

Maciej CZAKAŃSKI

## STEROWANIE IMPULSAMI BRAMKOWYMI TYRYSTORÓW Z WYKORZYSTANIEM STEROWNIKA MIKROPROCESOROWEGO

**Streszczenie:** W artykule omówiono zalety programowanego sterownika mikroprocesorowego w stosunku do stosowanych obecnie sterowników elektronicznych. Zaakcentowano ich uniwersalność oraz łatwość dokonywania zmian w algorytmach sterowania. Przedstawiono również praktyczne rozwiązanie takiego sterownika, jego konstrukcję i oprogramowanie oraz problemy techniczne powstałe przy jego wykonaniu.

### 1. WSTĘP

Ostatnie dwa dziesięciolecia można nazwać epoką mikroprocesorów. Opracowana i opanowana już w latach 70 technologia ich masowej produkcji prowadzi do ciągłego spadku cen, a co za tym idzie, zastosowania mikroprocesorów w licznych, coraz to nowych dziedzinach techniki. Stale poszerzający się asortyment, malejące ceny, rosnące możliwości i szybkość działania powodują, że stosuje się je w nowych generacjach, znanych już od dawna i sprawdzonych, urządzeń. Mikroprocesory znajdują zastosowanie tam, gdzie mogą uprościć czy całkowicie wyeliminować obsługę urządzeń przez człowieka oraz dzięki optymalnemu sterowaniu mogą przynieść oszczędności energii. Z powyższych względów można je również zastosować w celu sterowania impulsami bramkowymi tyrystorów pracujących w znanych przekształtnikach energii.

Celem niniejszej pracy jest omówienie i przeanalizowanie działania uniwersalnego sterownika laboratoryjnego, wykonanego dla następujących przekształtników tyrystorowych [1]:

- A. Prostownik jednofazowy półsterowalny.
- B. Prostownik jednofazowy pełnosterowalny.

- C. Prostownik trójfazowy półsterowalny.
- D. Prostownik trójfazowy pełnosterowalny.
- E. Chopper z regulacją współczynnika wypełnienia.

## 2. WYMAGANIA STAWIANE UNIWERSALNEMU LABORATORYJNEMU STEROWNIKOWI IMPULSÓW BRAMKOWYCH

Stosowane obecnie na szeroką skalę elektroniczne układy sterowania tyrystorów posiadają pewne wady. Podstawową z nich jest skomplikowana i sztywna budowa, a co za tym idzie brak uniwersalności. Raz zaprojektowany i wykonany sterownik może sterować wyłącznie jednym rodzajem przekształtnika energoelektronicznego w ściśle zadanych ramach. Każda poważniejsza zmiana w sterowanym urządzeniu pociąga za sobą konieczność gruntownej i pracochłonnej przebudowy elektronicznego układu sterowania. Każda pomyłka czy niedokładność w wykonaniu pociąga za sobą żmudne i połączone często z demontażem części sterownika poszukiwania.

Wady te można wyeliminować poprzez zastosowanie sterownika mikroprocesorowego. Wystarczy zastosowanie jednego sterownika zaopatrzonego w odpowiednie urządzenia wejścia-wyjścia.

Proponowane rozwiązanie posiada wiele zalet, do których możemy zaliczyć między innymi:

- elastyczność - sterownik zaopatrzony w odpowiedni program może sterować skrajnie różniącymi się od siebie przetwornikami tyrystorowymi,
- łatwość i szybkość dokonywania poprawek i usprawnień algorytmu sterowania bez konieczności przeróbek urządzeń elektronicznych,
- możliwość tworzenia wyspecjalizowanych podprogramów, z których można następnie "składać" właściwy program sterujący,
- możliwość stworzenia uniwersalnego stanowiska laboratoryjnego dla celów dydaktycznych - umożliwi on układanie i uruchamianie własnych programów, lub korzystanie z gotowej biblioteki programów,
- łatwość zaadaptowania sterownika dla celów przemysłowych poprzez przeniesienie programu z magnetycznego nośnika pamięci na pamięci programowalne typu EPROM,
- możliwość, przy bardziej wyspecjalizowanych programach, koordynacji jednoczesnego działania większej ilości urządzeń,

- bezpośrednia diagnostyka stanu pracy i ewentualnych uszkodzeń sterowanego urządzenia z wyprowadzaniem odpowiednich komunikatów poprzez monitor sterownika.

### 3. STEROWNIK MIKROPROCESOROWY IMPULSÓW BRAMKOWYCH TYRYSTORÓW

#### 3.1. Dobór mikroprocesora Z80

Centralnym elementem sterownika mikroprocesorowego jest sam mikroprocesor. Przy jego doborze kierowano się następującymi kryteriami:

- potrzebami projektowanego urządzenia,
- parametrami technicznymi,
- łatwością oprogramowania,
- dostępnością i ceną.

Uwzględniając powyższe kryteria wybrano mikroprocesor Z80 firmy Zilog. Częstotliwość zegara Z80 wynosi 2 MHz (maksymalna 2.5 MHz, a w wersji Z80 B - 6 MHz) [4], co w porównaniu z częstotliwością sieci elektrycznej 50 Hz, przy której pracują przewidziane do sterowania urządzenia, daje 40000 taktów zegara mikrokomputera na jeden pełny cykl przekształtnika. Daje to zarazem 111 taktów na jeden stopień, co przy rozkazach mikroprocesora trwających przeciętnie 4 - 20 taktów zegara umożliwia skuteczne sterowanie z dokładnością do 1 stopnia. W założeniach przewidziano sterowanie jednocześnie maksimum sześcioma zaworami elektrycznymi (tyrystorami), a Z80 przy 8-bitowej szynie danych umożliwia bez dodatkowych komplikacji sterowanie ośmioma, co daje zapas dwu wolnych linii sterowania [1]. Dlatego też zbędnym i ekonomicznie nieuzasadnionym stało się zastosowanie mikroprocesora 16-bitowego. Mikroprocesor taki, przy około 5-krotnie wyższej cenie mógłby zapewnić pewne przyspieszenie (ale przy zastosowaniu szybszego zegara), oraz 16-bitową szynę danych, co jak widać dla celów opisywanego sterownika okazało się niepotrzebne [6]. Jeśli brać pod uwagę rodzinę mikroprocesorów 8-bitowych, to o wyborze Z80 zadecydowała jego popularność. Jest on kontynuacją równie popularnego mikroprocesora INTEL 8080, z którym jest w pełni kompatybilny. Dystansuje jednak swojego poprzednika rozszerzoną listą rozkazów języka assemblera i posiadaniem dwu przełączalnych zbiorów rejestrów, dzięki czemu można pisać dla niego bardziej optymalne programy. INTEL 8080 wymaga zasilania +12V i ±5V, gdy Z80 potrzebuje jedynie +5V i pracuje na

