

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW
MERA-PIAP

Al. Jerozolimskie 202

02-222 Warszawa

Telefon 23-70-81

442 Ośrodek Automatyki Elektrycznej

Zespół Budowy Robotów i Serwomechanizmów

BE 10

Główny wykonawca mgr inż. Marian Wrzesień

Wykonawcy mgr inż. Stefan Frydliński

Konsultant

Nr zlecenia 5303

Przeprowadzenie uzupełniających badań symulacyjnych na komputerze układu sterowania promieniem laserowym koparką rowów KR-500.

Zleceniodawca CBKMiUD przy Zakładach Naprawczych Taboru Kolejowego "Stargard"

Pracę rozpoczęto dnia

zakończono dnia 85.12.15

Kierownik Zespołu

Z-ca Dyrektora
d/s Automatyki

Kierownik Ośrodka

dr inż. P. Jabłoński

dr inż. I. Gałązka

prof. dr inż. I. Miśsała

Praca zawiera:

Rozdzielnik - ilość egz:

stron 11

Egz. 1 BOINTE

rysunków

Egz. 2 CBKMiUD ZNTK Stargard

fotografii 1

Egz. 3 OAE

tabel 1

Egz. 4 OAK

tablic -

Egz. 5

załączników 3

Egz. 6

Nr rejestr. 5529

Analiza deskryptorowa

URZĄDZENIA AUTOMATYCZNEJ REGULACJI I STEROWANIA. MODELOWANIE MATEMATYCZNE.

Analiza dokumentacyjna

Sprawozdanie zawiera:

- 1/ Opis identyfikacji ramy nośnej koparki KR-500
- 2/ Badania symulacyjne układu regulacji automatycznej koparki.

Tytuły poprzednich sprawozdań

621.375.826.004.14 Szeregi - zastosowanie
621.849.001.5 Koparki - badania

UKD

PIAP-252/03-6000

Spis treści

	Str.
1. Wstęp	2
2. Sposób określenia parametrów dynamicznych ramy nośnej	3
3. Analiza wyników badań przeprowadzonych w ZNTK	4
4. Uzupełnienie modelu matematycznego koparki KR-500	8
5. Program badań symulacyjnych	8
6. Wnioski z badań symulacyjnych	10
7. Wnioski końcowe	10
8. Załączniki	11
9. Literatura.	11

1. Wstęp

Niniejsza praca jest uzupełnieniem prac prowadzonych wg. umowy Nr 109/84 z dnia 84.04.24 pomiędzy PIAP i CBKMiUD przy Zakładach Naprawczych Taboru Kolejowego "Stargard". W sprawozdaniu z ww. pracy /sprawozdanie PIAP nr rej.5417/ wskazano, że celowym jest przeprowadzenie badań uzupełniających - ze zwróceniem uwagi na właściwe określenie wartości niektórych parametrów modelu koparki KR-500, a w tym:

- momentów bezwładności ramy nośnej i podwozia / J_B, J_D /,
- współczynników tłumienia drgań ramy nośnej i podwozia / M_{HB}, M_{HD} /,
- sztywności ramy nośnej i podwozia / K_{UBB}, K_{UGD} /.

Podczas dotychczas wykonywanych badań symulacyjnych, ww. parametry przyjmowano intuicyjnie, przez porównywanie projektowanej koparki KR-500 z innymi ciężkimi maszynami roboczymi - modelowanymi w PIAP /np. zgarniarka TD-25E/. W III i IV kwartale b.r., w CBKMiUD przeprowadzono badania umożliwiające zdjęcie charakterystyki skokowej ramy nośnej koparki PkT-500, której parametry konstrukcyjne mało różnią się od parametrów konstrukcyjnych ramy nośnej projektowanej koparki KR-500. Na podstawie tych badań skorygowano wartości współczynników J_D, M_{HD}, K_{UGD} ramy nośnej koparki KR-500, oszacowanych podczas poprzednich badań symulacyjnych w sposób przybliżony.

Podstawą do przeprowadzenia powyższych zmian były - przesłane do PIAP - oscylogramy charakterystyki skokowej ramy nośnej, oraz wyniki badań statycznych umożliwiających wyznaczenie współczynnika sztywności K_{UGD} .

Do niniejszego sprawozdania załączono program symulacyjny koparki KR-500, umożliwiający zbadanie wpływu parametrów konstrukcyjnych koparki na jakość sterowania układu regulacji.

