

Stanisław KUBIT

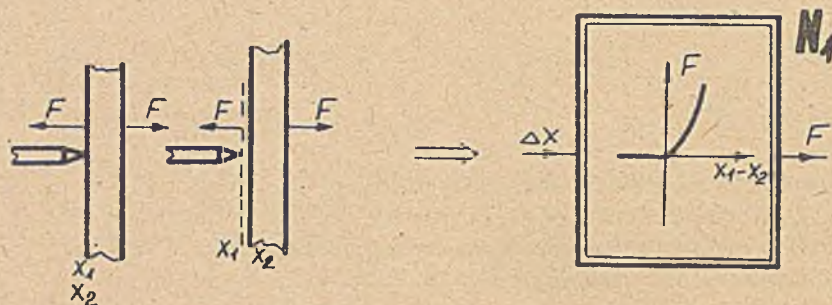
METODA ANALOGOWA BADANIA MOŻLIWOŚCI UTRATY
POŁĄCZENIA WSPÓLPRACUJĄCYCH ELEMENTÓW
W SYSTEMIE DYNAMICZNYM PRZETWORNIKA POMIAROWEGO
PRZY ODDZIAŁYWANIU WIBRACJI PODŁOŻA

Streszczenie. W artykule podano metodę analogową badania możliwości utraty kontaktu w systemie dynamicznym przetwornika pomiarowego. Rozpatruje się przetworniki o wielodźwigniowych systemach dynamicznych pracujące w obecności wibracji podłoża.

Przetworniki pomiarowe ciśnienia i różnicy ciśnień mogą posiadać elektryczny lub pneumatyczny sygnał wyjściowy. Przetworniki o elektrycznym sygnale wyjściowym budowane są w układzie otwartym i zamkniętym (ze sprzężeniem zwrotnym obejmującym system dźwigni). Mimo że tendencje rozwojowe przetworników o elektrycznym sygnale wyjściowym zmierzają raczej do rozwiązań pracujących w układzie otwartym, to jednak przetworniki pracujące w układzie zamkniętym są w dalszym ciągu budowane, rozwijane i stanowią obecnie zasadniczą część aparatury tego typu pracującej w przemyśle. Przetworniki z pneumatycznym sygnałem wyjściowym budowane są wyłącznie w układzie zamkniętym. Układ zamknięty wymaga systemu wielodźwigniowego, który jest z kolei dość podatny na oddziaływanie wibracji podłoża. Jak wykazały odpowiednie badania [1], wibracje występujące w przemyśle mogą mieć bardzo różny charakter. Dość często występują wibracje o charakterze stochastycznym.

Wpływ wibracji na system dynamiczny przetwornika pomiarowego, oprócz różnego typu niekorzystnych efektów, może spowodować również szczególnie niebezpieczną w skutkach utratę połączenia współpracujących elementów dźwigni.

Duże możliwości badania warunków utraty kontaktu elementów rozłącznych w systemach dynamicznych wielodźwigniowych przetworników pomiarowych stwarza modelowanie analogowe. W odróżnieniu od metod analitycznych pozwala ono na pełniejsze uwzględnienie nieliniowości systemu oraz nie zawiera żadnych ograniczeń co do charakteru sygnału wymuszającego. Przedstawiona w pracy [1] oraz w referacie [2] metoda modelowania analogowego, pozwalająca na badania możliwości utraty kontaktu pod wpływem wibracji podłoża, oparta jest na schemacie blokowym połączenia rozłącznego popychacza z dźwignią (rys. 1).



Rys. 1. Schemat połączenia rozłącznego popychacza z dźwignią

Ze względu na wymagane dość duże nachylenie charakterystyki nieliniowej $F(x)$ dla $x > 0$ a także na fakt występowania elementu nieliniowego N_1 w torach eprzeżeń zwrotnych schematu blokowego przetwornika, badania analogowe oparte na tak przyjętym schemacie blokowym połączenia rozłącznego były bardzo uciążliwa i niezbyt dokładne.