sygnałach w standardzie TTL, co upraszcza znacznie zasilanie całego sterownika. Dzięki popularności Z80 równie popularna i łatwo dostępna stała się dotycząca go literatura [5]. Jego architektura i język wewnętrzny są opisane o wiele dokładniej niż u innych mikrokomputerów 8-bitowych, takich np. jak znany z dość szeroko rozpowszechnionych w Polsce mikrokomputerów Commodore i ATARI - MOTOROLA 6502. Podczas konstruowania sterownika w oparciu o Z80 można było korzystać z zaprojektowanych przez firmy Intel oraz Zilog i dostępnych w kraju specjalizowanych modułów scalonych. Ostatecznym argumentem, który zadecydował o wyborze mikroprocesora Z80 była dostępność wykorzystującego go sterownika miSTER Z80 produkowanego przez ZEG w Tychach. Sterownik ten umożliwia wykonanie na dołączonych płytkach uniwersalnych własnych układów wejścia-wyjścia, ze swojej strony zapewniając komunikację z klawiaturą, monitorem, zasilanie, obudowę oraz dołączenie pamięci zewnętrznej w postaci stacji dysków. W zależności od posiadanej konfiguracji kart - modułów, miSTER Z80 może służyć jako sterownik przemysłowy lub komputer do wspomagania prac biurowo - laboratoryjnych. Można na nim pisać i testować programy w asemblerze (lub dostępnych na nim językach wyższego rzędu takich jak Basic czy Pascal) [2].

### 3.2. Opis i budowa sterownika

Jak już wspomniano, sterownik impulsów brankowych tyrystorów wykonano na bazie produkowanego przez ZEG w Tychach sterownika miSTER Z80. Ze względu na ograniczenie kosztów sprzętu, zestaw wykorzystany w ramach omawianej pracy jest stosunkowo skromny i posiada tylko komplet najbardziej niezbędnych modułów:

- MB-001 mikroprocesor Z-80,
- MB-901 BUS.ADAPTER,
- MB-701 KB (moduł obsługi klawiatury KL 100),
- MB-703 MSG (moduł monitora semigraficznego MESG-02),
- MB-108 EPROM S-RAM

oraz urządzenia zewnętrzne:

- monitor semigraficzny NEPTUN,
- zasilacz,
- klawiatura KL 100.

Taki zestaw, będąc wystarczającym dla sterowania układem, jest niezbyt wygodny przy uruchamianiu programu. Dlatego też do pisania i uruchamiania

programów wykorzystano wersję biurową sterownika zaopatrzoną w dwie stacje dysków, wyjście na drukarkę i programator EPROM-ów.

Sterownik zawiera zegar dostarczający taktów o częstotliwości 2 MHz. Może obsługiwać 64 kilobajty (65536 bajtów) pamięci RAM lub ROM (EPROM) zamontowanej na module MB-108.

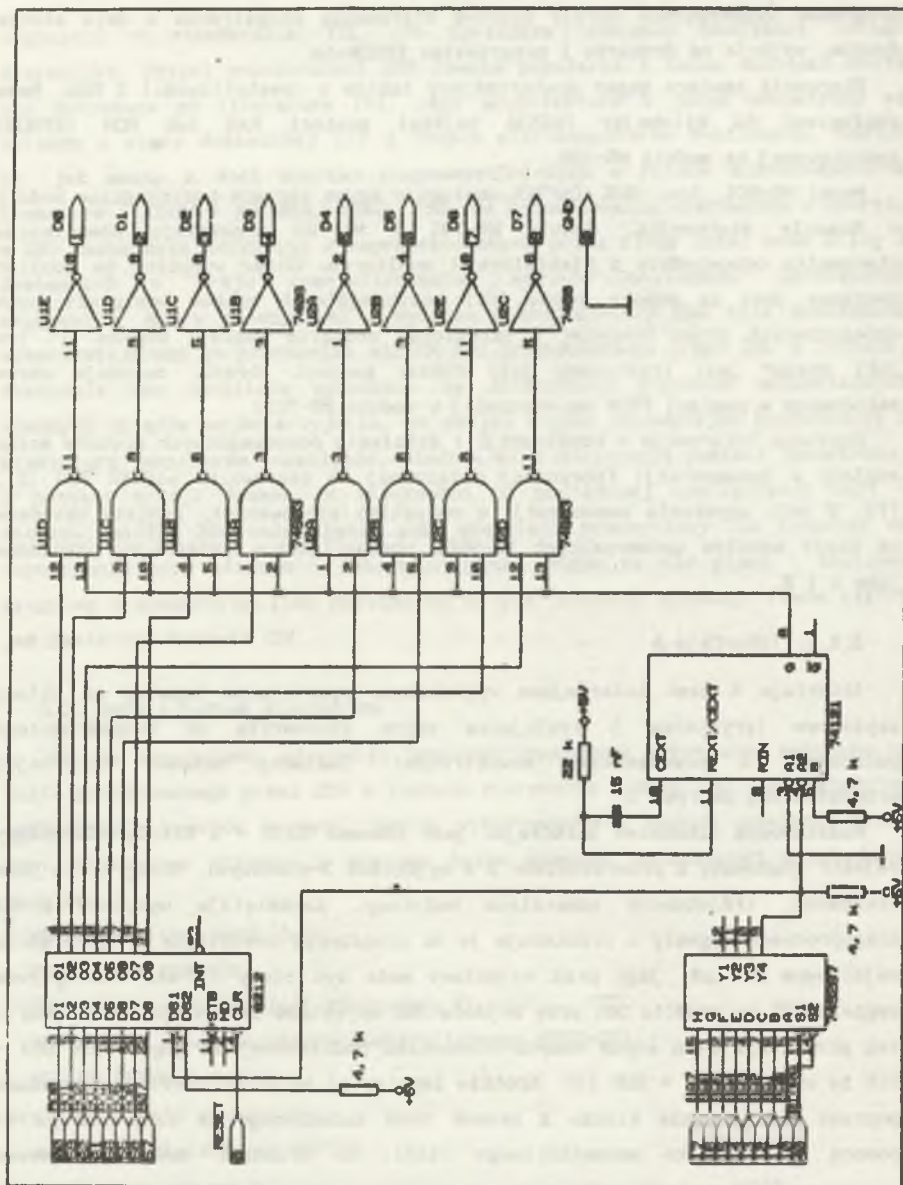
Moduł MB-901, tzw. BUS.ADAPTER obsługuje szynę łączącą poszczególne moduły w kasecie sterownika. Moduły MB-701 i MB-703 zapewniają komunikację sterownika odpowiednio z klawiaturą i monitorem. Obraz wysyłany na monitor tworzony jest za pomocą kodów ASCII poszczególnych znaków semigraficznych umieszczonych przez komputer w określonym obszarze pamięci obrazu. (O tym jaki obszar jest traktowany jako obszar pamięci obrazu, decyduje adres zakodowany w pamięci PROM umieszczonej w module MB-703)

