ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1986

Seria: TRANSPORT z.5 Nr kol. 873

Roman KONIECZNY
Stanisław KRAWIEC

Instytut Transportu
Politechniki Śląskiej

ZAGADNIENIE OPROGRAMOWANIA MODELU ST3+OP2 WSPÓŁPRACY KILKU ODBIERAKÓW PRĄDU Z SIECIĄ TRAKCYJNĄ

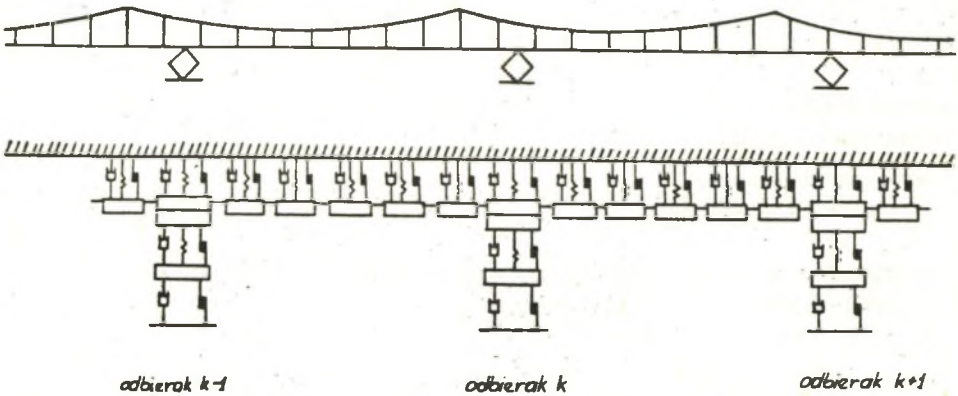
Streszczenie. W artykule przedstawiono aspekty oprogramowania zmodyfikowanego modelu matematycznego typu ST3+OP2 współpracy dynamicznej kilku odbieraków prądu z siecią trakcyjną dla potrzeb obliczeń symulacyjnych wykonywanych przy użyciu komputerów. Zmodyfikowany model matematyczny typu ST3+OP2 jest w chwili obecnej jedynym modelem w kraju umożliwiającym symulację współpracy dowolnej liczby odbieraków prądu z siecią trakcyjną. Model ten bazuje na segmentowym odwzorowaniu sieci trakcyjnej. Opisany jest on układem równań różniczkowo-różnicowych, niejednorodnych, o zmiennych współczynnikach. W zależności od przyjętego języka programowania oraz mocy obliczeniowej dostępnego komputera można w różny sposób rozwiązywać równania opisujące wyżej wymieniony model. W artykule rozważono dwa języki programowania: CSMP oraz FORTRAN oraz przedstawiono struktury programów symulacyjnych w tych językach. Ograniczenia narzucone przez kompilatory rozważanych języków programowania oraz specyfika problemu rzutowały w sposób istotny na końcową postać rozważanych programów.

1. Wprowadzenie

Zmodyfikowany model matematyczny typu ST3+OP2, przedstawiony m.in. w artykułach [2] i [3], jest w chwili obecnej jedynym modelem w kraju umożliwiającym symulację współpracy dowolnej liczby odbieraków prądu z siecią trakcyjną. Model ten bazuje na segmentowym odwzorowaniu sieci trakcyjnej, pokazanym na rys. 1.

Z formalnego punktu widzenia model ST3+OP2 opisany jest układem równań różniczkowo-różnicowych, niejednorodnych, o zmiennych współczynnikach. Przyjęcie optymalnego sposobu rozwiązania równań modelu staje się niezwykle ważne w szeregu przypadków, gdy moc obliczeniowa dostępnego komputera jest ograniczona [4].

W artykule rozważono dwa języki programowania: CSMP (dla komputerów IBM serii 360, 370 oraz R-32) oraz FORTRAN (dla komputerów ODRA seria 1300 oraz minikomputerów MERA-400).



