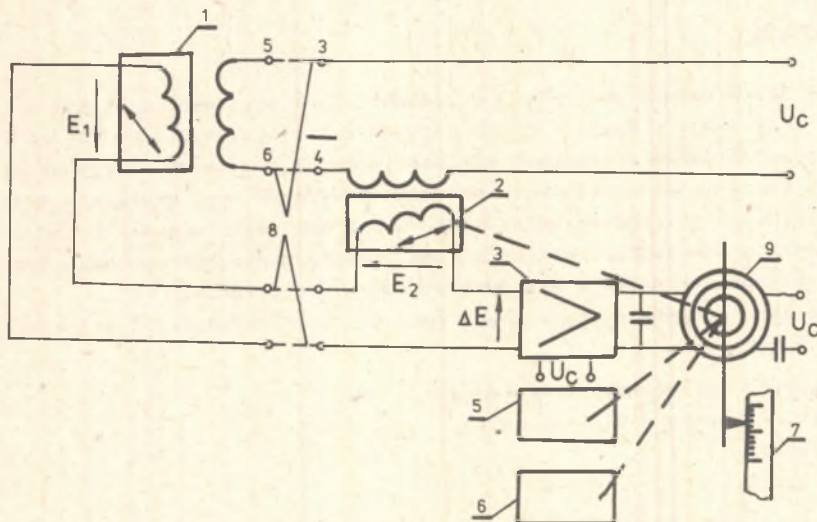
- strumienia płynów,
- położzeń i przemieszczeń.

Ze względu na zastosowany układ centralnego sterowania i przetwarzania danych, dużą liczbę punktów pomiarowych oraz ich znaczne oddalenia zastosowano przyrządy pomiarowe o sygnale telemetrycznym z modulacją częstotliwości. Są to przyrządy należące do "częstotliwościowo-ferrodynamicznego systemu aparatury pomiarowej" produkcji radzieckiej.

Wielkości mierzone w tym systemie są przez czujniki przetwarzane w napięcie prądu przemiennego o częstotliwości sieci zasilającej. Jest to sygnał wejściowy przyrządów wtórnych (wskazujących i rejestrujących). Przyrządy wtórne zawierają ponadto przetworniki wyjściowe generujące sygnały telemetryczne. Poniżej opisano reprezentatywne dla całego systemu przyrządy do pomiaru różnicy ciśnień i temperatury.

Zestaw do pomiaru różnicy ciśnień składa się z manometru różnicowego DM oraz przyrządu wtórnego rejestrującego WFS.

Schemat ideowy przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Zestaw do pomiaru różnicy ciśnień

Manometr różnicowy zamienia różnicę ciśnień na przemieszczenie membrany płaskiej lub falistej sztywno połączonej z czujnikiem indukcyjnościowym, powodując zmianę indukcyjności wzajemnej jego uzwojeń 1. Siła elektromotoryczna E_1 jest monotoniczną funkcją przemieszczenia membrany, SEM E_2 generowana jest w przetworniku kompensacyjnym 2.

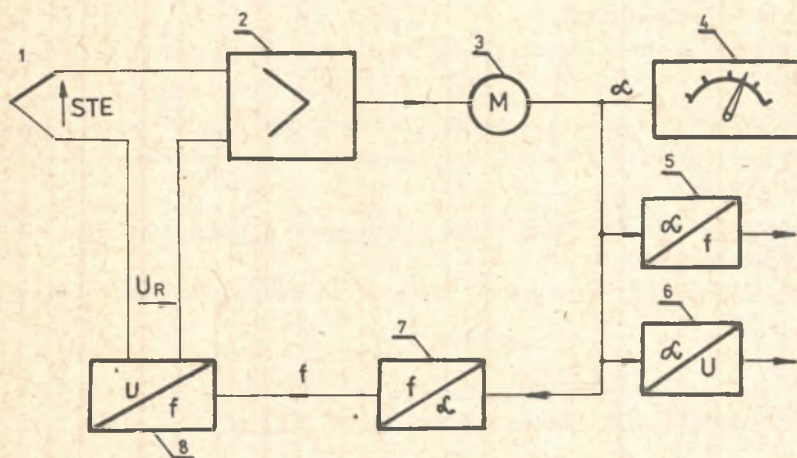
Różnica $E_1 - E_2$ podawana jest na wejście wzmacniacza błędów 3. Ujemne sprzężenie zwrotne, realizowane poprzez silnik wykonawczy 9 oraz mechanizm przekładni, zmienia położenie uzwojeń przetwornika 2 do uzyskania równości SEM E_1 i E_2 .