Do sprawozdania przekazywanego do CBKMiUD przy ZNTK Stargard dołączono ponadto wyniki badań symulacyjnych modelu koparki przy wybranych wartościach parametrów modelu. Badania te nie mają charakteru ogólnego rozwiązania i z tego powodu są przekazane jedynie zleciodawcy niniejszej pracy.

2. Sposób określenia parametrów dynamicznych ramy nośnej

Stany dynamiczne, uwzględniające ruch obrotowy podwozia koparki KR-500, są określone następującą zależnością /sprawozdanie PIAP nr. rej. 5417/:

$$J_D \cdot \frac{d^2 \delta}{dt^2} + M_{HD} \cdot \frac{d\delta}{dt} + K_{UGD} \cdot \delta = N_D \quad (1)$$

Po przeprowadzeniu transformacji Laplace'a i przekształceniu zależności (1) otrzymano transmitancję operatorową analizowanego obiektu w postaci:

$$G(s) = \frac{N(s)}{\delta(s)} = \frac{1}{\frac{J_D}{K_{UGD}} \cdot s^2 + \frac{M_{HD}}{K_{UGD}} \cdot s + 1} \quad (2)$$

Przyrównując powyższą zależność do postaci ogólnej transmitancji operatorowej członu oscylacyjnego [1], [2], [3] opisanego zależnością:

$$G(s) = \frac{k}{T_n^2 \cdot s^2 + 2 \cdot \zeta \cdot T_n \cdot s + 1} \quad (3)$$

otrzymany zależności wiążące poszukiwane parametry dynamiczne z wielkościami dającymi się określić na podstawie charakterystyki skokowej. I tak:

$$J_D = \frac{K_{UGD} \cdot (1 - \zeta^2)}{\omega_w^2} \quad \left[\frac{N \cdot m \cdot s^2}{rad} \right] \quad (4)$$

$$M_{HD} = \frac{2 \cdot \zeta \cdot K_{UGD} \cdot \sqrt{1 - \zeta^2}}{\omega_w} \quad \left[\frac{N \cdot m \cdot s}{rad} \right] \quad (5)$$

gdzie ω_w jest pulsacją drgań wymuszonych po podaniu skoku jednostkowego, przy czym:

$$\omega_w = \omega_n \cdot \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (6)$$

oraz

$$\omega_n = \frac{1}{T_n} \quad (7)$$

Zależności (4) i (5) pozwalają określić parametry dynamiczne J_D i M_{HD} przy założeniu, że wielkości K_{UGD} , ζ , ω_w dają się określić podczas identyfikacji.

3. Analiza wyników badań przeprowadzonych w CBKM i UD

W celu określenia współczynnika K_{UGD} zmierzono ugięcie ramy, po obciążeniu jej masą m . Przy przyjęciu, że przy małych ugięciach kąt δ jest wprostproporcjonalny do ugięcia, otrzymamy:

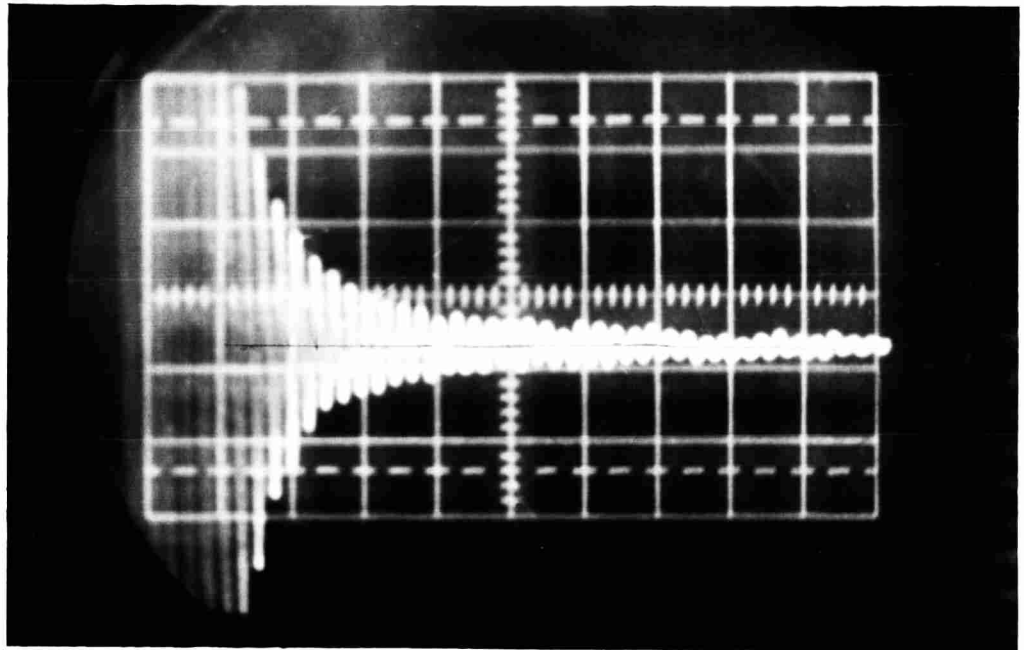
$$K_{UGD} = \frac{m \cdot g \cdot r}{\arctg \frac{\Delta k}{r}} \quad \left[\frac{N \cdot m}{rad} \right] \quad (8)$$