Dokładne informacje o konstrukcji i działaniu poszczególnych modułów można znaleźć w dokumentacji fabrycznej dołączanej do sterownika miSTER Z80 [2], [7]. W celu uzyskania komunikacji z obiektami sterowanymi, zostały wykonane na bazie modułów uniwersalnych MU-906a specjalizowane interfejsy oznaczone jako A i B.

### 3.2.1. Interfejs A

Interfejs A jest interfejsem wyjściowym, wysyłającym impulsy na układy zapłonowe tyrystorów i izolującym szynę sterownika od bezpośredniego połączenia z urządzeniami zewnętrznymi. Dokładny schemat interfejsu przedstawiono na rys. 1.

Podstawowym elementem interfejsu jest element 8212 - 8 bitowy równoległy rejestr zbudowany z przerzutników D z wyjściami 3-stanowymi. Służy on tu jako sterowany, trójstanowy wzmacniacz buforowy. Zapamiętuje wysyłane przez mikroprocesor sygnały i przekazuje je na urządzenia zewnętrzne. Przy prądzie wejściowym 250  $\mu$ A, jego prąd wyjściowy może być równy 15 mA. Pod wpływem sygnału "0" na wejściu DS1 przy wejściu DS2 sprzętowo ustawionym na "1" bufor ten przepisuje stan szyny danych sterownika podłączonej do jego wejść DI1 + DI8 na wyjścia DO1 + DO8 [3]. Krótkie impulsy na wyjściu interfejsu uzyskano poprzez zastosowanie klucza z bramek NAND załączanego na czas 230  $\mu$ s za pomocą przerzutnika monostabilnego 74121. Za bramkami NAND zastosowano negatory 7406 pełniące funkcję wzmacniaczy mocy. Zadziałanie interfejsu następuje pod wpływem pojawienia się jego adresu na szynie adresowej. Rozpoznaje go dekodery adresów 74S287, który następnie wysyła odpowiedni sygnał uruchamiający bufor 8212 oraz przerzutnik 74121 [8].



Rys. 1. Interfejs A

Fig. 1. Interface A

### 3.2.2. Interfejs B

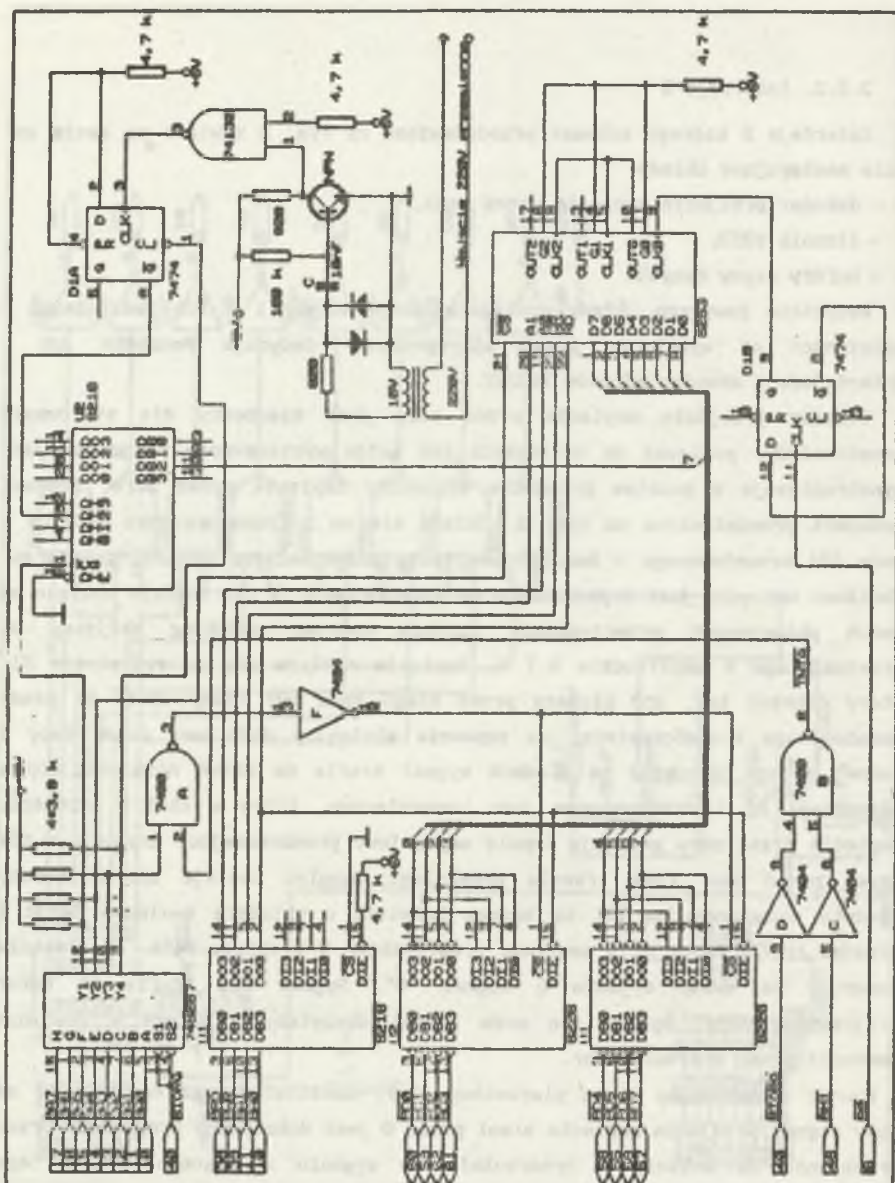
Interfejs B którego schemat przedstawiono na rys. 2 zawiera na swoim module następujące układy:

- dekodery przejścia napięcia przez zero,
- licznik 8253,
- bufor szyny danych.

Wszystkie powyższe układy posiadają swoje adresy i o ich zadziałaniu w zależności od wywołania przez mikroprocesor decyduje podobnie jak w interfejsie A dekodery adresów 74S287.

Dekodery przejścia napięcia przez zero jest niezbędny dla sterowania prostowników, ponieważ do odliczania ich kątów wysterowania potrzebna jest synchronizacja z punktem przejścia sinusoidy napięcia przez zero. Schemat dekodera przedstawiono na rys. 2. Składa się on z transformatora 220/10V o mocy 4VA zamontowanego w kasecie zasilania uniwersalnego układu tyrystorów. Obniżone napięcie jest doprowadzone do interfejsu B. W nim zostaje obcięte na dwóch połączonych przeciwobnie diodach tworząc przebieg zbliżony do prostokątnego o amplitudzie 0,7 V. Napięcie odkłada się na rezystorze R1, który dobrano tak, aby płynący przez niego prąd był równy około 5% prądu znamionowego transformatora, co zapewnia minimalny dodatkowy pobór mocy z jednej z faz. Uzyskany na diodach sygnał trafia na układ różniczkujący z elementami PC i tranzystorem jako wzmacniaczem, który w chwili przejścia napięcia przez zero generuje impuls napięciowy przekraczający napięcie 0.65V przez ponad 1ms. Czas trwania powstałego impulsu zostaje znormalizowany zgodnie ze standardem TTL na bramce Schmitta w układzie scalonym 74132 i stamtąd trafia na wejście zegarowe przerzutnika D z układu 7474. Przerzutnik generuje na swoim wyjściu Q sygnał "0". Sygnał ten trafia na bufor trójstanowy 8216. Sygnał ten może zostać odczytany z bufora w dowolnym momencie przez mikroprocesor.

Powrót dekodera do stanu pierwotnego  $Q=1$ , umożliwiającego oczekiwanie na nowy sygnał przejścia napięcia sieci przez 0 jest dokonywany programowo przez przesłanie na wejście R przerzutnika D sygnału zerującego. Można tego dokonać, uaktywniając odpowiedni adres sterownika [8].



Rys. 2. Interfejs B

Fig. 2. Interface B



Licznik 8253 jest właściwie zestawem 3 liczników 16 - bitowych. Umożliwia on pracę programu bez konieczności wykonywania w nim funkcji zliczających. Może pracować w 6 trybach, z których w powyższej pracy zastosowano dwa:

- 0 - generator przerwania po odliczeniu do zera,
- 2 - programowany dzielnik częstotliwości.

Programowanie poszczególnych liczników jest możliwe dzięki użyciu, tzw. słowa sterującego. Rejestr tego słowa, jak i każdy z liczników, posiadają osobne adresy, których najniższe dwa bity, kierowane do wejść A0 i A1, pozwalają układowi rozróżnić o który z nich chodzi. Jednocześnie adresy te, podane na dekodery adresu 74S287 powodują wysłanie sygnałów uaktywniających układ 8253.

Dane są podawane lub czytane z wejść Di ( $i = 0 - 7$ ). Słowo sterujące informuje o numerze, sposobie ładowania, trybie pracy i sposobie zliczania konkretnego licznika. Po zaprogramowaniu licznika można pod jego adres podać dane dla jego pracy. Licznik 0 przeznaczono na dzielnik częstotliwości. Do jego wejścia CLK0 doprowadzono takt zegarowy 1 MHz, uzyskany z podziału taktu zegara systemowego 2 MHz na przerzutniku D z elementu 7474. Częstotliwość wyjściowa OUT0 zależy od potrzeb programu. Sygnał o tej częstotliwości jest doprowadzony na wejścia CLK liczników 1 i 2, które pracują w trybie 0. Po otrzymaniu danych z programu, odliczają one zadaną ilość podanych z OUT0 taktów i po zakończeniu zliczania generują na swoich wyjściach OUT1 i OUT2 sygnał "0". Użycie licznika umożliwia wykorzystanie czasu w którym następuje zliczanie na wykonywanie innych partii programu. Stan licznika po ponownym załadowaniu zmienia się na "1" i utrzymuje do zakończenia kolejnego zliczania. Aktualny stan licznika można w każdej chwili odczytać z jego portu [3].

#### 4. PROGRAM STEROWANIA

Program sterowania został napisany w języku asemblera na mikroprocesor Z-80. Dzięki szybkości języka wewnętrznego, może on pracować w czasie rzeczywistym, co jest warunkiem skuteczności działania sterownika.

Cały program można podzielić na 4 zasadnicze podprogramy:

- planszy tytułowej i MENU,
- sterowania choppera,
- sterowania prostowników 1-fazowych,
- sterowania prostowników 3-fazowych.

