ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1972

Seria: ELEKTRYKA z. 38 Nr kol. 357

STANISŁAW GÓRECKI

Zakłady Konstrukcyjno-Doświadczalne
Przemysłu Maszyn Elektrycznych
K O M E L w Katowicach

TYRYSTOROWA PRZETWORNICA CZĘSTOTLIWOŚCI DLA 2-FAZOWYCH SILNIKÓW KROKOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono zagadnienia związane z tyrystorową przetwornicą częstotliwości przeznaczoną dla sterowania 2-fazowym lub 2-sekcyjnym magnetoelektrycznym silnikiem krokowym dużej mocy.

1. Wstęp

Opisana przetwornica częstotliwości stanowi odmianę statycznej przetwornicy częstotliwości i przetwarza prąd stały na dwa ciągi impulsów prądowych, symetrycznych względem osi czasu i przesuniętych wzajemnie w fazie o $\frac{\pi}{2}$.

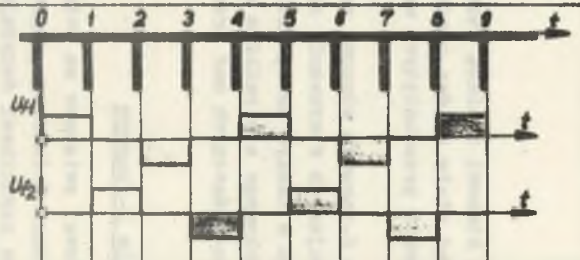
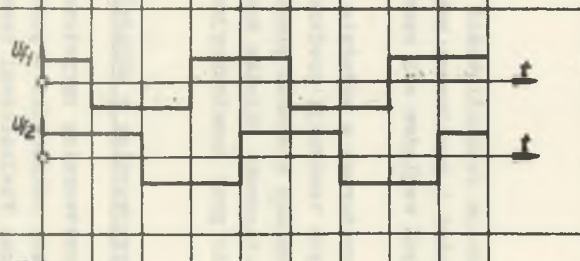
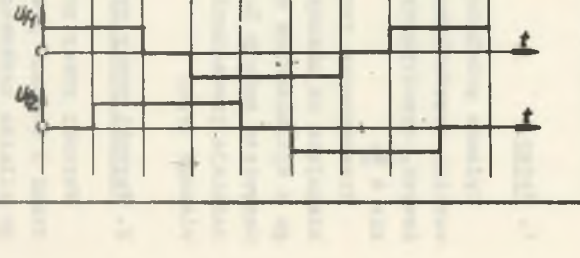
Przetwornica tyrystorowa w układzie 2-fazowym stanowi rozwiązanie odbiegające od obecnych tendencji preferujących sterowanie silnika krokowego z wykluczeniem zmiany kierunku prądu w każdym uzwojeniu sterującym [1]. Oczywiste zalety 2-fazowego silnika krokowego z wirnikiem czynnym [2] uzasadniają prowadzenie prac konstrukcyjno-badawczych nad przetwornicami omawianego typu.