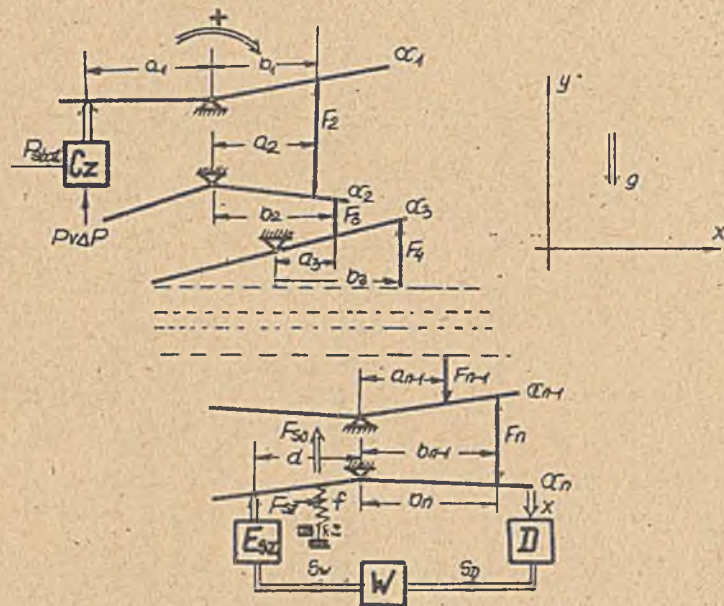
Wprowadzenie elementów nieliniowych typu N_1 jest niezbędne wówczas, gdy należy badać zachowanie się systemu dynamicznego przetwornika, błędów dodatkowych itp. w sytuacjach, gdy utrata połączeń już wystąpiła.

Do analizy możliwości utraty kontaktu można wykorzystywać schemat blokowy bez nieliniowości typu N_1 , gdyż do chwili utraty kontaktu połączenia rozłączne można traktować jak aktywne połączenia poszczególnych elementów współpracujących. Sposób sporządzania takiego właśnie schematu blokowego dla wielodźwigniowego przetwornika ciśnienia lub różnicy ciśnień (rys. 2) zostanie przedstawiony w niniejszym artykule.

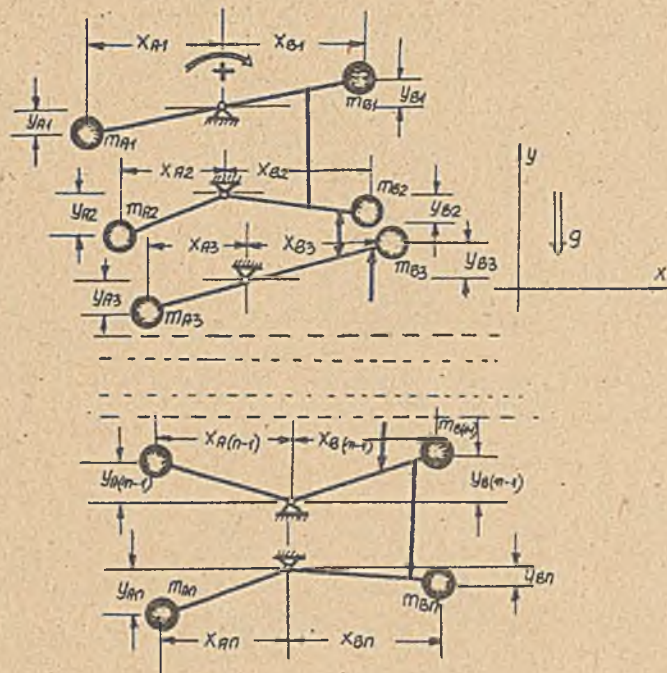
Przyjmijmy, że masy poszczególnych dźwigni reprezentowane są przez masy skupione m_{A1} oraz m_{B1} działające na ramionach odpowiednio x_{A1} , y_{A1} oraz x_{B1} i y_{B1} względem osi w kartezjańskim układzie współrzędnych. Dla uproszczenia przyjęto, że kierunek osi y jest zgodny z kierunkiem działania przyspieszenia grawitacyjnego g . Rozmieszczenie mas ramion poszczególnych dźwigni przedstawiono na rysunku 3.

Przyjęto, że na system dynamiczny oddziałują liniowe stochastyczne wibracje podłoża o zupełnie dowolnym rozkładzie gęstości prawdopodobieństwa (mogą być również wibracje o charakterze deterministycznym) działające wzdłuż osi x oraz osi y , przy czym znane są zależności $a_x(t)$ oraz $a_y(t)$ (przyspieszenia wibracji).