Podprogram planszy tytułowej i MENU jest częścią informacyjno-rozdzielczą. Informuje o miejscu powstania i autorstwie programu oraz pozwala na wybranie odpowiedniej opcji z udostępnionego MENU. Po sprawdzeniu poprawności wybranej opcji, zostaje wywołany jeden z trzech pozostałych podprogramów. Podprogramy te są od siebie wzajemnie niezależne i ich liczbę można w razie potrzeby w ramach dostępnej pamięci dowolnie zwiększyć, pod warunkiem jednoczesnego uzupełnienia MENU.

Kolejnym podprogramem jest blok sterowania choppera tyrystorowego. Został on ułożony jeszcze przed wykonaniem interfejsu B, dlatego też nie wykorzystano w nim licznika 8253, co umożliwiłoby poszerzenie zakresu jego regulacji, np. poprzez dodanie regulacji częstotliwości pracy choppera. W oprogramowanej wersji, częstotliwość pracy choppera przyjęto stałą i wynoszącą 100 Hz. Po uruchomieniu podprogramu, sterownik prosi o podanie współczynnika wypełnienia z zakresu  $20 + 80\%$ . Zakres ten zapewnia mikroprocesorowi czas na przygotowanie danych wejściowych i obsługę pętli czasowych. Tak szeroki zakres bezpieczeństwa, szczególnie z góry, wydaje się obecnie nieco zawyżony. Podany zakres jest kontrolowany i w razie przekroczenia korygowany odpowiednio do wartości granicznych. Od tej chwili program pracuje w ściśle liczonej pętli. Została ona obliczona na podstawie ilości taktów zegara potrzebnej do wykonania kolejnych rozkazów asemblera i przy zegarze 2MHz jest wykonywana z częstotliwością 100Hz. Na jedno pełne przejście pętli składa się ilość taktów równa  $2\text{MHz}/100\text{Hz}$ , co daje 20000 taktów zegarowych. Suma taktów rozkazów wykonywanych podczas jednego przejścia pętli musi więc wynieść 20000. Stąd na każdy 1% współczynnika wypełnienia składa się 200 taktów. W ramach tej pętli wykonywane są następujące czynności:

- a. Wysłanie na interfejs A sygnałuysterowującego tyrystor nr 1.
- b. Umieszczenie na ekranie aktualnego współczynnika wypełnienia.
- c. Wykonanie odpowiednią ilość razy (P) - w zależności od współczynnika wypełnienia pętli po 200 taktów zegarowych (1%).
- d. Wysłanie na interfejs A sygnałuysterowującego tyrystor nr 2.
- e. Odczytanie - jeśli był naciśnięty - klawisza i jego interpretacja. Jeśli jest to ESC, to wyjście z programu, jeśli "<" lub ">" to zmiana współczynnika wypełnienia o 1% odpowiednio w górę lub w dół.
- f. Wykonanie odpowiednią ilość razy  $(100-P)$  w zależności od współczynnika wypełnienia pętli czasowej po 200 taktów zegarowych.
- g. Skok do początku pętli.

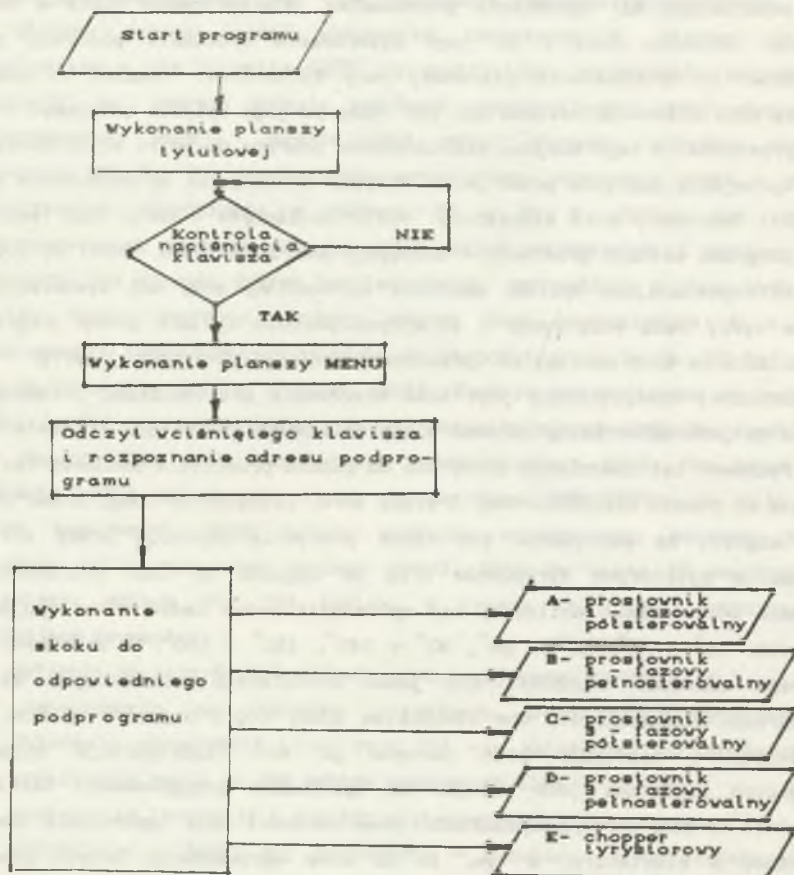
Następnym podprogramem jest blok sterowania prostownikami 1-fazowymi. Ponieważ algorytm sterowania prostowników pełnosterowalnych może być wykorzystany przy prostownikach półsterowalnych, oba typy prostowników obsługuje ten sam program. Sterownik na początku prosi o podanie kąta opóźnienia  $10 + 170$  stopni, a następnie przechodzi do swojej pętli głównej. W pętli tej oczekuje na sygnał z dekodera przejścia napięcia przez zero. Po uzyskaniu potwierdzenia przejścia napięcia przez zero, uruchamia licznik 8253, odliczający kąt opóźnienia prostownika. Mikroprocesor czyta w pętli zawartość licznika 8253 i po jego wyzerowaniu uruchamia pierwszą parę tyrystorów. Po uruchomieniu pierwszej pary tyrystorów, również za pomocą licznika 8253 sterownik odlicza kąt  $180^\circ$ , aby po jego upływie uruchomić drugą parę tyrystorów. Z tego miejsca mikroprocesor powraca do pętli oczekiwania na sygnał przejścia napięcia przez zero. Podczas oczekiwania na odliczenie kąta  $180^\circ$  jest testowany port klawiatury. Jeśli naciśnięto klawisz ESC, wykonywanie programu zostaje przerwane i następuje powrót do MENU. Jeśli byłyby to klawisze odpowiadające cyfrom, zostanie wprowadzony nowy kątysterowania. Kolejne cyfry będą wczytywane w kolejnych pełnych cyklach pracy programu. Zamiana kąta na nowy nastąpi po wprowadzeniu ostatniej, trzeciej cyfry.