2. Warunki pracy przetwornicy w układzie 2-fazowym

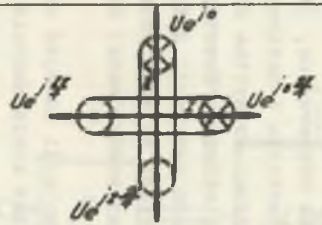
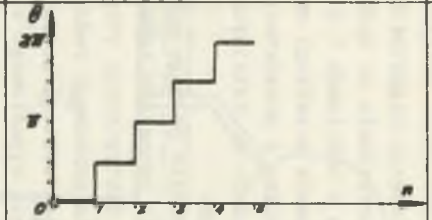
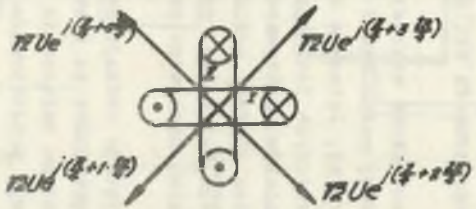
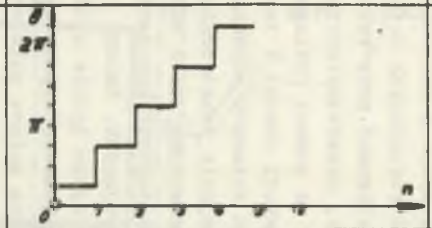
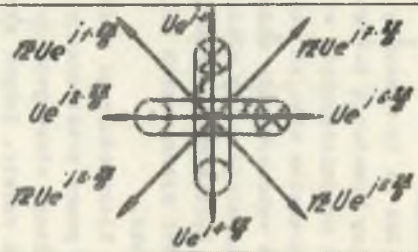
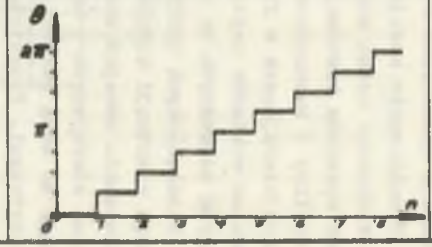
Warunki pracy przetwornicy tyrystorowej związane są ściśle z parametrami i stanami pracy odbiornika w postaci 2-fazowego, magnetoelektrycznego silnika krokowego. Wielkościami oraz czynnikami decydującymi o układzie i doborze elementów przetwornicy są:

a. napięcie zasilania,
b. dopuszczalne natężenie prądu uzwojenia sterującego w statycznym stanie pracy (przy zahamowanym wirniku),
c. indukcyjności uzwojeń,
d. rezystancja uzwojeń,
e. maksymalna częstotliwość rozruchowa f_r silnika krokowego,
f. graniczna częstotliwość w ciągłym stanie pracy,
g. warunki komutacji uzwojeń sterujących.

Tablica nr 1.

Lp.	Nazwa rodzaju komutacji	Wykres cyklu komutacji /cyklogram/	Oznaczenie elektrycznego stanu załączenia uzwojeń sterujących	
1.	Komutacja 4-taktowa z pojedynczym załączeniem uzwojeń sterujących		/+I/-/+II/-/-I/-/-II/-/+I/-...	
2.	Komutacja 4-taktowa z równoczesnym załączeniem uzwojeń sterujących		/+I/./+II/-/-I/./+II/-/-I/./-II/-/+I/./-II/-/+I/./+II/-.....	
3.	Komutacja 8-taktowa /niesymetryczna/		/+I/./+II/-/+II/-/-I/./+II/-/-I/-/-I/./-II/-....	

Tablica nr 2

Lp.	Rodzaj komutacji	Przestrzenny wykres wskazowy napięć fazowych w kolejnych interwałach czasowych - między kolejnymi impulsami taktującymi.	Schodkowy wykres przemieszczenia wirnika w funkcji liczby impulsów taktujących.	
1.	Komutacja 4-taktowa z pojedynczym załączeniem uzwojeń sterujących			
2.	Komutacja 4-taktowa z równoczesnym załączeniem uzwojeń sterujących			
3.	Komutacja 8-taktowa /asymetryczna/.			

Konieczność dostosowania układu i dobór elementów przetwornicy do wartości parametrów wg pozycji od a do f jest oczywista. Dodatkowego omówienia wymagają wymienione w pozycji g warunki komutacji uzwojeń sterujących.

Przełączanie uzwojeń sterujących 2-fazowego magnetoelektrycznego silnika krokowego można zrealizować przy wykorzystaniu co najmniej trzech różnych sposobów komutacji, przedstawionych w tablicach 1 i 2.
W tablicy 1 zaznaczono za pomocą cyklogramów przebiegi napięć na uzwojeniach sterujących w funkcji czasu. W tablicy 2 przedstawiono przestrzenny rozkład wektorów napięć fazowych odpowiednio do kolejnych impulsów taktujących podawanych na wejście przetwornicy.

Z załączonych tablic wynika, że w zakresie pełnego cyklu wybranego rodzaju komutacji każdemu taktowi komutacji odpowiada inny stan elektryczny załączania uzwojeń sterujących. Zmiana elektrycznego stanu załączania uzwojeń sterujących w kolejnym takcie cyklu odnośnego rodzaju komutacji pociąga za sobą zmianę położenia wypadkowego wektora przepływu stojana w przestrzeni. Przestrzenna zmiana położenia wypadkowego wektora przepływu stojana powoduje przemieszczenie wirnika w nowe położenie wynikające ze zrównoważenia wypadkowego momentu obciążania przez moment synchronizujący silnika.