Przyjęto również, że system dynamiczny pracuje w zakresie małych kątów obrotu poszczególnych dźwigni, co sprawia, że odległości popychaczy od osi obrotu dźwigni a_1 oraz b_1 są stałe. Uproszczony bilans momentów liczony względem osi obrotu n -tej dźwigni przyjmie następującą postać:



Rys. 2. Schemat ideowy wielodźwigniowego przetwornika ciśnienia lub różnicy ciśnień



Rys. 3. Schemat rozmieszczenia zastępczych mas ramion poszczególnych dźwigni

$$\begin{aligned}
 & a_y(t) \cdot M_{zxn} + a_x(t) \cdot M_{zyn} + (Pv\Delta P) S_{ef} \cdot r_{zn} + \\
 & + P_{stat} \cdot S_{ef} P_{stat} \cdot \mu_{Pstat} \cdot r_{zn} + M_{zxn} \cdot g + F_{ao} \cdot f = \\
 & = J_{zn} \cdot \frac{d^2 \alpha_n}{dt^2} + R_{zn} \cdot \frac{d\alpha_n}{dt} + \frac{1}{C_{zn}} \cdot \alpha_n + M_{zTn} + M_{ogr} \quad (1)
 \end{aligned}$$

przy czym:

M_{zxn} - następczy moment statyczny systemu dynamicznego liczony względem osi y

$$\begin{aligned}
 M_{zxn} &= \frac{\prod_{K=2}^n a_K}{\prod_{K=1}^{n-1} b_K} \left[\mu_{xA1} \cdot m_{A1} \cdot x_{A1} + \mu_{xB1} \cdot m_{B1} \cdot x_{B1} \right] + \\
 &+ \frac{\prod_{K=3}^n a_K}{\prod_{K=2}^{n-1} b_K} \left[\mu_{xA2} \cdot m_{A2} \cdot x_{A2} + \mu_{xB2} \cdot m_{B2} \cdot x_{B2} \right] + \dots \\
 &\dots + \frac{a_n}{b_{n-1}} \left[\mu_{xA(n-1)} \cdot m_{A(n-1)} \cdot x_{A(n-1)} + \mu_{xB(n-1)} \cdot m_{B(n-1)} \cdot \right. \\
 &\left. \cdot x_{B(n-1)} \right] + \mu_{xA_n} \cdot m_{A_n} \cdot x_{A_n} + \mu_{xB_n} \cdot m_{B_n} \cdot x_{B_n} \quad (2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{zyn} &= \frac{\prod_{K=2}^n a_K}{\prod_{K=1}^{n-1} b_K} \left[\mu_{yA1} \cdot m_{A1} \cdot y_{A1} + \mu_{yB1} \cdot m_{B1} \cdot y_{B1} \right] + \\
 &+ \frac{\prod_{K=3}^n a_K}{\prod_{K=2}^{n-1} b_K} \left[\mu_{yA2} \cdot m_{A2} \cdot y_{A2} + \mu_{yB2} \cdot m_{B2} \cdot y_{B2} \right] + \dots
 \end{aligned}$$

$$\dots + \frac{a_n}{b_{n-1}} \left[\mu_{yA(n-1)} m_{A(n-1)} Y_{A(n-1)} + \mu_{yB(n-1)} m_{B(n-1)} Y_{B(n-1)} \right] +$$

$$+ \left[\mu_{yAn} m_{An} Y_{An} + \mu_{yBn} m_{Bn} Y_{Bn} \right] \quad (3)$$

$\mu_{xA1}; \mu_{yA1}; \mu_{xB1}; \mu_{yB1} = +1$, gdy chwilowa wartość przyspieszenia wibracji wywołuje ruch systemu w kierunku dodatnim,

$\mu_{xA1}; \mu_{yA1}; \mu_{xB1}; \mu_{yB1} = -1$, gdy chwilowa wartość przyspieszenia wibracji wywołuje ruch układu w kierunku ujemnym,

r_{zn} - zastępcze ramię działania siły od P_{stat} , P lub ΔP ,

P_{stat} - ciśnienie statyczne,

$P \Delta P$ - ciśnienie lub różnica ciśnień na wejściu przetwornika

$$r_{zn} = \frac{\prod_{K=1}^n a_K}{\prod_{K=1}^{n-1} b_K} \quad (4)$$

J_{zn} - zastępczy moment bezwładności układu

$$J_{zn} = \frac{\prod_{K=2}^n (a_K)^2}{\prod_{K=1}^{n-1} (b_K)^2} J_1 + \frac{\prod_{K=3}^n (a_K)^2}{\prod_{K=2}^{n-1} (b_K)^2} + \dots + \frac{(a_n)^2}{(b_{n-1})^2} J_{n-1} + J_n \quad (5)$$