gdzie: g - przyspieszenie ziemskie; $g = 9,806 \frac{m}{s^2}$
 m - obciążenie ramy; $m = 6t$
 r - ramię obrotu ramy; $r = 6,5 m$
 Δk - ugięcie ramy; $\Delta k = 6 \cdot 10^{-3} m$

Wartość liczbowa K_{UGD} jest równa ok. $7,23 \cdot 10^6$.

Wartości wielkości ζ i ω określono na podstawie charakterystyk skokowych. Z oscylogramu wynika /*foto.1/*, że:

$$\omega_w = 2 \cdot \pi \cdot \frac{29}{7} \quad \left[\frac{rad}{s} \right] \quad (9)$$



fot.1. Charakterystyka skokowa ramy. 0,1s/cm

tj. ok. 26,03.

W celu wyznaczenia wartości ζ należało:

- 1/ na podstawie oscylogramu określić wartości obwiedni charakterystyki skokowej dla kolejnych wartości czasu t ,
- 2/ przeprowadzić aproksymację wyżej określonych wartości,
- 3/ wyznaczyć ζ przez porównanie współczynników funkcji aproksymującej ze współczynnikami funkcji opisującej obwiednię drgań gasnących charakterystyki skokowej tj.:

$$\pm k \cdot \left(1 - \frac{e^{-\frac{\omega_w t}{\sqrt{1-\zeta^2}}}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \right) \quad (10)$$

Wartości odczytane z charakterystyki skokowej / $\pm A_i$ / umieszczono w tabeli 1. Drgania gasnące aproksymowano zależnością:

$$y = a \cdot e^{b \cdot t} \quad (11)$$

Przy zastosowaniu metody najmniejszych kwadratów [4] współczynniki a i b funkcji (11) są wyznaczone przy pomocy poniższych zależności:

$$a = \exp \left(\frac{\sum_{i=1}^{11} t_i^2 \sum_{i=1}^{11} \ln A_i - \sum_{i=1}^{11} t_i \cdot \sum_{i=1}^{11} t_i \cdot \ln A_i}{n \cdot \sum_{i=1}^{11} t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{11} t_i \right)^2} \right) \quad (12)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^{11} t_i \cdot \ln A_i - \sum_{i=1}^{11} t_i \cdot \sum_{i=1}^{11} \ln A_i}{n \cdot \sum_{i=1}^{11} t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{11} t_i \right)^2} \quad (13)$$

Wartość współczynnika b przyjęto jako wartość średnią, z obliczonych dla obu obwidni charakterystyki skokowej.

Otrzymano: $\tilde{b} = - 0,811205441$

Współczynnik β wyznaczono poprzez porównanie wykładników obwidni charakterystyki skokowej i funkcji aproksymującej. Daje to zależność:

$$\frac{\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{\tilde{b}}{\omega_w} \quad (14)$$

Po obliczeniu otrzymano: $\beta = 3,11487225 \cdot 10^{-2}$
Z zależności (4) i (5) wyliczono J_D oraz M_{HD} . Otrzymano:
 $J_D \approx 1,066 \cdot 10^4$ oraz $M_{HD} \approx 1,73 \cdot 10^4$.

Otrzymane wartości parametrów K_{UGD} , J_D , M_{HD} zostały wprowadzone do równania (1) stanowiącego element modelu matematycznego koparki KR-500.

Należy zwrócić uwagę, że PIAP nie otrzymał danych dotyczących parametrów dynamicznych ramy koła czerpakowego.

Z tego względu parametry te zostały oszacowane podczas uzupełniających badań symulacyjnych koparki KR-500.