Rys. 1. Koncepcja zmodyfikowanego modelu matematycznego typu ST3+OP2 współpracy dynamicznej kilku odbieraków prądu z sieci trakcyjną

Fig. 1. Idea of the modified mathematical model ST3+OP2 for the dynamical cooperation of some current collectors with a traction network

2. Równania modelu ST3+OP2

Zmodyfikowany model matematyczny typu ST3+OP2 współpracy dynamicznej kilku odbieraków prądu z siecią trakcyjną opisany jest następującym układem równań:

a) segment współpracujący z odbierakiem prądu:

$$\left.\begin{aligned}
&(m_{si}+m_{slk})V^2\ddot{y}_i + b_{si}V\dot{y}_i + k_{si}y_i + W_{si}f(\dot{y}_i) + \\
&+ \frac{N}{a}(2y_i - y_{i-1} + y_{i+1}) + k_{slk}(y_i - y_{rk}) + \\
&+ b_{slk}V(\dot{y}_i - \dot{y}_{rk}) + W_{slk}f(\dot{y}_i - \dot{y}_{rk}) = F_{ask} \\
&m_{rk}V^2\ddot{y}_{rk} - k_{slk}(y_i - y_{rk}) - b_{slk}V(\dot{y}_i - \dot{y}_{rk}) - \\
&- W_{slk}f(\dot{y}_i - \dot{y}_{rk}) + b_{rk}V(\dot{y}_{rk} - \dot{y}_{ek}) + \\
&+ W_{rk}f(\dot{y}_{rk} - \dot{y}_{ek}) = F_{stk} + F_{ark} + F_{ek}
\end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

b) segment nie współpracujący z odbierakiem prądu:

$$m_{si}V^2\ddot{y}_i + b_{si}V\dot{y}_i + k_{si}y_i + W_{si}f(\dot{y}_i) = \frac{N}{a}(y_{i-1} + y_{i+1} - 2y_i) \qquad (2)$$

c) siła stykowa między i-tym segmentem a k-tym odbierakiem:

$$F_{kk} = m_{si}V^2\ddot{y}_i + b_{si}V\dot{y}_i + k_{si}y_i + W_{si}f(\dot{y}_i) + \frac{N}{a}(2y_i - y_{i-1} - y_{i+1}) \qquad (3)$$

Oznaczenia przyjęte w równaniach są następujące:

a - odległość między segmentami odwzorowującymi sieć trakcyjną,
b_{si} - współczynnik tarcia lepkiego i-tego segmentu,
b_{slk} - współczynnik tarcia lepkiego układu odsprężynowania ślizgacza k-tego odbieraka,
b_{rk} - współczynnika tarcia lepkiego układu ramowego k-tego odbieraka,
$f(\ )$ - funkcja określająca znak siły tarcia suchego,
F_{ark} - składowa aerodynamiczna oddziaływająca na układ ramowy k-tego odbieraka,
F_{ask} - składowa aerodynamiczna oddziaływająca na ślizgacz k-tego odbieraka,
F_{stk} - siła statyczna k-tego odbieraka,
F_{ek} - siła oddziaływania pudła pojazdu trakcyjnego na k-ty odbierak,
F_{kk} - siła stykowa pomiędzy i-tym segmentem a k-tym odbierakiem,
i - numer segmentu sieci trakcyjnej,
k - numer odbieraka prądu,
k_{si} - sztywność i-tego segmentu,
k_{slk} - sztywność odsprężynowania ślizgacza k-tego odbieraka,
m_{si} - masa zastępcza i-tego segmentu,
m_{slk} - masa ślizgacza k-tego odbieraka,
m_{rk} - masa zredukowana układu ramowego k-tego odbieraka,
N - sumaryczny naciąg drutów jezdnych sieci trakcyjnej,
V - prędkość przemieszczania się odbieraków wzdłuż sieci,
W_{si} - siła tarcia suchego i-tego segmentu,
W_{slk} - siła tarcia suchego w układzie odsprężynowania ślizgacza k-tego odbieraka,
W_{rk} - siła tarcia suchego w układzie ramowym k-tego odbieraka,
y_i - przemieszczenie pionowe i-tego segmentu,
$\dot{y}_i$ - prędkość pionowa i-tego segmentu,
$\ddot{y}_i$ - przyśpieszenie pionowe i-tego segmentu,
y_{rk} - przemieszczenie pionowe górnego węzła układu ramowego k-tego odbieraka,

$\dot{y}_{rk}$ - prędkość pionowa górnego węzła układu ramowego k-tego odbieraka,

$\ddot{y}_{rk}$ - przyśpieszenie pionowe górnego węzła układu ramowego k-tego odbieraka,

$\dot{y}_{ek}$ - prędkość pionowa pudła pojazdu trakcyjnego, na którym zamocowany jest k-ty odbierak.