Najbardziej skomplikowany jest blok sterowania prostownikami 3-fazowymi. Również on jest uniwersalny zarówno dla prostowników pełno, jak i półsterowalnych. Ponieważ kąt opóźnienia liczy się od punktu przecięcia sinusoid faz R i T, a nie od punktu przejścia fazy R przez zero, należało do niego dodać  $30^\circ$ .

Ze względu na pokrywanie się czasu przejścia napięcia przez zero z załączaniem niektórych tyrystorów oraz ze względu na czas potrzebny do wykonania odpowiednich obliczeń, kąt opóźnienia można zadać w następujących zakresach:  $10^\circ + 29^\circ$ ,  $31^\circ + 88^\circ$ ,  $93^\circ + 149^\circ$ ,  $151^\circ + 170^\circ$ . W zależności od wybranego zakresu, uruchamia się jeden z czterech bliźniaczych bloków podprogramu. Posługują się one licznikiem 8253, który najpierw odlicza kąt opóźnienia, a następnie pięć okresów po  $60^\circ$ . Konfiguracja sygnałów sterujących pobierana jest kolejno ze specjalnie przygotowanej tabeli w zależności od zakresu kąta opóźnienia. Nowe wartości kąta opóźnienia możemy wprowadzać z klawiatury, z tym, że na czas wprowadzania danych program przerywa pracę. Powrót z programu do MENU uzyskujemy poprzez naciśnięcie klawisza ESC. Kontrola naciśnięcia klawiszy jest przeprowadzana w trakcie odliczania  $60^\circ$  między załączeniami kolejnych par tyrystorów [1], [4].

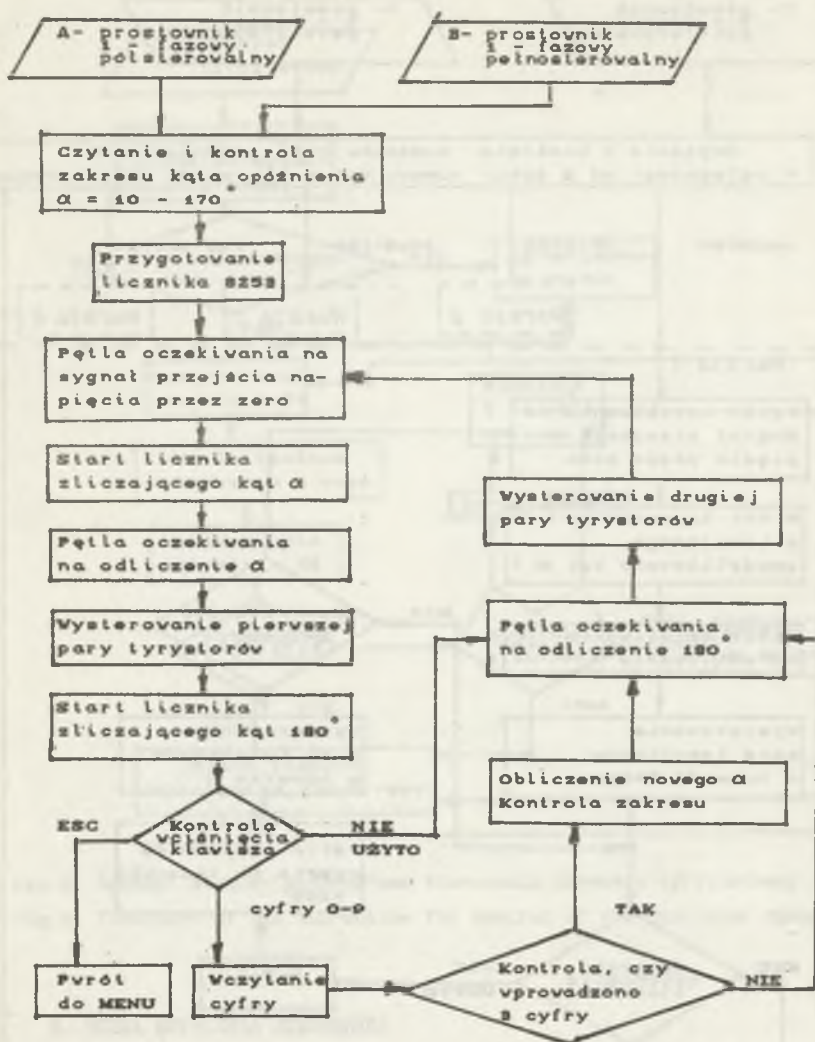
Jeśli któryś z prostowników zostałby załączony przy braku połączenia dekodera przejścia napięcia przez zero z siecią, sterownik poinformuje o tym stosownym komunikatem. Ze wszystkich podprogramów można wrócić do głównego MENU używając klawisza ESC. Programy sterowania nie zostały wykonane optymalnie. Dopiero po ich uruchomieniu i dłuższej eksploatacji okazało się, jakie usprawnienia byłyby jeszcze wskazane.

Schematy blokowe programów przedstawiono na rys. 3 + 6.