Tabela 1

L.p.	t [xΔt.s]	-A _i	+A _i
1.	0	-3,60	
2	0,5		3,40
3	1,0	-3,00	
4	1,5		2,60
5	2,0	-2,00	
6	2,5		1,90
7	3,0	-1,70	
8	3,5		1,50
9	4,0	-1,20	
10	4,5		1,20
11	5,0	-0,85	
12	5,5		1,10
13	6,0	-0,80	
14	6,5		0,90
15	7,0	-0,70	
16	7,5		0,80
17	8,0	-0,60	
18	8,5		0,70
19	9,0	-0,55	
20	9,5		0,60
21	10,0	-0,4	
22	10,5		0,55

Uwaga : $\Delta t = \frac{2\pi}{\omega_n}$

4. Uzupełnienie modelu matematycznego koparki KR-500

Przesłany do PIAP rys. nr KR 00.00.00.0.00 zawiera zmiany projektowe wprowadzone w CBKMiUD ZNTK Stargard.

Dotyczą one położenia punktów redukcji mas obciążających ramę koła czerpakowego oraz wartości tych mas. Zmiany te wprowadzono do wcześniej opracowanego programu symulacyjnego.

Ponadto, zgodnie z uwagami naniesionymi na ww. rysunek, wprowadzono możliwość symulowania okresowego oddziaływania sił skrawających, powstających na kole czerpakowym podczas kopania rowów melioracyjnych. Siły te wprowadzono do zależności określającej obrót ramy koła czerpakowego:

$$J_B \cdot \frac{d^2 \beta}{dt^2} + M_{HB} \cdot \frac{d\beta}{dt} + K_{UGB} \cdot (\beta - \varphi) = M_{RB} + M_{KC} \quad (15)$$

W zależności tej moment M_{KC} uwzględnia wpływ siły skrawającej na obrót ramy koła czerpakowego. Przedstawiają to zależności:

$$M_{KC} = \frac{1}{T} \int (M_{KCM} \cdot \text{compar}(\sin p \cdot t) - M_{KC}) \cdot dt \quad (16)$$

$$\text{compar} = \begin{cases} 0 & \text{dla } \sin p \cdot t < 0 \\ 1 & \text{dla } \sin p \cdot t \geq 0 \end{cases} \quad (17)$$

Zweryfikowany model matematyczny koparki KR-500 posłużył do przeprowadzenia symulacji komputerowej.

5. Program badań symulacyjnych

Badania uzupełniające zostały przeprowadzone na podstawie programu symulacyjnego opracowanego dla CBKMiUD ZNTK podczas modelowania matematycznego koparki KR-500 /sprawozdanie PIAP nr rej. 5417/, według przekazanych do PIAP wymagań /zał.nr.1/ W czasie badań wykonano:

- 1/ Obliczenie warunków początkowych $(\beta, \dot{\beta})$ przy nowych parametrach modelu koparki. Przyjęto skrajne warunki układu regulacji: kąt pochylenia torów kolejowych $\varphi = 10\%$, 10
kąt pochylenia rowu melioracyjnego PR=5% /Wydruk nr 1/.

2/ Symulację układu regulacji automatycznej przy sterowaniu impulsowym, przy wartościach parametrów modelu:

- a/ $Q_0 = 6,67 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$; $V_0 = 2,78 \cdot 10^{-2} \frac{m}{s}$, $TIM = 0,18s$ /wydruk nr 2
- b/ $Q_0 = 6,67 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$, $V_0 = 8,33 \cdot 10^{-2} \frac{m}{s}$, $TIM = 0,18s$ /wydruk nr 3
- c/ $Q_0 = 6,67 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$, $V_0 = 0,1389 \frac{m}{s}$, $TIM = 0,15s$ /wydruk nr 4
- d/ $W_0 = 6,67 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$, $V_0 = 0,2222 \frac{m}{s}$, $TIM = 0,15s$ /wydruk nr 5

3/ Symulację układu regulacji automatycznej przy sterowaniu ciągłym, przy wartościach parametrów modelu:

- a/ $Q_0 = 6,67 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$, $V_0 = 0,2222 \frac{m}{s}$ /wydruk nr 6/

4/ Symulację układu regulacji automatycznej dla:

a/ sterowania impulsowego przy parametrach

$$Q_0 = 6,67 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}, V_0 = 0,2222 \frac{m}{s}, TIM = 0,15s$$

b/ sterowania ciągłego przy parametrach

$$Q_0 = 6,67 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}, V_0 = 0,2222 \frac{m}{s}$$

przy oddziaływaniu sił skrawających na koło czerpakowe:

- a1/ $M_{KC} = 0,05 \cdot M_{RB}$ /Wydruk nr 7/
- a2/ $M_{KC} = 0,15 \cdot M_{RB}$ /Wydruk nr 8/
- a3/ $M_{KC} = 0,25 \cdot M_{RB}$ /Wydruk nr 9/
- b1/ $M_{KC} = 0,05 \cdot M_{RB}$ /Wydruk nr 10/
- b2/ $M_{KC} = 0,15 \cdot M_{RB}$ /Wydruk nr 11/
- b3/ $M_{KC} = 0,25 \cdot M_{RB}$ /Wydruk nr 12/

5/ Ocenę wpływu parametrów dynamicznych ramy koła czerpakowego J_B , M_{HB} na stabilność układu regulacji:

a/ układ regulacji automatycznej przy sterowaniu impulsowym dla parametrów:

$$Q_0 = 6,67 \cdot 10^{-4}, V_0 = 0,1389 \frac{m}{s}, M_{HB} = 10^4, J_B = 3,2 \cdot 10^4$$

/Wydruk nr 13/

b/ Układ regulacji automatycznej przy sterowaniu ciągłym dla parametrów:

$$Q_0 = 6,67 \cdot 10^{-4}, \quad V_0 = 0,1389 \frac{m}{s}, \quad M_{HB} = 2 \cdot 10^6, \quad J_B = 2 \cdot 10^5$$

/Wydruk nr 14/.

6. Wnioski z uzupełniających badań symulacyjnych

1. Program symulacyjny umożliwia wprowadzenie zmian i korekt w modelu matematycznym koparki KR-500.
2. Przy prędkościach jazdy koparki od 100 m/godz. do 800 m/godz. $/2,78 \cdot 10^{-2} \frac{m}{s}$ do $0,2222 \frac{m}{s}$ / układ regulacji automatycznej jest stabilny. Wartość przeregulowań przy sterowaniu impulsowym przy czasie trwania impulsu $TIM = 0,18s$ wynosi ok. $5,244 \cdot 10^{-2} m$ /Wydruk nr 3/. Zmniejszenie przeregulowania można osiągnąć poprzez skrócenie czasu trwania impulsu. Przy $TIM = 0,15s$ przeregulowania zmniejszyły się poniżej $5 \cdot 10^{-2} m$ /Wydruk nr 4 i nr 5/.
3. Sterowanie ciągle umożliwia kompensowanie przeregulowań /Wydruk nr 6/.
4. Siły skrawające powstające na kole czerpakowym koparki nie wpływają na stabilność układu regulacji. Powodują powstawanie niewielkich oscylacji mieszczących się w dopuszczalnym błędzie regulacji Δy_k /Wykresy nr 7, ..., 12/.
5. Parametry dynamiczne ramy koła czerpakowego wpływają w sposób istotny na stabilność układu regulacji. Nie może zostać przekroczona wartość momentu bezwładności ok. $10^5 Nm \cdot s^2$. Powinna zostać utrzymana wartość tłumienia $M_{HB} 2 \cdot 10^6 N \cdot m$, poniżej której w układzie regulacji automatycznej pojawiają się oscylacje.

7. Wnioski końcowe

Uważamy za celowe kontynuowanie współpracy z CBKM i UD ZNTK Stargard, zwłaszcza w przypadku wprowadzenia podczas projektowania zmian konstrukcyjnych oraz przed przystąpieniem do wykonania prototypu koparki KR-500.

12

8. Załączniki

1. Wymagania dotyczące uzupełniających badań symulacyjnych
pismo Nr CBK-D-1 /KR/ 133/85 z dnia 1985.10.08.
2. Program symulacyjny modelu koparki KR-500.
3. Wydruki komputerowe otrzymane podczas badań symulacyjnych
/tylko w egzemplarzu dla Zamawiającego/.

9. Literatura

- [1] - Doetsch.G.: Praktyka przekształcania Laplace'a
PWN, Warszawa 1964.
- [2] - Findeisen W.: Technika regulacji automatycznej.
PWN, Warszawa 1965.
- [3] - Gibson J.E., Tuteur F.B.: Człony układów regulacji
WNT, Warszawa 1961.
- [4] - Guter S. Matematyczne opracowanie wyników pomiarów.
WAT, Warszawa.

Stargard, dnia 1985-10-08

Polskie Koleje Państwowe
Zakłady Wagonów i Remontów Wagonów
Nr CBK-D-1/KR/403/85
ul. Boh. Stalingradu 35
73-100 Stargard
(2)

Państwowy Instytut Automatyki i Pomiarów

" M E R A "

mgr inż. WRZESIEN

Aleje Jerozolimskie 202

02 - 222 W A R S Z A W A

Nawiązując do wcześniejszych uzgodnień, PKP ZNTK " Stargard " zlecają wykonanie dodatkowych obliczeń symulacyjnych dla układu sterowania koparki rowów typu KR-500.

