

Tadeusz RODACKI  
Jerzy SOBCZAK  
Andrzej KANDYBA

#### PROGRAM KOMPUTEROWEJ SYMULACJI PRACY UKŁADÓW ZASILANIA ŁUKU PRĄDU STAŁEGO

Streszczenie. Opracowane w artykule "Komputerowa symulacja układów zasilania łuku prądu stałego - modele matematyczne układów zasilania i regulacji". modele matematyczne obwodów głównych i układów regulacji prądu łuku pozwoliły stworzyć program uniwersalny do badania i komputerowego wspomaganie projektowania wybranych zasilaczy łuku prądu stałego.

#### COMPUTER ALGORITHM USED FOR SIMULATION OF OPERATION OF D.C. ELECTRIC ARC SUPPLY SYSTEM

Summary. The mathematical models of power and control circuits discussed in the paper entitled "Computer - based simulation of d.c. electric arc supply systems - mathematical models of supply and control circuits" make possible the development of general - purpose computer program. The program aids the investigation and design of selected d.c. electric arc supply systems.

#### ПРОГРАМИРОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИМУЛЯЦИИ РАБОТЫ ПИТАНИЯ ДУГИ ПОСТОЯННОГО ТОКА - МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СХЕМ ПИТАНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ

Резюме. Разработанные в статье "Компьютерная симуляция питающей цепи электрической дуги постоянного тока - математические модели схем питания и регулирования" математические модели основанных цепей и модели регулирования тока дуги помоги создать универсальную программу для изучения и компьютерной поддержки проектирования избранных питающих устройств дуги постоянного тока.

## 1. PROGRAMY KOMPUTEROWEJ SYMULACJI TYRYSTOROWYCH ZASILACZY ŁUKU

Celem pracy było stworzenie programów modelujących dwa rodzaje zasilaczy łuku prądu stałego, umożliwiających prowadzenie przez użytkownika obliczeń nie wymagających znajomości zasad symulacji komputerowej i języka programowania. Uniwersalność przedstawionych programów polega na tym, że użytkownik może w każdej chwili, bez dokonywania zmian w tekście programu, wprowadzić swój zestaw podstawowych parametrów zasilacza i dokonać dowolnych obliczeń dla stanów ustalonych, jak też dynamicznych. Parametry wpisane przez użytkownika są samoczynnie pamiętane w zbiorze utrwalonym na dysku i gotowe do dowolnych następnym modyfikacji. Rozwiązania mogą być otrzymywane w dwojaki sposób: - przebiegów czasowych wybranych, podstawowych wielkości umożliwiających ocenę dynamiki zasilacza (procedura rysowania tych przebiegów zawiera blok automatycznego skalowania, stosownie do wartości napięć i prądów maksymalnych wprowadzonych przez użytkownika) - zestawu liczb określających średnie i skuteczne prądy istotnych gałęzi zasilacza oraz pobierane moce, a umożliwiających weryfikację doboru elementów oraz obliczenie charakterystyk energetycznych zasilaczy dla stanów ustalonych przy ściśle określonej zależności napięcia łuku od jego prądu (wspomniane wyniki są całkowane za okres napięcia zasilającego i uaktualniane na ekranie w odstępach czasowych kilkudziesięciu sekund, niezbędnych dla wykonania pełnej analizy jednego okresu). Obok możliwości zadawania dowolnych wartości prądu wyjściowego zasilacza, za pomocą klawiatury można podczas wykonywania obliczeń wprowadzić dowolną z 5 zaprogramowanych charakterystyk łuku. O ile żadna z nich nie odpowiada potrzebom użytkownika, należy wykorzystać tekst źródłowy programu i dokonać niezbędnej zmiany w procedurze OBC.