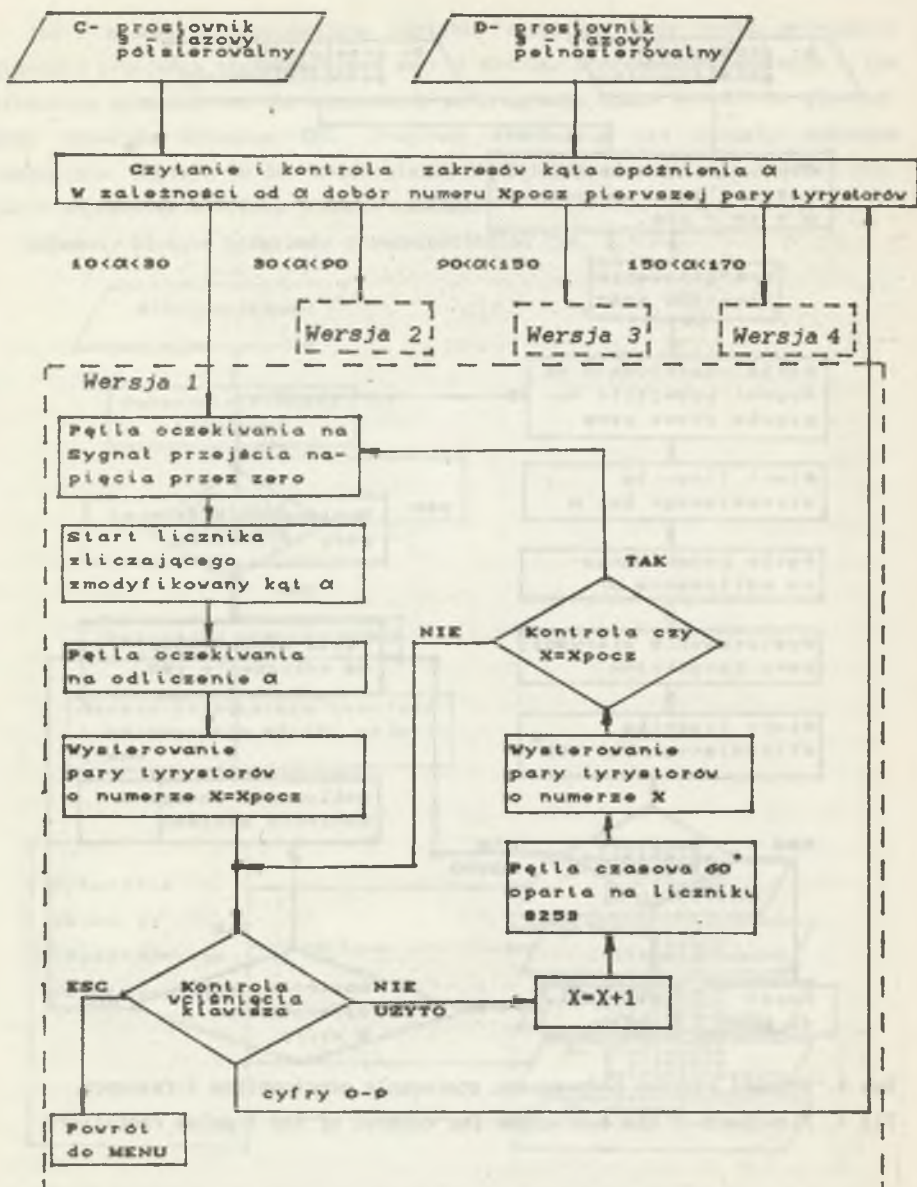
Rys. 3. Schemat blokowy podprogramu wykonującego planszę tytułową i obsługującego MENU.

Fig. 3. Flowchart of the subroutine for drawing of the title screen and menu-service.



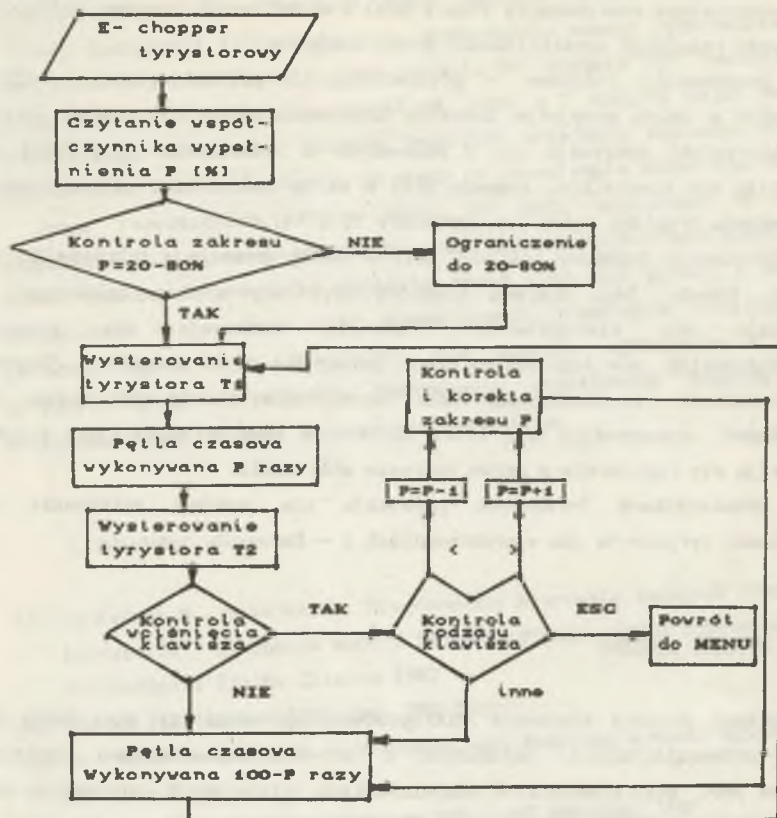
Rys.4. Schemat blokowy podprogramu sterowania prostowników 1-fazowych.

Fig.4. Flowchart of the subroutine for control of the 1-pulse rectifiers.



Rys.5. Schemat blokowy podprogramu sterowania prostowników 3-fazowych.

Fig.5. Flowchart of the subroutine for control of the 3-pulse rectifiers.



Rys.6. Schemat blokowy podprogramu sterowania choppera tyrystorowego.

Fig.6. Flowchart of the subroutine for control of the thyristor chopper.

## 5. OCENA DZIAŁANIA STEROWNIKA

Omawiany sterownik został przetestowany podczas sterowania uniwersalnym zestawem tyrystorów. Na podstawie przeprowadzonych obserwacji dokonano oceny działania poszczególnych elementów sterownika.