Pochodne w równaniach (1), (2) i (3) uzależnione są od drogi (x).

3. Zbiory danych wejściowych i wyjściowych

Dane do realizacji programu symulacyjnego mogą być zorganizowane w postaci dwóch tablic wejściowych: ODBIERAK (LODB,P) oraz SIEC (LSEG,J) zawierających wartości liczbowe parametrów modelu. Tablica wyjściowa o nazwie WYNIKI (Q) zawierać może odnotowane wartości wybranych zmiennych określających jakość współpracy dynamicznej odbieraka z siecią dla przyjętej strefy symulacji. Znaczenie indeksów określających rozmiary użytych tablic jest następujące:

LODB - liczba odbieraków prądu,
P - rozmiar zbioru parametrów opisujących poszczególny odbierak,
LSEG - liczba segmentów modelu odwzorowujących odcinek sieci trakcyjnej,
J - rozmiar zbioru parametrów opisujących poszczególny segment modelu,
Q - rozmiar zbioru rejestrowanych zmiennych wyjściowych (np. typu y_i lub F_{kk}) oraz współczynników jakości przedstawionych m. in. w publikacji [5].

Struktura programu symulacyjnego uzależniona będzie od przyjętego języka programowania.

4. Oprogramowanie modelu w języku CSMP-360

Szczegółowy opis języka symulacyjnego CSMP zawierają m.in. publikacje [1] i [6]. Struktura programu w języku CSMP składa się z trzech segmentów: POCZĄTKOWEGO (INITIAL), DYNAMICZNEGO (DYNAMIC) oraz KOŃCOWEGO (TERMINAL).

Segment POCZĄTKOWY przeznaczony jest do obliczania warunków początkowych i wartości parametrów, które zostały przedstawione w postaci ogólnych wyrażeń arytmetycznych, obliczanych jednokrotnie dla całego przebiegu symulacyjnego.

Segment DYNAMICZNY jest najważniejszym (głównym) segmentem programu symulacyjnego. W segmencie tym opisuje się dynamikę modelu (zasadnicze równania) oraz wykonuje dodatkowe obliczenia potrzebne podczas trwania przebiegu. Funkcjonalnie segment DYNAMICZNY jest identyczny ze schematem blokowym modelu lub jego reprezentacją różniczkową. Instrukcje strukturalne tego segmentu są mieszaniną instrukcji CSMP i FORTRAN-u.

Segment KOŃCOWY przeznaczony jest do wykonywania obliczeń wymaganych po zakończeniu przebiegu symulacyjnego. Najczęściej są to obliczenia robione na podstawie zmiennych modelowych, chociaż możliwe jest również inne wykorzystanie tego segmentu. Na przykład może on zawierać algorytm optymalizacji, modyfikujący wartości parametrów badanego układu.

Program realizujący model ST3+OP2, zapisany w języku CSMP, nie przedstawia zbyt skomplikowanej struktury. Jest niezawodny i wysoce efektywny obliczeniowo. W segmencie POCZĄTKOWYM zestawione są stałe wartości parametrów odbieraka prądu oraz segmentów sieci trakcyjnej. W segmencie DYNAMICZNYM zapisane są równania typu (1), (2) i (3), a w segmencie KOŃCOWYM określone przebiegi do rejestracji.

Przykładowy uogólniony zapis programu w języku CSMP, realizującego model matematyczny typu ST3+OP2 współpracy kilku odbieraków prądu z siecią trakcyjną, jast następujący:

```
LABEL MODEL ST3+OP2 ZMODYFIKOWANY
RENAME TIME=X
CONSTANT PI=3.1415926, R=10.,...

      .........  }
      .........  }  wyszczególnienie parametrów stałych sieci trakcyjnej
      .........  }  oraz odbieraków prądu

PARAMETR V= ....  }  zadawana prędkość jazdy (m/s)
INITIAL

      .........  }
      .........  }  sekwencja wyrażeń algebraicznych
      .........  }  obliczanych jeden raz

DYNAMIC

      .........  }
      .........  }  sekwencja wzorów opisujących parametry poszczególnych
      .........  }  segmentów: k_si, b_si, W_si, m_si

      .........  }
      .........  }  współczynniki obecności odbieraków pod segmentami:
      .........  }  K_i, Z_i

      .........  }  sekwencja wzorów opisujących poszczególne pochodne
      .........  }  oraz siły stykowe: YXX_i, YX_i, Y_i, YRXX_k, YRX_k, YR_k,
      .........  }  P_kk

TERMINAL
      .........  }  instrukcje określające sposób rejestracji wyników,np.
      .........  }  TIMER, PRTPLT...

END
STOP
ENDJOB
```