Obliczenia należy wykonać dla następujących parametrów o prędkości roboczej V i o pochyleniu dna rowu α

1/ $V = 100, 300, 500, 800$ m/h

przy $\alpha = 0,5$ ‰

2/ $V = 100, 300, 500, 800$ m/h

przy $\alpha = 3$ ‰

3/ $V = 100, 300, 500, 800$ m/h

przy $\alpha = 5$ ‰

W załączeniu przesyłamy rysunek zestawieniowy maszyny wraz z naniesionymi wymiarami, masami elementów i ich środkami ciężkości oraz zdjęcia obrazu oscyloskopowego drgań ramy maszyny podobnej do ramy koparki rowów pozwalające uściślić współczynnik tłumienia .-

System sterowania
Kilka (rozawa tel. 17.10.85 przy)

z-ca Dyr. d/s Technicznych
GŁÓWNY INŻYNIER
inż. Henryk Klups

```

MEMBER NAME   KLAS
00000010
00000020
00000030   * * *   MODEL MATEMATYCZNY UKŁADU AUTOMATYCZNEJ REGULACJI   * * *
00000040   * * *   KOPARKI KR5500, STEROWANIE IMPULSOWE,   * * *
00000045
00000048
00000050
00000060 INITIAL
00000070
00000080 PARAMETER A=2.225, B=0.007, C=1.2495, D=1.3750, P=1.450, H=2.120
00000090 PARAMETER GK=2110205, GP=13150.7, GW=80742.6, LK=9.100, LP=3.2, LW=1.7800
00000100 PARAMETER GLKOPP=2000, DELYK=301, JB=3.2E4, MHB=2.E6
00000110 PARAMETER FB=4.76E-3, FI=3010, MI=1.523596
00000120 PARAMETER TPO=.3
00000130
00000140 PARAMETER GU=5883.6, LU=3.1652,
00000150 GR=28084, LR=104,
00000160 GO=73280, LO=4.17,
00000170 GB=69868, LB=3.23
00000180
00000190 PARAMETER Q0=6.67E-4, V0=0.2222, PR=+5, RE=3, KC=5
00000200 PARAMETER W1P=4.964791E-6, W2P=1.922088E-7, W3P=1.55802E-4,
00000210 W4P=1.1985599E-8, W5P=3.026355E-2, W6P=26.98168
00000220 PARAMETER W1M=1.775821E-5, W2M=2.464925E-3, W3M=5.046852E-4,
00000230 W4M=8.3834776E-8, W5M=1.729313E-7, W6M=17.0011,
00000240 W7M=5.1799592E-2, W8M=6.044617E-7
00000250
00000260 PARAMETER TIM=.15, TIO=.11
00000270
00000280 PARAMETER RD=4.5, KUGD=7.23E6, JD=1.066E4, MHD=1.73E4
00000290 PARAMETER ZANRAD=57.2958, PI=3.141592
00000300 CONSTANT CZASTP=0., TOP=3.10
00000310
00000320
00000330 INCON YDRO=0., XBO=0., BETAPO=0., BETA0=.219470, X30=2.0543
00000340 INCON DELPO=0., DELO=0.14034
00000350
00000360 ALFA=ARCSIN(B/A)
00000370 LAMBDA=ATAN(C/H)
00000380 ZETA=PI/2.-ALFA/LAMBDA
00000390 KUGB=(GK*(LK-A)+GU*(LU+A)+GP*(LP+A))/ARCSIN(FB/(LKEA))
00000400 RO=SQRT(H*H+(RD/C)*(RD-C))
00000410 KSI=ARCCOS(H/RO)
00000420 A1=A/COS(ALFA)
00000430 MKCM=.25*(GK*(LK-A)+GP*(LP+A)+GU*(LU+A))
00000440
00000450 DYNAMIC
00000460
00000470 V=V0+STEP(TOP)
00000480 GLKOP=GLKOPP+PR*XB
00000490 YK=H*COS(DEL)+2.*RO*COS(KSI-DEL/2.)*SIN(DEL/2.)*GLKOP+
00000500 XP*TAN(PR+FI)-A*SIN(GAMMA+FI)
00000510 (LK-A)*SIN(BETA+FI)
00000520 KAPPA=ARCCOS((A1*A1+C*C+H*H*X3*X3)/(2*A1*SQRT(C*C+H*H)))
00000530 KAPPAR=KAPPA+ZANRAD
00000540 GAMMA=ZETA-KAPPA-FI+DEL
00000550 GAMMAR=GAMMA+ZANRAD
00000570 PROCEDURE X3P=X3P(X30, CZASTP, DELYK, YK, FS)