- Układ Trögera pracuje dokładnie według założeń teoretycznych, przy zadanej częstotliwości pracy 100 Hz. Współczynnik wypełnienia regulowany jest

w zakresie 20 - 80%. Podczas pracy układu nie pojawiają się żadne zakłócenia. Przy ewentualnym zastosowaniu zegara 8253 i modyfikacji programu zaistniałaby możliwość regulacji częstotliwości pracy choppera.

- Prostowniki 1-fazowe - półsterowany i pełnosterowany - działają poprawnie w całym przyjętym zakresie sterowania 10 - 170 stopni. Uzyskane charakterystyki pokrywają się z podawanymi w literaturze. W trakcie pracy pojawiają się niewielkie, rosnące wraz z kątem opóźnienia, przyspieszenia w generowaniu drugiego pulsu (na tyrystory T2 i T4).

- Prostownik 3-fazowy mostkowy półsterowalny pracuje w zakresie 10 - 114 stopni. Powyżej tego zakresu niektóre tyrystory nie są załączane, albo załączają się nieregularnie. Podobnie zachowuje się prostownik pełnosterowalny, ale jego zakres pracy kończy się na 55 stopniach. Zakresy te dla obciążenia rezystancyjnego winny teoretycznie wynosić odpowiednio: 150 i 120 stopni. Jednocześnie przy braku obciążenia impulsy wyzwajające tyrystory pojawiają się regularnie w całym zakresie sterowania.

W prostownikach 3-fazowych pojawiają się podobne zakłócenia czasu załączania tyrystorów jak w prostownikach 1 - fazowych.

## 6. WNIOSKI KOŃCOWE

Omówiony powyżej sterownik mikroprocesorowy umożliwia sterowanie kilku typów przekształtników, składanych z uniwersalnego zestawu tyrystorów. Możliwe jest, przy niewielkich uzupełnieniach istniejących interfejsów dalsze rozszerzenie zestawu sterowanych przekształtników. Sterownik może być zależnie od zainstalowanego oprogramowania zastosowany w laboratorium przy prowadzeniu ćwiczeń, lub do testowania nowo projektowanych urządzeń.

Jak już wspomniano, przedstawiona wersja sterownika nie jest wolna od wad, Ich analiza winna przyczynić się do uniknięcia podobnych w przyszłych wersjach tego sterownika

Ograniczenie górnych zakresów pracy prostowników można wytłumaczyć właściwościami samego sterowanego uniwersalnego układu tyrystorów i nie zależy ono od układu sterowania.

Wcześniejsze pojawianie się impulsów załączających tyrystory wynika z nieprawidłowego działania licznika - zegara 8253. Układ ten, według danych katalogowych, winien umożliwić odczyt aktualnego stanu licznika z jego portu



za pomocą szyny danych. Taką też metodę testowania jego stanu przyjęto w programie sterownika. Niestety wynik odczytu czasami wskazywał 0 zanim licznik faktycznie zliczył do zera. Rzeczywisty moment wyzerowania licznika wskazywało pojawienie się na jego wyjściu OUT sygnału "0". Powstały problem można rozwiązać podając ten sygnał na jedno z 7 wolnych wejść bufora 8216 obsługującego dotychczas jedynie generator przejścia napięcia przez zero. Wyzerowanie licznika testowano by wtedy na odpowiednim bicie tego bufora.

Innym rozwiązaniem, które warto by było zastosować w przyszłych modyfikacjach omawianego sterownika, jest zastosowanie trzech niezależnych od siebie dekoderów przejścia napięcia przez zero dla każdej z faz osobno. Uprościłoby to poważnie dość skomplikowany podprogram prostowników 3 - fazowych ograniczając kumulujące się obecnie opóźnienia w załączaniu kolejnych grup tyrystorów. Poniesienie dodatkowych kosztów zostałyby zrekomensowane lepszymi parametrami sterownika.

#### LITERATURA

- [1] Czakański M., Halejak R.: Programowany sterownik impulsów bramkowych tyrystorów - wykonanie modelu laboratoryjnego. Praca dyplomowa. Politechnika Śląska Gliwice 1987
- [2] Ulotka reklamowa miSTER Z80. ZEG Tychy
- [3] pr. zbiorowa pod red. J. Baranowskiego: Modułowe systemy mikrokomputerowe. WNT W-wa 1984
- [4] Karczmarczuk J.: Mikroprocesor Z80." WNT Warszawa 1987
- [5] Grabowski J., Koźlarz St.: Podstawy i praktyka programowania mikroprocesorów. WNT Warszawa 1987
- [6] Niederliński A.: Mikroprocesory, mikrokomputery, mikrosystemy." WSiP, Warszawa 1987
- [7] Dokumentacja techniczno - ruchowa COMPAN P zaz.
- [8] Pieńkoś J., Turczyński J.: Układy scalone TTL w systemach cyfrowych. WKiŁ Warszawa 1986

Recenzent: doc.dr hab.inż. Stanisław Szpilka

Wpłynęło do Redakcji dnia 25 lipca 1990 r.

УПРАВЛЕНИЕ ВКЛЮЧАЮЩИМИ ИМПУЛЬСАМИ ТИРИСТЫ С ПОМОЩЬЮ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО КОНТРОЛЛЕРА

Резюме

В этой статье оговорены преимущества программированного микропроцессорного контроллера по отношению к применяемым в настоящее время электронным контроллерам. Отмечена их универсальность, а так свобода в изменении алгоритмов управления. Представлено так практическое решение такого контроллера его конструкцию, программное обеспечение и технические проблемы, которые возникли во время реализации контроллера.

THE CONTROL OF THYRISTOR GATE IMPULSES USING A PROGRAMMABLE MICROPROCESSOR - CONTROLLER.

Summary

This paper described the advantages of the programmable microprocessor-controllers in comparison with actually used a electronic controllers. The universality and easiness of modifications of the control-algorithms is emphasized. The practical design of such controller, its construction, software and technical difficulties arise during its realization is also described.