## 2. OPIS PROCEDUR ZAMIESZCZONYCH W PROGRAMACH

Program Z1 stosuje się do zasilacza z tyrystorowym sterownikiem napięcia przemiennego, dławikami włączonymi do tyrystorów i niesterowanym prostownikiem wyjściowym (na rys.1a). Na podstawie tego programu omówiono procedury

których większość występuje w programie Z2, gdzie spełniają one identyczne funkcje, różniąc się oczywiście treścią lub danymi. Program Z1 zawiera 16 procedur i segment główny. Procedura ROZLU dokonuje rozkładu macierzy kwadratowej  $\underline{A}$  ( $n \times n$ ) na macierze trójkątne: dolną  $\underline{L}$  i górną  $\underline{U}$ . Do jej wykonania musi być zadeklarowany parametr  $n$  (wymiar macierzy  $\underline{A}$ , w programie jest on równy rzędowi równania stanu) oraz wymiary macierzy  $\underline{A}$ . Ponieważ zawiera on 3-krotnie zagłębioną pętlę for, wykonanie jej jest najbardziej pracochłonną operacją w programie korzystne jest zatem, że procedura ROZLU wywoływana jest tylko przy zmianie stanu zaworów zasilacza lub przy zmianie wielkości kroku  $h$ . Algorytm procedury rozkładu L-U został przedstawiony na rys. 1.

Procedura PODST, przy znanych macierzach  $\underline{L}, \underline{U}, \underline{B}$ , wykonuje podstawianie wstecz, wyliczając tym samym wektor stanu  $\underline{X} = \underline{X}_{n+1}$  (jego składowe w danym kroku pracy programu). Procedura ta z natury rzeczy jest wykonywana w każdym kroku, jednak czas jej obsługi jest, zwłaszcza przy dużym wymiarze  $n$ , znacznie mniejszy niż dla procedury ROZLU. Algorytm procedury PODST został przedstawiony na rys. 2.

Procedura LICZW wyznacza aktualne wartości parametrów gałęzi związanych z zaworami ( $R_z, L_z, R_s$ ), a następnie wylicza nowe współczynniki macierzy stanu  $\underline{W}$ . Musi być ona wywoływana tylko w przypadku zmiany wektora  $\underline{F}$  stanu zaworów.

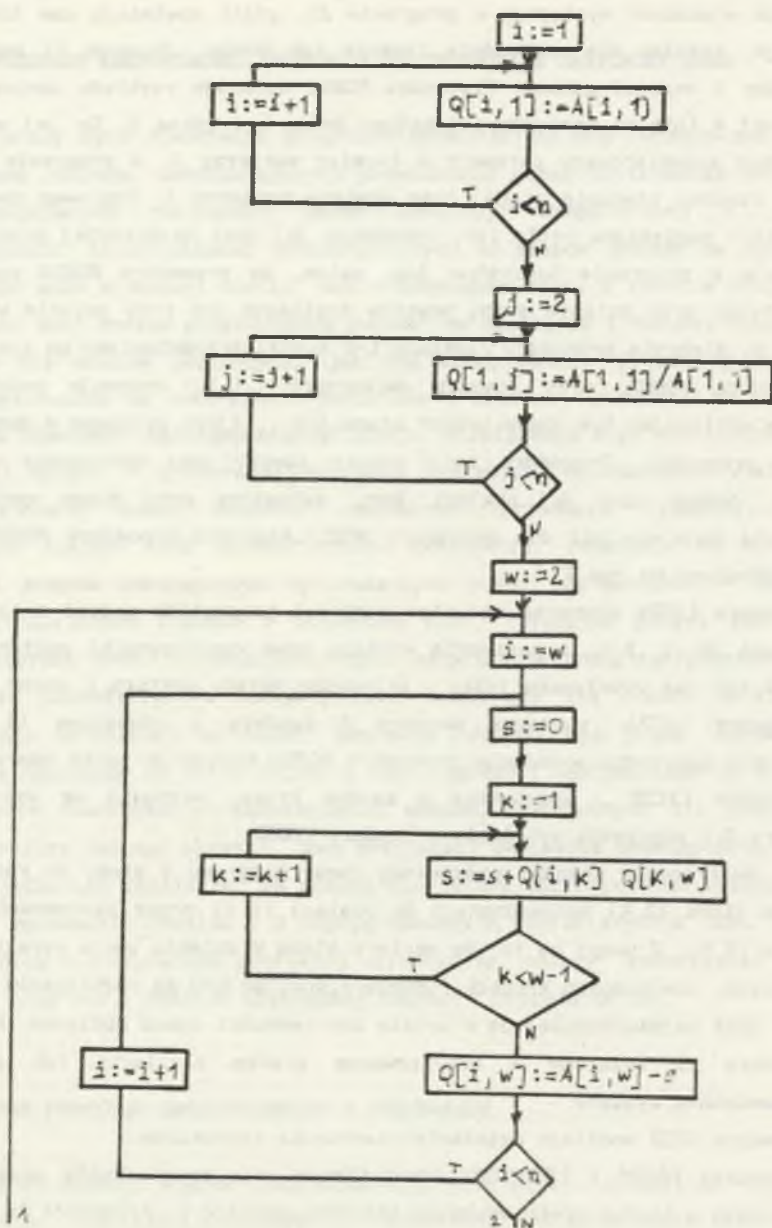
Procedura LICZA, wyznacza macierz  $\underline{A}$  zgodnie z równaniem (2.6). Jej wykonanie poprzedza wywołanie procedury ROZLU, następuje zatem sporadycznie.