Wymagane zależności między wskazaniem 7 i wartościami sygnałów przetworników wyjściowych 5 i 6 a sygnałem wejściowym są uzyskiwane przez dobór krzywek mechanizmu wykonawczego.

Dokładność wskazań jest zależna głównie od identyczności charakterystyk przetworników 1 i 2. Przyrządy wtórne mogą być wyposażone w następujące przetworniki wyjściowe:

- PP - pneumatyczny, wytwarzający sygnał ciśnienia 0,02-0,1 MPa,
 PF - ferrodynamiczny, wytwarzający sygnał prądu przemiennego 50 Hz o modulowanej amplitudzie 0-2 V lub 1-0-1 V,
 PG - częstotliwościowy, wytwarzający sygnał o modulowanej częstotliwości 2-4 kHz lub 4-8 kHz.

Pomiar temperatury realizowany jest za pomocą termopar i elektronicznych kompensatorów PPF. Budowę kompensatora przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Kompensator do pomiaru temperatury

Wzmacniacz 2 jest wzmacniaczem napięcia stałego z przetwarzaniem, wykonanym w technice półprzewodnikowej. Na uwagę zasługuje sposób formowania napięcia kompensującego U_k .

Przetwornik 7 generuje sygnał częstotliwościowy o częstotliwości zależnej od kąta położenia wskazówki 4. Sygnał częstotliwościowy jest zamieniony w napięcie stałe w przetworniku f/U 8. Stąd dokładność wskazań zależy wyłącznie od własności metrologicznych przetworników 7 i 8. Automatyczny kompensator jest wyposażony w przetworniki wyjściowe 5 i 6 typu PP, PG, PF.

Gwarantowane przez producenta klasy dokładności wg GOST 13600-68 wynoszą:

dla przyrządu wtórnego WFS
 wskazanie 0,6

zapis	1,0
dla kompensatora PPF	
wskazanie	1,0
dla wyjściowego przetwornika typu PG	0,6

W wyniku analizy przeprowadzonych badań w warunkach laboratoryjnych i przemysłowych stwierdzono, co następuje:

1. Parametry metrologiczne określone dla zestawu manometr różnicowy DM + przyrząd wtórny WFS odnośnie do wskazań i rejestracji utrzymują się w granicach podanych przez producenta. Maksymalny błąd wskazań nie przekracza 2% po okresie użytkowania ok. 1 roku.

2. Wyjściowy sygnał przetwornika PG jest obciążony znacznym błędem systematycznym. Maksymalna wartość błędu systematycznego przekracza 6% zakresu zmian częstotliwości.