R_{zn} - zastępczy współczynnik tarcia lepkiego

$$R_{zn} = \frac{\prod_{K=2}^n (a_K)^2}{\prod_{K=1}^{n-1} (b_K)^2} R_1 + \frac{\prod_{K=3}^n (a_K)^2}{\prod_{K=2}^{n-1} (b_K)^2} R_2 + \dots + \frac{(a_n)^2}{(b_{n-1})^2} R_{n-1} + R_n \dots \quad (6)$$

C_{zn} - zastępcza podatność układu

$$\frac{1}{C_{zn}} = \frac{\prod_{K=2}^n (a_K)^2}{\prod_{K=1}^{n-1} (b_K)^2} \cdot \frac{1}{C_1} + \frac{\prod_{K=3}^n (a_K)^2}{\prod_{K=2}^{n-1} (b_K)^2} \cdot \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{(a_n)^2}{(b_{n-1})^2} \cdot \frac{1}{C_{n-1}} + \frac{1}{C_n} \quad (7)$$

We wzorach (5), (6), (7) J_i, R_i, C_i , gdzie $i = 1, 2, \dots, n$ oznaczają bezwładności, współczynniki tarcia lepkiego oraz podatności poszczególnych dźwigni systemu,

M_{zTn} - zastępczy moment tarcia suchego

$$M_{zTn} = \frac{\prod_{K=2}^n a_K}{\prod_{K=1}^{n-1} b_K} \cdot M_{T1} + \frac{\prod_{K=3}^n a_K}{\prod_{K=2}^{n-1} b_K} M_{T2} + \dots + \frac{a_n}{b_{n-1}} M_{T(n-1)} + M_{Tn} \quad (8)$$

M_{Ti} , gdzie $i = 1, 2, \dots, n$ - moment tarcia suchego dla poszczególnych dźwigni systemu dynamicznego,

M_{ogrzn} - zastępczy moment wynikający z oddziaływania ograniczników wychylenia poszczególnych dźwigni na te dźwignie.



Rys. 4. Zależność momentu pochodzącego od ograniczników od wychylenia dźwigni

Przyjmując charakterystykę $M_{ogr1} = f(\alpha_1)$ jak na rys. 4, charakterystyka $M_{ogrzn} = f(\alpha_n)$ będzie miała postać jak na rysunkach 5a lub po przekształceniu (zaumowaniu) 5b, przy czym

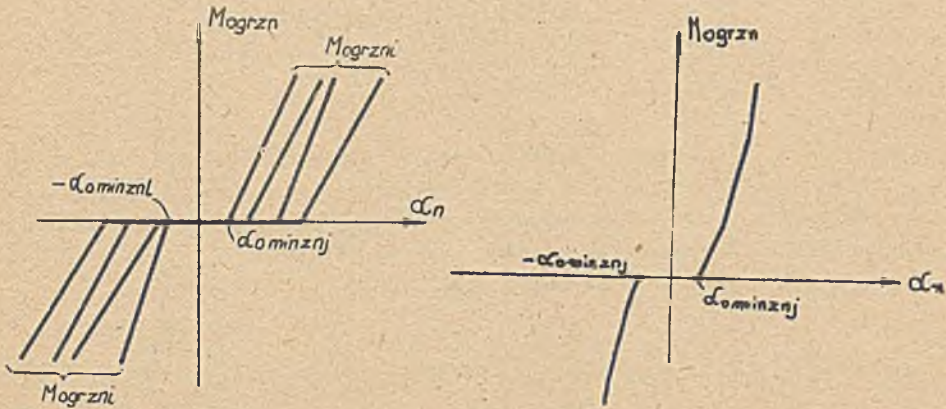
$$+\alpha_{ominznj} = \min(+\alpha_{ozni}) \quad (9)$$

$$-\alpha_{ominzn1} = \min(-\alpha_{ozni}) \quad (10)$$

oraz

$$+\alpha_{ozni} = \frac{\prod_{K=1}^n a_K}{\prod_{K=1}^{n-1} b_K} (+\alpha_{o1}) \quad (11)$$

$$-\alpha_{ozni} = \frac{\prod_{K=1}^n a_K}{\prod_{K=1}^n b_K} (-\alpha_{o1}) \quad (12)$$