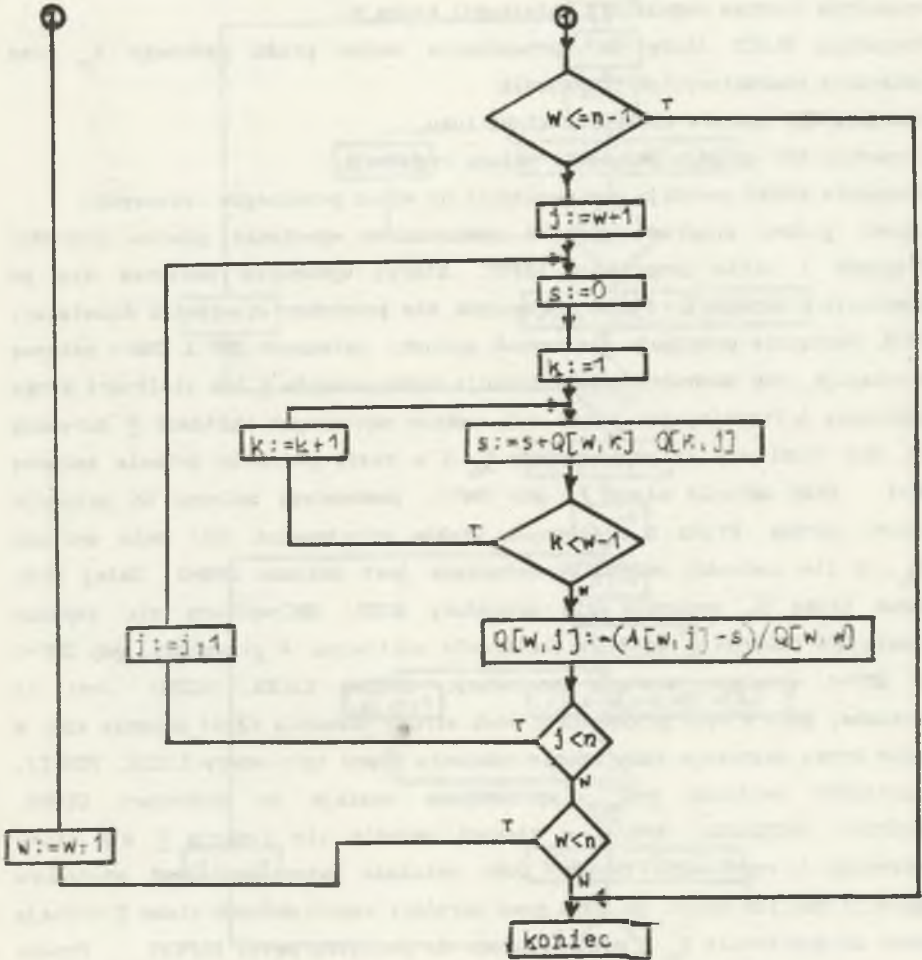
Procedura LICZB, wykonywana w każdym kroku, wyznacza wg wzoru (2.6) macierz  $\underline{B}$  i poprzedza wywołanie procedury PODST.