3. Kompensator PPF na podstawie przeprowadzonych badań należy zaliczyć do klasy 4,0.

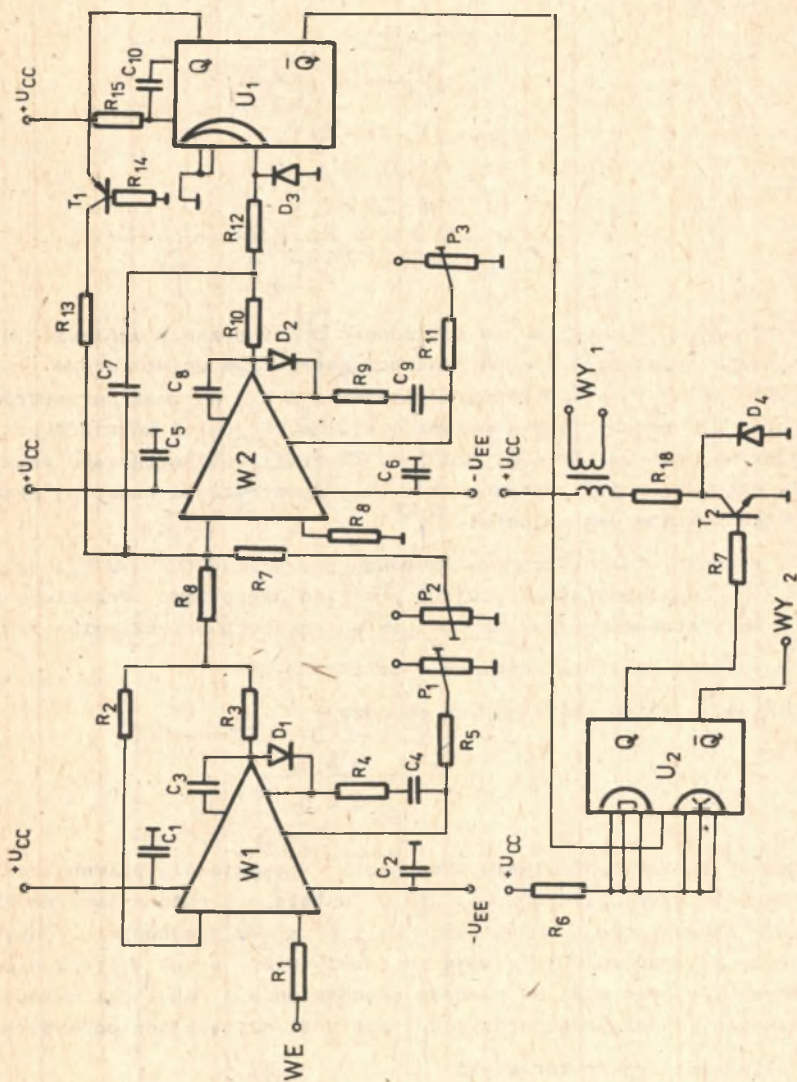
W celu przywrócenia znamionowych własności metrologicznych opisanych przyrządów pomiarowych opracowano i przebadano nowe rozwiązania następujących podzespołów:

- przetwornika o sygnale wyjściowym modulowanym częstotliwościowo w miejscu dotychczasowego PG,
- przetwornika f/U znajdującego się w pętli sprzężenia zwrotnego kompensatora PPG.

Opracowanie nowego rozwiązania przetwornika $U(f)\alpha(f)$

Proponowane rozwiązanie przetwornika $U(f)\alpha(f)$ charakteryzuje się dobrymi własnościami metrologicznymi (spełnione są wymagania dotyczące klasy dokładności przetwornika) oraz wygodną regulacją jego parametrów.

Przetwornik ten może zastąpić dotychczas stosowany przetwornik PG oraz służyć jako człon dopasowujący włączony na wyjście przyrządów pomiarowych o sygnale wyjściowym prądowym. Składa się on alternatywnie z przetwornika $/U$ lub $I(U)$ oraz przetwornika U/f . Przetwornikiem α/U jest potencjometr nadawczy, np. SP 2,2-1 Okom-A-2W oś 16P3 lub innego typu (np. odpowiedniej klasy stosowany w kompensatorach automatycznych ... itp.). Przetwornikiem I/U jest odpowiednio dobrany bocznik rezystancyjny. Przetwornik potencjometryczny przetwarza położenie katowe osi wejściowej w napięcie proporcjonalne do podziału rezystancji. Przetwornik U/f , przedstawiony na rys. 3, posiada dużą rezystancję wejściową dzięki zastosowaniu wtórnika napięciowego. Nie następuje wówczas obciążenie potencjometru nadawczego. Wtórnik napięciowy zbudowano na wzmacniaczu operacyjnym W1 (SFC2709M). Napięcie z wtórnika całkowane jest w integratorze (wzmacniacz



Rys. 3. Proponowane rozwiązanie przetwornika U/f

W2, jw.) aż do wartości napięcia przełączania wejścia Schmitta uniwiibratora scalonego U1 (UCY74121). Uniwiibrator generuje impuls rozładowujący o określonych wartościach napięcia U_U i czasu trwania T_U , a zatem o stałej wartości ładunku Q_U .