```

```

MEMBER NAME  KLAS
00000580      IF (TIME.GT(20)) GO TO 50
00000585      CZASTP=0.
00000590      X3P=X30
00000600      50 IF (TIME.LT(CZASTP)) GO TO 60
00000610      IF (YK.LT(1-DELYK)) X3P=X3P+Q0
00000620          (W1P*FS+W2P)*Q0+W3P+W4P*FS+(W5P+W6P*Q0)*(TIME-TI0)
00000630      IF (YK.GT(1-DELYK)) X3P=X3P+Q0
00000640          (W1M*FS+W2M)*Q0+W3M+W4M*FS+(W5M*FS+W6M)*Q0+W7M+W8M*FS)
00000650          (TIME-TI0)
00000660      CZASTP=CZASTP+TPO
00000670      60 CONTINUE
00000680 ENDPRO
00000690
00000700      X3=INTGRL(X30,(X3P-X3)/(10.*DELT))
00000710
00000720      XB=V*(TIME-TOP)*STEP(TOP)
00000730      XP=(A*COS(GAMMA+FI)+(LKHA)*COS(BETA+FI))*COS(MI)+
00000740      RO*COS(KSI*DELT)
00000750      XK=XP+XB
00000760
00000770      FS=((GK*LK+GU*LU+GP*LP)*COS(BETA+FI)+
00000780          (GR*LR-GW*LV)*COS(GAMMA+FI))/(A*SIN(ETA+FI))
00000790      ETA=ARCCOS((A1*A1-H*H-C+C*X3*X3)/(2*A1*X3))
00000800      BETAW=(MRB+MKC-KUGB*(BETA+GAMMA)-MHB*BETAP)/JB
00000810      BETAP=INTGRL(BETA0,BETAW)
00000820      BETA=INTGRL(BETA0,BETAP)
00000830      BETAR=BETA*ZAMRAD
00000840      MRB=(GK*(LK-A)+GU*(LU-A)+GP*(LP-A))*COS(BETA+FI)
00000850
00000860      MKC=INTGRL(0,(MKCM*KL*MKC-MKC)/(10.*DELT))
00000870
00000880      DELW=(FS*SIN(ETAGAMMA+FI+DELT)*RD+GO*LO+GB*LB-KUGD*DELT
00000890      MHD*DELT)/JD
00000900      DELP=INTGRL(DELP0,DELW)
00000910      DEL=INTGRL(DELO,DELP)
00000920      DELR=DEL*ZAMRAD
00000930
00000940      KLMKC=INSW(SIN(KC*TIME),0,(1))
00000950
00001000 TERMINAL
00001010
00001020 TIMER FINTIME=50.7DELT=2.5E-3PRDEL=450
00001030 METHOD SIMP
00001040 PRINT XK,YK,X3,GAMMAR,BETAR,DELR,FS,MRB
00001050 TITLE KOPARKA KR500 STEROWANA LASEREM
00001060 LABEL KOPARKA KR500 STEROWANA LASEREM
00001070 END
00001080 STOP
00001090 /*
00001100 //