Postać zapisu niektórych kluczowych instrukcji programu jest następująca:

sztywność i-tego segmentu:

$$KSX_i = KS*(1 + EK*COS(2*PI*(X + i*A)/L)) \tag{4}$$

gdzie:

KS - sztywność średnia skorygowana [4],
EK - współczynnik nierównomierności sztywności skorygowany [4],
X - droga wzdłuż sieci trakcyjnej,
A - przyjęta odległość między segmentami,
L - długość przęsła zawieszenia sieci trakcyjnej;
■ współczynnik obecności odbieraka pod segmentem (K_i):

K_i = 0, gdy odbierak nieobecny,

$$K_i = FAS - KSL*(Y_i - YR_k) - BSL*V*(YX_i - YRY_k) - WSL*TANH(R*V*(YX_i - YRX_k)) \tag{5}$$

gdzie:

k - numer odbieraka, $FAS=F_{as}$, $Y_i=y_i$, $YR_k=y_{rk}$, $BSL=b_{sl}$, $YX_i=\dot{y}_i$, $YRX_k=\dot{y}_{rk}$, $WSL=W_{sl}$;

funkcję określającą znak siły tarciasuchego aproksymowano tangensem hiperbelicznym;

współczynnik obecności odbieraka pod segmentem (Z_i):

Z_i = 0, gdy odbierak nieobecny,

Z_i = 1, gdy odbierak obecny

Przy założeniu że odbieraki są jednakowe, pozostałe zmienne określone są następującymi wzorami:

■ $$YXX_i = (K_i - BS_i*V*YX_i - KSX_i*Y_i - WS_i*TANH(R*V*YX_i) - (N/A)*(2*Y_i - Y_{i-1} - Y_{i+1}))/((MS_i + Z_i*MSL)*V*V) \tag{6}$$

■ $$YX_i = INTGRL(IC'_i, YXX_i) \tag{7}$$

■ $$Y_i = INTGRL(IC_i, YX_i) \tag{8}$$

gdzie:

$YXX_i=\ddot{y}_i$, $BS_i=b_{si}$, $WS_i=W_{si}$, $MS_i=m_{si}$, $MSL=m_{sl}$,

INTGRL - element całkujący (integrator),

IC_i, IC'_i - warunki początkowe na integratorach;

■ $YRXX_k = (FST + FAR + KSL*(Y_i - YR_k) + FSL*V*(YX_i - YRX_k) +$

$+ WSL*TANH(R*V*(YX_i - YRX_k)) - BR*V*YRX_k -$ (9)

$- WR*TANH(R*V*YRX_k))/(MR*V*V)$

■ $YRX_k = INTGRL(IC'_k, YRXX_k)$ (10)

■ $YR_k = INTGRL(IC_k, YRX_k)$ (11)

gdzie:

$YRXX_k \equiv \ddot{y}_{rk}$, $YRX_k \equiv \dot{y}_{rk}$, $YR_k \equiv y_{rk}$, $FST \equiv F_{st}$, $FAR \equiv F_{ar}$, $KSL \equiv k_{sl}$, $BSL \equiv b_{sl}$, $WSL \equiv W_{sl}$,

$BR \equiv b_r$, $WR \equiv W_r$,

IC'_k, IC_k - warunki początkowe na integratorach;

■ $FK_k = MS_i*V*V*YXX_i + BS_i*V*YX_i + KSX_i*Y_i + WS_i*TANH(R*V*YX_i) +$

$+ (N/A)*(2*Y_i - Y_{i-1} - Y_{i+1})$ (12)

gdzie: $FK_k \equiv F_{kk}$.