Jeden cykl ładowania i rozładowania integratora można opisać równaniem równości ładunków:

$$U_{we} \frac{T}{R_8 C_7} = U_U \frac{T_U}{R_{13} C_7} \quad (1)$$

skąd

$$f = \frac{1}{T} = U_{we} \frac{1}{U_U T_U} \frac{R_{13}}{R_8} \quad (2)$$

Z równania (2) wynika, że dokładność przetwarzania napięcia U na częstotliwość zależy głównie od stałości parametrów uniwiibratora (U_U , T_U), dla UCY 74121 $T_U = +0,0065\%/K$, rezystancji R_2 , R_1 oraz parametrów tranzystora T_1 pracującego w układzie klucza. Sygnał z uniwiibratora podawany jest na przerzutnik JK, dzielący częstotliwość przebiegu przez 2. Dzielenie częstotliwości zastosowano w celu symetryzacji czasowej przebiegu.

Układ posiada dwa wyjścia:

WY1 - poprzez wzmacniacz mocy zbudowany na tranzystor T2 i transformator impulsowy symetryzujący przebieg napięciowo. Przebieg wyjściowy dostosowany jest do wymogów dotyczących przetwornika PG.

WY2 - wyjście częstotliwościowe w poziomach TTL.

Wartości napięć zasilających wynoszą:

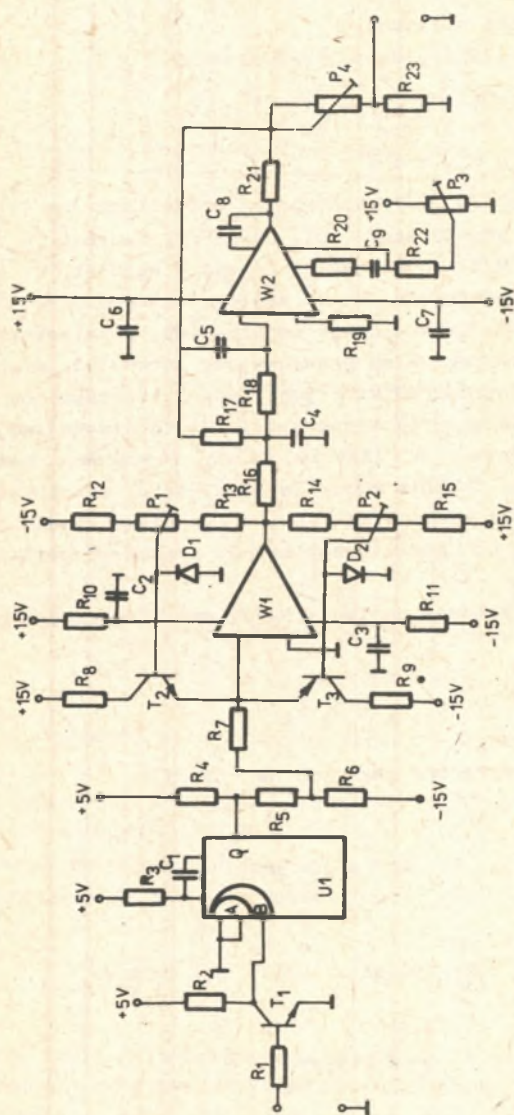
$$+ U_{CC} = + 5V$$

$$- U_{EE} = - 5V$$

Napięcie niezrównoważenia wzmacniaczy koryguje się potencjometrem P1, P3. Wartość częstotliwości dla $\alpha = 0$ ustala się potencjometrem P2. Diody D1, D2 zabezpieczają wzmacniacze W1 i W2 przed nasyceniem, rezystor R_{12} i dioda D_3 zabezpieczają wejście uniwiibratora przed wystąpieniem napięć ujemnych (co jest możliwe podczas uruchamiania i regulacji układu).