```



```

MEMBER NAME  KLIN
00000010
00000020
00000030      * * *   MODEL MATEMATYCZNY UKŁADU AUTOMATYCZNEJ REGULACJI *
00000040      * * *   KOPARKI KR500; STEROWANIE CIAGLE. *
00000045
00000047
00000050 INITIAL
00000060
00000070 PARAMETER  A=2.225, B=1000, C=1.495, D=1.750, P=1.450, H=2.12
00000080 PARAMETER  GK=21102, GP=13150, GW=80742, LK=9.100, LP=3.2, LW=1.78
00000090 PARAMETER  GLKOPP=20000, DELYK=.01, JJB=3.2E4, MHB=2.E6
00000100 PARAMETER  FB=4.76E-3, FI=1010, HI=1.523596
00000110 PARAMETER  TPO=.3
00000120
00000130 PARAMETER  GU=5883.6, LU=3.6527,
00000140      GR=28084, LR=1.47,
00000150      GO=73280, LO=4.77,
00000160      GB=69868, LB=3.23
00000170
00000180 PARAMETER  Q0=6.67E-3, V0=12222, PR=5.E-3, KC=5
00000190 PARAMETER  W5P=3.026355E-2, W6P=26.98168
00000200 PARAMETER  W5M=1.729313E-7, W6M=17.0011,
00000210      W7M=1.53799592E-2, W8M=6.044617E-7
00000220
00000230
00000240 PARAMETER  RD=4.52, KUGD=7.23E6, JD=1.066E4, MHD=1.73E4, GP0=1.E4, LPO=9.
00000250 PARAMETER  ZAMRAD=57.2958, PI=30.141592
00000260 CONSTANT  TOP=3.
00000270
00000280
00000290 INCON  YDRO=0., XB0=0., JBETA0=0., JBETA0=.219470, X30=200543
00000300 INCON  DELPO=0., DELO=0.14034
00000310 INCON  XP30=0.
00000320
00000330      ALFA=ARSIN(B/A)
00000340      LAMBDA=ATAN(C/H)
00000360      KUGB=(GK*(LK/A)+GP*(LP/A))/ARSIN(FB/(LK/A))
00000370      RO=SQRT(H*H+(RD/C)*(RD/C))
00000380      KSI=ARCOS(H/RO)
00000390      A1=A/COS(ALFA)
00000395      MKCM=.15*(GK*(LK/A)+GP*(LP/A)+GU*(LU/A))
00000400
00000410 DYNAMIC
00000420
00000430      V=V0*STEP(TOP)
00000440      GLKOP=GLKOPP+PR*XB
00000450      YK=H*COS(DEL)+2.*RO*COS(KSI-DEL/2)*SIN(DEL/2)+GLKOP+
00000460      XP*TAN(PR+FI)+A*SIN(GAMMA+FI)+
00000470      (LK/A)*SIN(BETA+FI)+D
00000480      KAPPA=ARCOS((A1*A1+C*C+H*H-X3*X3)/(2*A1*SQRT(C*C+H*H)))
00000490      KAPPAR=KAPPA*ZAMRAD
00000500      GAMMA=ZETA+KAPPAR+FI+DEL
00000510      GAMMAR=GAMMA*ZAMRAD
00000520
00000530      AX3=FCNSW(DEADSP(=DELYK, DELYK, YK)+W5P+W6P*Q0,
00000540      (W5M*FS+W6M)*Q0+W7M+W8M*FS)
00000550
00000560      XP3=INTGRL(XP30, (AX3-XP3)/(10.*DELT))

```

```

MEMBER NAME KLIN
00000570 X3=INTGRL(X30,XP3)
00000580
00000590 XB=V*(TIME-STEP)*STEP(TOP)
00000600 XP=(A*COS(GAMMA+FI)+(LKA)*COS(BETA+FI))*COS(MI)+...
00000610 R0*COS(KSINDEL)
00000620 XK=XP+XB
00000630
00000640 FS=((GK*LK+GU*LU+GP*LP)*COS(BETA+FI)+(GR*LR-GW*LV)*COS(GAMMA+
00000650 ))/(A*SIN(ETA+FI))
00000660 ETA=ARCCOS((A1*A1-H*H+C+X3*X3)/(2*A1*X3))
00000670 BETAW=(MRB+MKC/KUGB*(BETA-GAMMA)-MHB*BETAP)/JB
00000680 BETAP=INTGRL(BETA0,BETAW)
00000690 BETA=INTGRL(BETA0,BETAP)
00000700 BETAR=BETA*ZAMRAD
00000710 MRB=(GK*(LKA)+GU*(LUA)+GP*(LPA))*COS(BETA+FI)
00000720
00000722 MKC=INTGRL(0,(MKCM*KLMC/MKC)/(10.*DEL))
00000724
00000730 DELW=(FS*SIN(ETA-GAMMA+FI+DEL)*RD+GO*LO+GB*LB-KUGD*DEL...
00000740 MHD*DELP)/JD
00000750 DELP=INTGRL(DELP0,DELW)
00000760 DEL=INTGRL(DELO,DELP)
00000770 DELR=DEL*ZAMRAD
00000780
00000785 KLMC=INSW(SIN(KC*TIME),0,1)
00000787
00000840 TERMINAL
00000850
00000860 TIMER FINTIM=50,DELTE=2.5E-3,PRDEL=05
00000870 METHOD SIMP
00000880 PRINT XK,YK,X3,GAMMAR,BETAR,DELR,FS,MRB
00000890 TITLE KOPARKA KR500 STEROWANA LINKA J
00000900 LABEL KOPARKA KR500 STEROWANA LINKA J
00000910 END
00000920 STOP
00000930 ENDJOB
00000940 /*
00000950 //

```