Pięć ww procedur stanowi podstawową część programu i służy do rozwiązywania równań stanu (2.4) sprowadzonych do postaci (2.6) przez zastosowanie wzoru Eulera (2.5). Z uwagi na to, że macierz stanu  $\underline{W}$  zmienia swoje wyrazy tylko w wybranych, nielicznych krokach, użycie algorytmu L-U do rozwiązania równania (2.6) jest najskuteczniejsze w sensie oszczędności czasu obliczeń. Pozostałe procedury są związane z analizowanym grafem zasilacza lub służą do wyprowadzania wyników.

Procedura STER modeluje działanie sterownika tyrystorów.

Procedury DIODY i TYRYSTORY identyfikują stan przewodzenia zaworów oraz wyznaczają w każdym kroku aktualne składowe wektora  $\underline{F}$ . Procedura ta działa w każdym kroku.





Rys. 1. Algorytm procedury ROZLU  
Fig. 1. Algorithm of the procedure ROZLU

Procedurę ZERO wykonuje się jednorazowo przed wejściem do pętli programu REPEAT. Jej zadaniem jest wyzerowanie macierzy  $\underline{W}, \underline{A}$ , i  $\underline{X}, \underline{X}_n$ . Procedura WP powoduje zadeklarowanie wartości początkowych niektórych zmiennych i parametrów (nastaw regulatora, wielkości kroku  $h$ ).

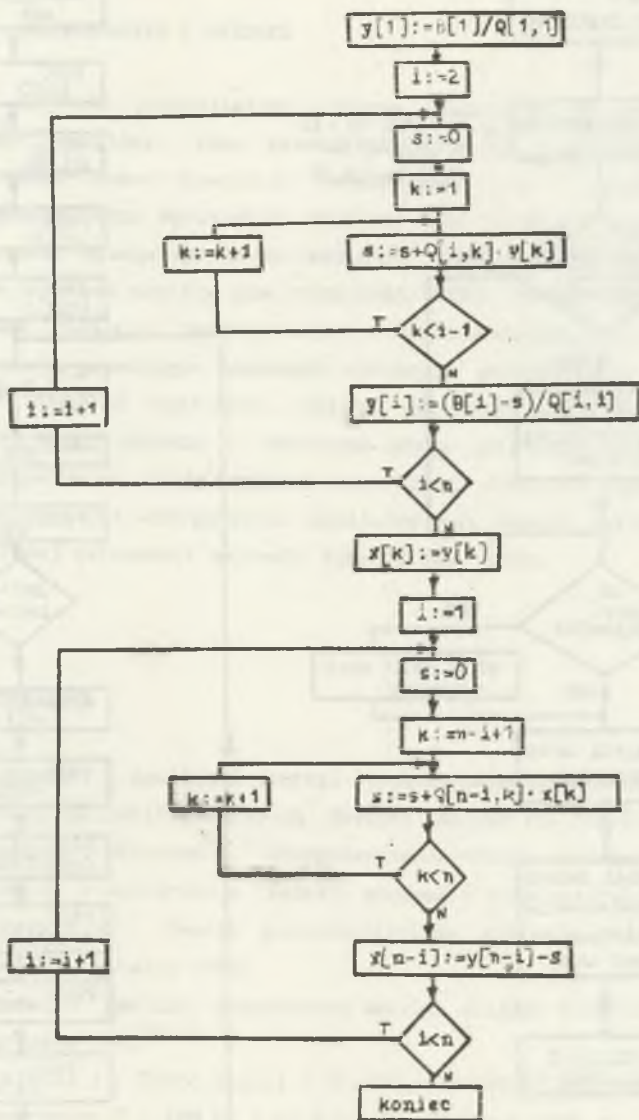
Procedura KLUCZ służy do wprowadzania zmian prądu zadanego  $i_z$  oraz wybierania charakterystyk obciążenia.

Procedura OBC zawiera charakterystyki łuku.

Procedura REG opisuje działanie układu regulacji.