Wykonany model przetwornika U/f posiadał następujące parametry:

- nieliniowość charakterystyki 0,3%
- rozdzielczość 0,1%
- błąd temperatury 0,01%/K
- polaryzacja napięcia wejściowego ujemna
- zasilanie + U_{CC} + 5 V - 80 mA
- U_{EE} - 5 V - 20 mA



Rys. 4. Ulepszona wersja przetwornika f/u

Opracowanie rozwiązania przetwornika f/U (PCZN)

Przetwornik f/U wg ulepszonej wersji składa się z:

- uniwibratora,
- precyzyjnego granicznika poziomów,
- układu uśredniającego (filtru dolnoprzepustowego).

Realizację układu przedstawiono na rys. 4.

D z i a ł a n i e u k ł a d u

Sygnal z przetwornika PG formowany przez wzmacniacz na tranzystorze T_1 powoduje wyzwalenie uniwibratora U_1 . Jeśli przetwornik PG zastąpiony zostanie przetwornikiem U/f - może być to sygnał z wyjścia TTL podany bezpośrednio na wejście uniwibratora. Układ scalony U_1 typu UCY74121 posiada dużą stałość czasu trwania generowanego impulsu (np. przetwornik U/f). Wyjście Q uniwibratora poprzez układ przesuwający potencjał steruje komparatorem z precyzyjnym ogranicznikiem amplitudy zbudowanym na wzmacniaczu operacyjnym W_1 (bez elementów kompensacji częstotliwościowej). Sygnal z komparatora jest uśredniony w filtrze dolnoprzepustowym zawierającym wzmacniacz operacyjny W_2 . Średnie napięcie na wyjściu uniwibratora jest proporcjonalne do częstotliwości przebiegu, o ile czas trwania impulsu uniwibratora jest krótszy od najkrótszego okresu przebiegu wejściowego. T_u wybrano równe $70 \mu s$.

Aby dla $f = 4000 \text{ Hz}$ średnie napięcie wyjściowe komparatora było równe $0V$, musi zachodzić:

$$U_1 t_1 + U_2 t_2 = 0$$

(przebieg na wyjściu komparatora pokazano na rys. 5).

Wobec:

$$t_1 = T = 70 \mu s$$

i

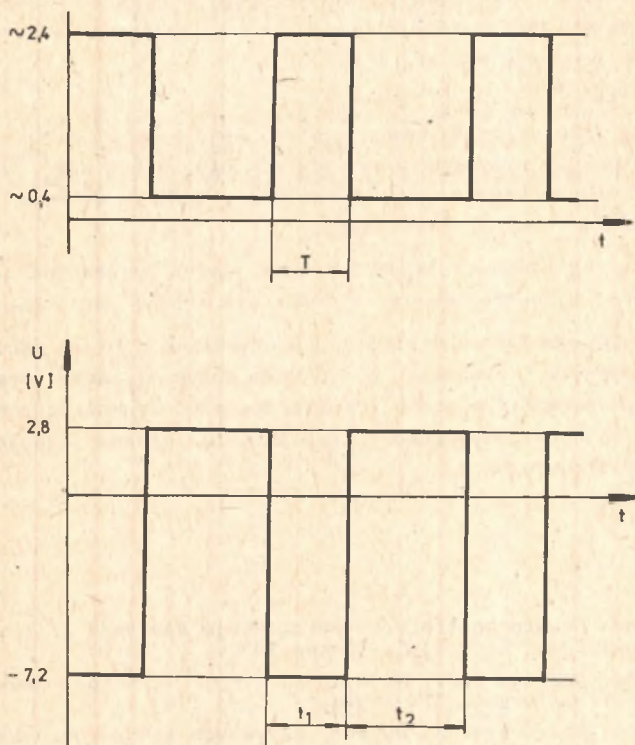
$$t_1 = t_2 = 250 \mu s \quad \text{dla} \quad f = 4000 \text{ Hz}$$

przyjęto

$$U_1 = -7,2 \text{ V}$$

$$U_2 = 2,8 \text{ V.}$$

Dokładna regulacja tych napięć możliwa jest dzięki potencjometrowi P_1 i P_2 . Jeśli f_{we} jest większe od 4000 Hz , wówczas napięcie średnie z komparatora różni się od zera. Uśrednienie następuje w filtrze dolnoprze-