W przypadku gdy liczba segmentów wynosi np. 41, składniki równań uwzględniające oddziaływanie segmentów sąsiednich dla segmentu pierwszego i ostatniego są następujące:

a) układ otwarty -	segment	1	(N/A)*(Y1 - Y2)
	segment	41	(N/A)*(Y41 - Y40)
b) układ zamknięty -	segment	1	(N/A)*(2*Y1 - Y40 - Y2)
("karuzela")	segment	40	(N/A)*(2*Y40 - Y39 - Y1)
	segment	41	nie uczestniczy.

Przedstawiony powyżej zapis instrukcji kluczowych umożliwia łatwe konstruowanie programu symulacyjnego, a także jego rozbudowę lub modyfikację dla dowolnej liczby segmentów sieci trakcyjnej oraz współpracujących z nią odbieraków prądu. Współczynniki obecności umożliwiają włączanie lub wyłączanie poszczególnych odbieraków przed lub w trakcie przebiegu symulacyjnego.

Istotną pozytywną cechą języka CSMP jest możliwość pisania instrukcji programu w dowolnej praktycznie kolejności. Proces sortowania instrukcji następuje w momencie rozpoczęcia procesu translacji na język FORTRAN IV (budowanie podprogramu wykonawczego UPDATE). Z punktu widzenia użytkownika znajomość struktury podprogramu UPDATE nie jest wymagana - i można wydruk tej struktury pominąć, koncentrując uwagę wyłącznie na interpretacji wyników symulacji.

5. Oprogramowanie modelu w języku FORTRAN 1900

Struktura programu w języku FORTRAN 1900 dla maszyn ODRA serii 1300 składa się także z trzech segmentów: MASTER (segment główny), SUBROUTINE F4DERY oraz SUBROUTINE F4RUNG.

Segment MASTER organizuje pracę całego programu, zapewnia współpracę z podprogramami, umożliwia wczytywanie wartości parametrów, warunków początkowych oraz wyprowadzanie wyników.

Segment SUBROUTINE F4RUNG jest jednym ze standardowych podprogramów biblioteki naukowej FSCE maszyn ODRA serii 1300 przeznaczonym do rozwiązywania układów równań różniczkowych według określonej metody (np. Rungego-Kutty-Gilla). Współpraca z tym segmentem ogranicza się do jego wywołania zgodnie z zasadami przedstawionymi w opisie biblioteki podprogramów.

Segment SUBROUTINE F4DERY jest podprogramem, w którym opisane są prawe strony rozwiązywanego układu równań różniczkowych pierwszego rzędu. Podprogram ten jest niezbędny dla właściwej pracy podprogramu F4RUNG i jest tworzony dla konkretnego układu.

Przykładowa struktura programu w języku FORTRAN 1900 dla maszyn ODRA serii 1300 realizującego model matematyczny typu ST3+OP2 współpracy kilku odbieraków prądu z siecią trakcyjną jest następujący:

```
MASTER ST3+OP2

        ..........
        ..........  Deklaracja rozmiarów tablic używanych w programie
        ..........  oraz określenie tzw. "obszaru wspólnego" parametrów

        ..........
        ..........  wyszczególnienie parametrów stałych sieci trakcyj-
        ..........  nej oraz odbieraków prądu

PARAMETR V= ...     zadawana prędkość jazdy (m/s)

        ..........
        ..........  sekwencja wyrażeń algebraicznych obliczanych
        ..........  jeden raz

        ..........
        ..........  określenie warunków początkowych
        ..........

PARAMETR H= ...     zadany krok całkowania

        ..........
        ..........  określenie wartości parametrów używanych przy wy-
        ..........  wołaniu podprogramu standardowego F4RUNG
```

```
CALL F4RUNG (parametry aktualne)

      ..........
      ..........   fragment organizujący komunikację z podprogramem
      ..........   F4RUNG dla kolejnych kroków całkowania oraz orga-
                   nizujący rejestrację wyników.
STOP
END

SUBROUTINE F4DERY (M, Y, DY)

      ..........
      ..........   Deklaracja rozmiarów tablic używanych w programie
      ..........   oraz określenie tzw. "obszaru wspólnego" parame-
                   trów
      ..........
      ..........   sekwencja wzorów opisujących parametry poszcze-
      ..........   gólnych segmentów: k_si, b_si, W_si, m_si
      ..........
      ..........   współczynniki obecności odbieraków pod segmentami:
      ..........   K_i, Z_i
      ..........
      ..........   sekwencja wzorów opisujących prawe strony układu
      ..........   równań różniczkowych oraz siły stykowe
RETURN
END
```