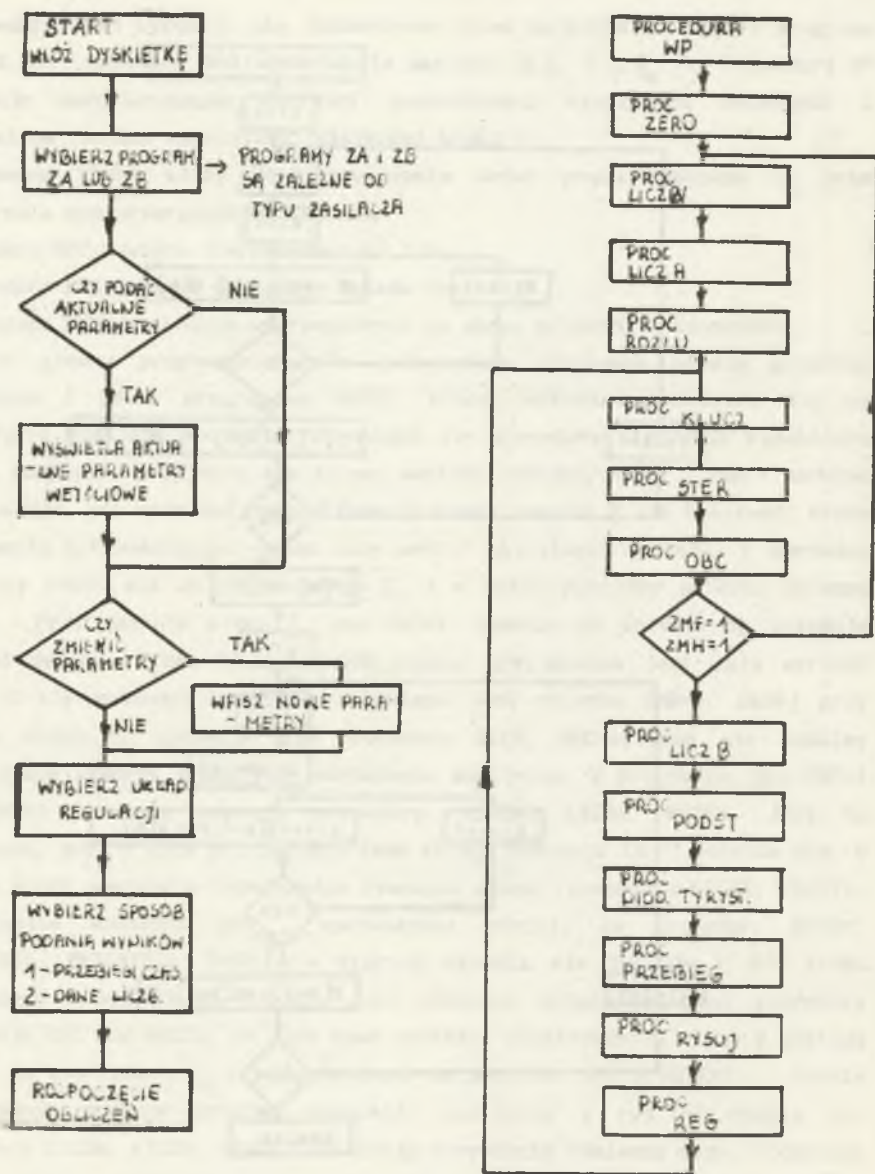
Procedura RYSUJ powoduje wyprowadzenie na ekran przebiegów czasowych.