Rys. 5. Zastępcze momenty wynikające z oddziaływania ograniczników:
 a) zastępcze momenty poszczególnych dźwigni, b) zastępczy moment całego przetwornika

Nachylenia poszczególnych odcinków składowych momentu M_{ogrzn} można wyznaczyć z zależności:

$$M_{ogrzn}(\alpha_n) = \frac{\prod_{K=1}^n a_K}{\prod_{K=1}^n b_K} M_{ogr\alpha_1}(\alpha_1) \quad (13)$$

S_{ef} oraz $S_{ef P_{stat}}$ - powierzchnie efektywne sygnału wejściowego oraz P_{stat}

$\mu_{P_{stat}} = +1$, gdy moment siły $P_{stat} \cdot S_{ef P_{stat}}$ działa w kierunku dodatnim

$\mu_{P_{stat}} = -1$, gdy moment $P_{stat} \cdot S_{ef P_{stat}}$ działa w kierunku ujemnym.

Równanie (1) pozwala wyznaczyć zależność α_n od sygnałów wymuszających $a_y(t)$ oraz $a_x(t)$. W celu badania możliwości utraty połączenia pomiędzy dźwigniami rys. 1 + 1 oraz 1-tą należy znaleźć zależność $\alpha_i = f(\alpha_n)$. Ze związków trygonometrycznych:

$$\alpha_i = \frac{\prod_{K=1}^{n-1} b_K}{\prod_{K=1+1}^n a_K} \cdot \alpha_n = W_{in} \cdot \alpha_n \quad (14)$$

Zgodnie z [1] utrata połączenia nastąpi wówczas, gdy amplituda składowej zmiennej siły działającej w miejscu połączenia będzie większa lub równa składowej stałej siły w tym miejscu. Znając $\alpha_i = f(\alpha_n)$, wartość składowej zmiennej można wyznaczyć jako sumę wszystkich sił zmiennych działających po jednej stronie badanego połączenia.

$$F_{zi} = \frac{1}{b_i} \left[a_y(t) M_{zxiI} + a_x(t) \cdot M_{zyiI} - J_{zii} \frac{d^2\alpha_i}{dt^2} - R_{zii} \cdot \frac{d\alpha_i}{dt} - \frac{1}{C_{zii}} \alpha_i - M_{TziI} \right] \quad (15)$$

Wartości M_{zxiI} , M_{zyiI} , J_{zii} , R_{zii} , C_{zii} , M_{TziI} można obliczyć podobnie jak M_{zxn} , M_{zyn} , J_{zn} itd., uwzględniając jedynie dźwignie od 1 do i-tej.

Formalnie wzory na powyższe wartości M_{zxiI} , M_{zyiI} , ..., M_{TziI} będą miały taką samą postać jak zależności M_{zxn} , M_{zyn} , ..., M_{ZIn} , z tym że w miejsce indeksu n będzie wstawiony indeks i.

Składowa stała w miejscu połączenia dźwigni i-tej oraz i+1 będzie sumą sił wstępnego nacisku F_{wmi} , sił pochodzących od sztywności poszczególnych dźwigni F_{pi} dla $PV\Delta P \neq 0$ a także sił oddziaływania wielkości mierzonej $PV\Delta P$, P_{stat} oraz sił grawitacyjnych

$$F_{si} = \frac{1}{b_i} \left[(PV\Delta P) S_{ef} \cdot r_{zi} + \mu_{P_{stat}} + P_{stat} \cdot r_{zi} + M_{zxiI} \right] + F_{wmi} + F_{pi} \quad (16)$$

Wartości r_{zi} można wyznaczyć podobnie jak r_{zn} , wstawiając w miejsce indeksu n indeks i.