Rys. 5. Przebieg na wyjściu komparatora przetwornika f/U

stowym o częstotliwości granicznej (-3dB) 40 Hz. Tłumienie przebiegu przemiennego o częstotliwości 4000 Hz wynosi $k = 140\text{ dB}$, co daje wartość amplitudy składowej zmiennej napięcia wyjściowego filtra ok. $0,7\text{ }\mu\text{V}$. Liniowość układu jest lepsza od $0,2\%$. Rozdzielczość jest lepsza od $0,1\%$.

Uwagi końcowe

- Przyrządy systemu ferrodynamicznego stosowane na Wydziale Wielkich Pieców Huty Katowice w wyniku przeprowadzonych badań nie wykazują dostatecznej dokładności wskazań.
- Zaproponowana modyfikacja systemu polega na zastąpieniu pewnych podzespołów innymi rozwiązaniami.
- Sposób modyfikacji systemu pomiarowego oparto na poprawie dokładności elementów posiadających istotny wpływ na dokładność systemu.

- Przedstawione konstrukcje cechuje wysoka dokładność, stałość parametrów oraz łatwość obsługi. Przez zastosowanie podanych przetworników przewiduje się dochowanie dokładności w granicach następujących klas:

- dla przyrządu wtórnego WFS ok. 0,6-1,
- dla kompensatora PPF ok. 0,6-1.

Dane te dotyczą częstotliwościowego sygnału wyjściowego. Dokładność wskazań i rejestracji dla przyrządu wtórnego WFS nie zmieni się, natomiast kompensator PPF można będzie zaliczyć do klasy 0,6, co stanowi znaczną poprawę w stosunku do stanu faktycznego.

Wprowadzenie zaproponowanych zmian związane jest z przebudową istniejących układów oraz wyposażeniem ich w dodatkowe źródła zasilania.

- Wprowadzenie tych modyfikacji pozwala na uzyskanie poprawy dokładności systemu przekazywania informacji stosunkowo małym nakładem kosztów. Ze względu na przystosowanie systemu komputerowego do sygnału częstotliwościowego, przejście na inny sposób przekazywania informacji byłoby niewspółmiernie kosztowniejsze.

LITERATURA

- [1] Praca zbiorowa: Czastotno-ferrodinamiczeskaja sistiema priborow kontrola i uprawlenija. "Energija", Moskwa 1970.
- [2] Makowskij W.A., Szewcow E.K., Niemczenko E.F.: Technologiczeskije izmierienija w mietallurgii. "Tiechnika", Kijew 1980.
- [3] Mitra S.K.: Analiza i synteza układów aktywnych liniowych. WNT, Warszawa 1976.
- [4] Kulka Z., Nadachowski M.: Liniowe układy scalone i ich zastosowanie. WKiŁ, Warszawa 1977.
- [5] Pieńkos J., Turczyński J.: Układy scalone TTL serii UCY74 i ich zastosowanie WKiŁ, Warszawa 1976.

Recenzent: Doc. dr inż. Jerzy ROSZKOWSKI

Praca wpłynęła do Redakcji w dniu 11 września 1980 r.

Проблемы модификации измерительных частотно-ферродинамических систем применяемых в дистанционной передаче информации

Резюме

В статье даётся новое решение и проведено исследование модифицированных вариантов частотно-ферродинамических измерительных систем. Получено значительное улучшение точности системы передачи измерительных информации.

Modification problems of frequency-ferrodynamics
measurement systems applied in
the remotely operated transmission of inforamtion

S u m m a r y

The modified types of frequency-ferrodynamics measurement systems were developed, put into practice and inwestigated. A considerable improvement concerning, the accuracy of information transmission system was obtained.