Zmienne Y, M, DY to oznaczenia narzucone przez opis podprogramu standardowego F4RUNG umożliwiające współpracę z podprogramem F4DERY i segmentem MASTER. Zmienna M (M=n+1) określa powiększoną o jeden liczbę równań różniczkowych w układzie. W segmencie MASTER przed wywołaniem podprogramu F4RUNG do tablicy Y(M)(M=1,...,n+1) podstawia się początkową wartość zmiennej niezależnej x (X(1)=x) oraz warunki początkowe ($Y(j+1)=y_i(0)_j$; j=1,...,n), a następnie na bieżąco po każdym kolejnym kroku całkowania można wykorzystywać dostępne w ich miejsce w tablicy Y(M) bieżące wartości zmiennej niezależnej x oraz bieżące wartości funkcji prawych stron układu równań.

W związku z powyższymi wymaganiami w programie tym obowiązują następujące przyporządkowania:

$Y(1) = X$

$Y(2*i) = Y_i \qquad (i=1,\ldots,l_{seg})$

$Y(2*i+1) = \frac{dY_i}{dx} = YX_i \qquad (i=1,\ldots,l_{seg})$

$$Y(2*(l_{seg}+k)) = YR_k \qquad (k=1,\ldots,l_{odb})$$

$$Y(2*(l_{seg}+k)+1) = \frac{dYR_k}{dx} = YRX_k \quad (k=1,\ldots,l_{odb})$$

l_{seg} - liczba segmentów odwzorowywanej sieci,

l_{odb} - liczba odbieraków prądu.

W podprogramie F4DERY poszczególnym elementom tablicy DY przypisane są funkcje prawych stron rozwiązywanego układu równań. Po wyjściu z podprogramu F4RUNG w tablicy DY dostępne są bieżące wartości pochodnych funkcji prawych stron układu równań.

Postać zapisu kluczowych instrukcji podprogramu F4DERY opisujących prawe strony układu równań różniczkowych jest następująca:

```
■ DY(2*i) = Y(2*i+1)
■ DY(2*i+1) = (K(i) - BS(i)*V*Y(2*i+1) - KSX(i)*Y(2*i) - WS(i)*TANH
              (R*V*Y(2*i+1)) - (N/A)*(2*Y(2*i) - Y(2*i-2) - Y(2*i+2)))/
              ((MS(i) + Z(i)*MSL)*V*Y)
```

Pozostałe instrukcje zapisane są podobnie jak w programie przedstawionym poprzednio w języku CSMP z konsekwentnym uwzględnieniem zdefiniowanych wyżej przyporządkowań.

Przedstawiona wyżej metodologia pozwala zapisać dowolną liczbę segmentów sieci i odbieraków prądu nie powiększając ilości instrukcji, lecz tylko zmieniając odpowiednio rozmiary tablic oraz odpowiednie wskaźniki.

Program realizujący model ST3+OP2 napisany w języku FORTRAN pozwala skrócić zapis dynamiki modelu w stosunku do programu w języku CSMP.

6. Uwagi końcowe

Oprócz przedstawionych wersji rozwiązywania problemu współpracy kilku odbieraków prądu z siecią trakcyjną za pomocą modelu ST3-OP2 możliwe jest wykorzystanie do tego celu także innego oprogramowania standardowego oraz dowolnego sprzętu komputerowego. Przykładowo, dla minikomputera MERA-400 pracującego w systemie operacyjnym CROOK-4 w języku FORTRAN istnieje możliwość wykorzystania jednego z kilku dostępnych podprogramów standardowych biblioteki FLIBO przeznaczonych do rozwiązywania układów równań różniczkowych (m.in. RKGS, DRKGS, HPCG, DHPCG, HPCL, DHPCL). Różnice między tymi podprogramami polegają na zastosowaniu różnych metod analizy numerycznej. W stosunku do przedstawionego rozwiązania w języku FORTRAN 1900 z wykorzy-

staniem podprogramu F4RUNG program wykorzystujący podprogramy dostępne na minikomputerze MERA-400 nie wymaga sekwencji sterującej długością kroku całkowania, gdyż problem ten załatwiony jest automatycznie przez wymienione podprogramy standardowe.