W celu wyznaczenia F_{wmi} należy system dynamiczny podzielić na m części tak, aby pomiędzy poszczególnymi częściami siły wzajemnego nacisku wstępnego były równe 0 przy $PV \Delta P = 0$. W każdej uzyskanej w ten sposób części siły wstępnego nacisku można wyznaczyć z zależności:

$$F_{wmi} = \mu_{wmp} \cdot M_{wmp} \frac{\prod_{K=p+1}^{i-1} a_K}{\prod_{K=p}^{i-1} b_K} + \mu_{wm(p+1)} \cdot M_{wm(p+1)} \frac{\prod_{K=p+2}^{i-1} a_K}{\prod_{K=p+1}^{i-1} b_K} + \dots + \mu_{wm(i-1)} \cdot M_{wm(i-1)} \cdot \frac{1}{b_{i-1}} \quad (17)$$

M_{wmi} - moment wstępnego nacisku l -tej dźwigni

(gdzie $p \leq l \leq i-1$ oznacza moment nacisku wstępnego l -tej dźwigni m -tej części układu,

$\mu_{wmi} = +1$, gdy moment wstępnego nacisku l -tej dźwigni działa w kierunku dodatnim,

$\mu_{wmi} = -1$, gdy moment wstępnego nacisku l -tej dźwigni działa w kierunku ujemnym,

$$F_{pi} = - \frac{1}{C_{zi}} \cdot \alpha_{oi} \quad (18)$$

gdzie C_{zi} - zastępcza podatność części układu od dźwigni 1 do i -tej liczona formalnie wg wzoru jak dla C_{zn} , po wstawieniu w miejsce indeksu n indeksu i .

Schemat blokowy układu pozwalający na badanie możliwości utraty połączenia pomiędzy dźwigniami i -tą oraz $i+1$ przedstawia rys. 6.

Schemat stanowi blokowe przedstawienie równań (1), (15), (16) z uwzględnieniem warunku utraty połączenia pomiędzy dźwigniami i -tą oraz $i+1$.

Po zadaniu odpowiednich sygnałów wymuszających $a_x(t)$ oraz $a_y(t)$ należy obserwować sygnał F . Utrata kontaktu nastąpi wówczas, gdy sygnał F przyjmie wartość mniejszą lub równą 0.

Pewną trudność w procesie modelowania (ze względu na praktyczną realizację) stanowić będzie konieczność zamodelowania dwu elementów różniczkujących. Elementy te nie występują jednakże w torach sprzężeń zwrotnych, co ogranicza ich ujemny wpływ na proces modelowania.

Element nieliniowy N_4 ilustruje kwadratowa zależność momentu sprężenia zwrotnego od sygnału wyjściowego przetwornika S_w i należy go uwzględnić wówczas, gdy przetwornik posiada charakterystykę pierwiastkującą.

Ze względu na małą wartość w większości przypadków można pominąć w bilansie momentów tarcia suche systemu, co powoduje eliminację ze schematu blokowego elementów nieliniowych typu N_2 .

Badania możliwości utraty połączenia w innym punkcie systemu dynamicznego wymagają jedynie odpowiedniej zmiany współczynników zamodelowanego układu. Wartości tych współczynników należy wyznaczyć analogicznie jak przy badaniu utraty połączenia pomiędzy dźwigniami 1-tą oraz 1-1-szą.

Jak już zaznaczono, przedstawiona metoda pozwala badać możliwości utraty połączenia przy oddziaływaniu dowolnych wibracji pod warunkiem oczywiście dysponowania odpowiednim generatorem sygnału wymuszającego.

LITERATURA

- [1] Kubit S.: Wpływ wibracji podłoża na działanie przetworników pomiarowych ciśnienia i różnicy ciśnień. (Niepublikowana) Gliwice 1973.
- [2] Kubit S., Senkała J.: The analogue investigation off differential pressure to electric current transmitters. Mat. Konf. AICA, Gliwice 1972.

АНАЛОГОВЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПОТЕРИ КОНТАКТА В ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Резюме

В статье дается аналоговый метод исследования возможности потери контакта в динамической системе измерительного преобразователя. Проведено анализ преобразователя с многорычажной динамической системой работающей в условиях вибрации.

THE ANALOG METHOD TO INVESTIGATE THE POSSIBILITY OF CONTACT ABSENCE OF COLLABORATING ELEMENTS IN DYNAMIC SYSTEM OF MEASURING CONVERTER AT THE INTERACTION OF BASE VIBRATION

Summary

In this paper the analog method of investigating the possibility of contact absence in converter dynamic system is described. The converters with multilever dynamic system working in presence of base vibrations are discussed.