Segment główny programu zawiera jednorazowe wywołanie pięciu procedur wstępnych i pętlę programową REPET, której wykonanie zawieszają się po wciśnięciu klawisza K. Pętla rozpoczyna się procedurą śledzenia klawiatury KLUCZ. Następnie przyjmuje się zerowe wartości zmiennych ZMF i ZMH - zmienne te wskazują, czy zachodzi zmiana funkcji stanu zaworów  $\underline{F}$  lub wielkości kroku całkowania  $h$ . Przebiegając przez cały wektor aktualnych wartości  $\underline{F}$  sprawdza się, czy różni się on poprzedniego  $\underline{F}_n$  i w razie potrzeby ustawia zmienną ZMF=1. Przy zmianie stanu  $\underline{F}$ , gdy ZMF=1, pomocnicza zmienna NK przyjmuje wartość zerową. Przez 5 następnym kroków przyjmowana jest mała wartość  $h=h_n$ . O ile zachodzi zmiana  $h$  ustawiana jest zmienna ZMH=1. Dalej przy znanym kroku  $h$ , wykonuje się procedury STER, OBC-wylicza się impulsy wyzwalające zaworów i napięcie obciążenia zasilacza. W przypadku, gdy ZMF=1 lub ZMH=1 wywołane zostają procedury: LICZW, LICZA, ROZLU. Jest to konieczne, gdyż w tych przypadkach lewa strona równania (2.6) zmienia się. W każdym kroku następuje rozwiązanie równania stanu (procedury LICZB, PODST), a aktualne wartości  $\underline{X}=\underline{X}_{-n+1}$  wprowadzone zostają do procedur: DIODY, TYRYSTORY, PRZEBIEGI, RYSUJ, w których określa się funkcję  $\underline{F}$  dla kroku następnego i wyprowadza wyniki. Jako ostatnia wykonywana jest procedura regulacji REG lub REGIU, po czym nowe wartości współrzędnych stanu  $\underline{X}$  zostają uznane za poprzednie  $\underline{X}_n$  i program wraca do początku pętli REPEAT. Prawie identycznie pracuje program symulacji zasilacza z rys.1bo nazwie z2. Procedury LICZW, LICZB, ZAWORY zawierają oczywiście odmienne dane. Procedura PROST, która nie występuje w programie Z1, stanowi funkcjonalny mode prostownika sterowanego



Rys.2. Algorytm procedury PODST

Fig.2. Algorithm of the procedure PODST



Rys.3. Algorytm programu

Fig.3. Program algorithm



### 3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W artykule przedstawiono program służący do projektowania i badania układów zasilania łuku prądu stałego, nie wymagający od użytkownika znajomości zasad symulacji komputerowej, jak i języka programowania. Użytkownik może wprowadzić dowolne dane wejściowe dotyczące parametrów zasilania, wymaganego prądu zadanego łuku i doboru układu regulacji. Na bazie programu możliwy jest odpowiedni dobór nastaw regulatorów, dla obydwu układów regulacji współpracujących z zasilaczami z rys. 1. Możliwość obserwacji przebiegów czasowych wybranych, podstawowych wielkości umożliwia ocenę dynamiki zasilacza. Dzięki możliwości otrzymania zestawu liczb określających średnie i skuteczne prądy istotnych gałęzi zasilacza oraz pobierane moce, można dokonać weryfikacji doboru elementów oraz obliczyć charakterystyki energetyczne zasilacza dla stanów ustalonych przy ściśle określonej zależności napięcia łuku od jego prądu.

### LITERATURA

- [1] Rodacki T.: Analiza i synteza tyrystorowych układów zasilania i regulacji odbiorników łukowych. Zeszyty Naukowe Pol.Śl. Elektryka z.96, 1985.
- [2] Rodacki T. Kandyba A.: Energooszczędne układy zasilania odbiorników łukowych. v konferencja "Badania naukowe w elektrotermii". Ustroń 1991.
- [3] Grzesik B. Teoria przekształtników statycznych. Skrypt Uczelniany Pol.Śl., gliwice 1989.
- [4] Chua L.O. Pen Lin: Komputerowa analiza układów elektronicznych. WNT Warszawa 1981.
- [5] Bielecki J.: Turbo pascal z grafiką dla IBM PC. WNT Warszawa, 1988.
- [6] Kozdrowicz T.: IBM PC i PC DOS. WKŁ Warszawa 1988.

Recenzent: prof.dr hab.inż. Andrzej Jordan

Wpłynęło do Redakcji dnia 14 maja 1992 r.

### Abstract

The objective of the work is to develop a general - purpose computer program aiding design and investigation of d.c. supply systems discussed in the paper "Computer - based simulation of d.c. electric arc supply systems - mathematical models of supply and control circuits". The general information about this program is presented in Chapter 1. The program does not require the user to know any of the principles of computer-based simulation or programming languages. Algorithms and numerical procedures (ROZLU, PODST, LICZW, LICZA, LICZB) are described in detail in Chapter 2. The same chapter presents the more general description of the procedures used for analyzing the topology of the supply system and for presentation of the results. The conclusions of both papers are discussed in Chapter 3.