Poprzez odpowiedni zapis możliwe jest także wykorzystywanie mikrokomputerów bez naukowego oprogramowania standardowego, używając w takim przypadku np. klasycznej metody Rungego-Kutty.

Różnice pomiędzy poszczególnymi wariantami programu symulacyjnego w zależności od używanego sprzętu ujawniają się w postaci istotnych dla użytkownika parametrów:

- czas obliczeń (od 0,1 sekundy do 20 sekund na 1 krok całkowania),
- długość programu (od 60 do 300 instrukcji),
- zajmowana pamięć operacyjna (około 6 do 8 K słów),
- możliwości redagowania danych i wyników.

Przykładem niezbyt dużych możliwości redagowania wyników jest dobry skądinąd język symulacyjny CEMMA/MERA-400, przeznaczony do rozwiązywania układów równań różniczkowych.

LITERATURA

[1] Kącki E., Woźniakowski M.: Modelowanie analogowe, hybrydowe oraz cyfrowa symulacja maszyn analogowych. PWN, Warszawa 1979.

[2] Konieczny R.: Zmodyfikowany model matematyczny ST3+OP2 współpracy kilku odbieraków prądu z siecią trakcyjną. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Elektryka nr 86/1984.

[3] Konieczny R.: Zestawienie modeli matematycznych współpracy dynamicznej odbieraka prądu z siecią trakcyjną. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Transport nr 2/1985.

[4] Konieczny R.: Niektóre aspekty związane ze stosowaniem zmodyfikowanego modelu matematycznego ST3+OP2 do symulacji współpracy kilku odbieraków prądu z siecią trakcyjną. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka nr 86/1984.

[5] Konieczny R.: Kryteria oceny jakości współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka nr 78/1982.

[6] Ziętara G.: Język symulacji układów ciągłych - IBM system 360 - Continous System Modeling Program (CSMP) - ZETO - ZOWAR, Warszawa 1973.

[7] Biblioteka podprogramów matematycznych kompilatora FORTRAN - CROOK dla maszyn cyfrowych MERA-400 pod systemem operacyjnym CROOK-4, tom VI. Poznań 1983.

[8] WZE ELWRO: Fortran - Biblioteka podprogramów, zeszyty 1-5, nr 13044/1-5. Wrocław 1971-1972.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Przemysław Pazdro

ВОПРОСЫ ОПРОГРАММИРОВАНИЯ МОДЕЛИ ST3+OP2 СОДЕЙСТВИЯ НЕСКОЛЬКИХ ПРИЁМНИКОВ ТОКА С КОНТАКТНОЙ СЕТЬЮ

Р е з ю м е

В статье представлены аспекты опрограммирования модеффицированной математической модели типа ST3+OP2 динамического содействия нескольких приёмников тока с контактной сетью для целей симмуляционных расчётов проводимых на компьютерах. Модиффицированная модель типа ST3+OP2 в настоящее время в стране является единственной моделью, позваляющей на симуляцию содействия неограниченого количества приёмников тока с контактной сетью. Состоит она из системы разностно-дифференциальных уравнений, неоднородных с переменными коэффициентами. В зависимости от принятого языка программирования а также мощности компьютера, можно различным способ решать приведённые уравнения. В статье рассмотрены два языка программирования: ЦСМП и ФОРТРАН а также представлена структура симуляционных программов на этих языках.

PROBLEM OF MODEL ST3+OP2 PROGRAMMING FOR COOPERATION OF SOME CURRENT COLLECTORS WITH TRACTION NETWORK

S u m m a r y

In the paper aspects of programming of the modified mathematical model of the type ST3+OP2 for dynamic cooperation of some current collectors with a traction network are presented. The model is made for simulation calculations performed by computers. It is the only domestic model which enabels simulation of collaboration of arbitrary number of current collectors with a traction network. The model is based on the segment mapping of the traaction network. It is described by a system of differential-difference equations, heterogeneous with varying coefficients. A solution depends on the programming language and the computational power of the computer. Two languages have been considered CSMP and Fortran and structures of simulation programs in these two languages are presented. Constraints assigned by the compilers of these languages and pecular feature of the problem determines the final form of the considered programs.