Jak na to wskazują schodkowe wykresy zamieszczone w tablicy 2,dwie odmiany komutacji 4-taktowej można uznać za równorzędne, jeśli chodzi o sposób przemieszczania wirnika. Jednakże komutacja 4-taktowa z równoczesnym włączeniem uzwojeń sterujących jest bardziej korzystna ze względu na lepsze wykorzystanie materiałów aktywnych silnika. Komutacja 8-taktowa reprezentuje cechy właściwe obydwu odmianom komutacji 4-taktowej.

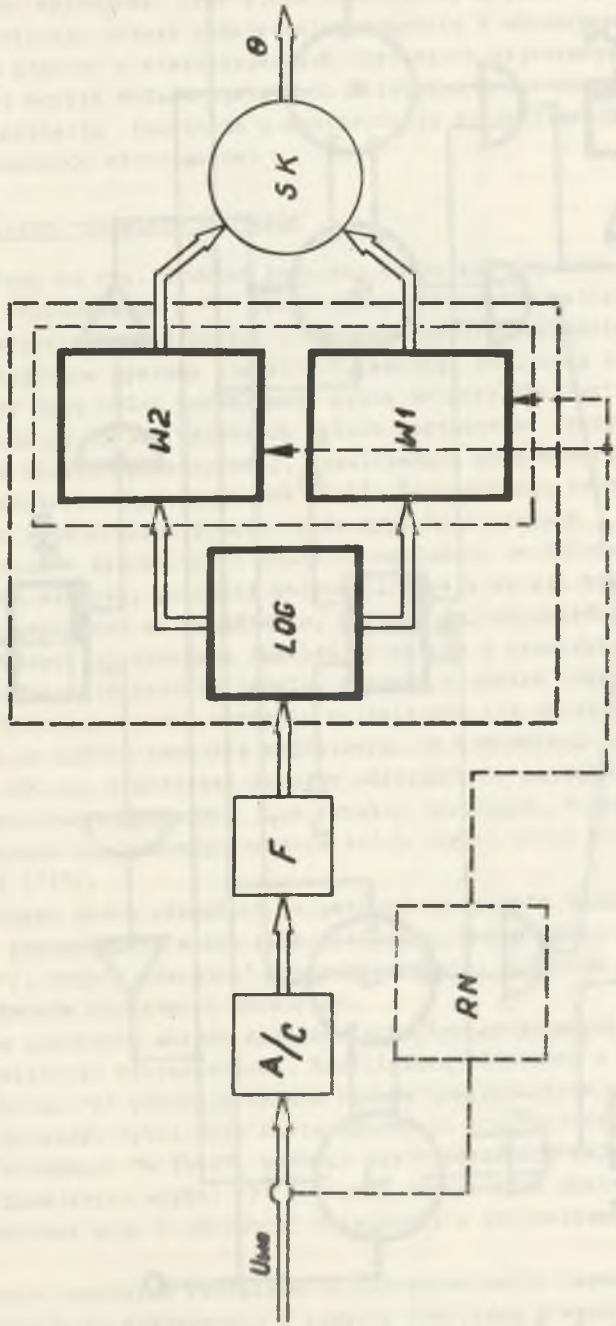
Zastosowanie komutacji 8-taktowej pociąga za sobą polepszenie właściwości dynamicznych silnika krokowego przy zredukowanej do połowy wartości kroku.

Niezależnie od przyjętego rodzaju komutacji uzwojeń sterujących warunki pracy przetwornicy określane są również koniecznością podtrzymania dowolnego elektrycznego stanu załączenia uzwojeń sterujących w dowolnie długim czasie. Innymi słowy, przetwornica musi stworzyć warunki zapewniające statyczny stan pracy silnika krokowego poprzez wytworzenie statycznego stanu pola magnetycznego w szczelinie (zahamowanie wirnika).

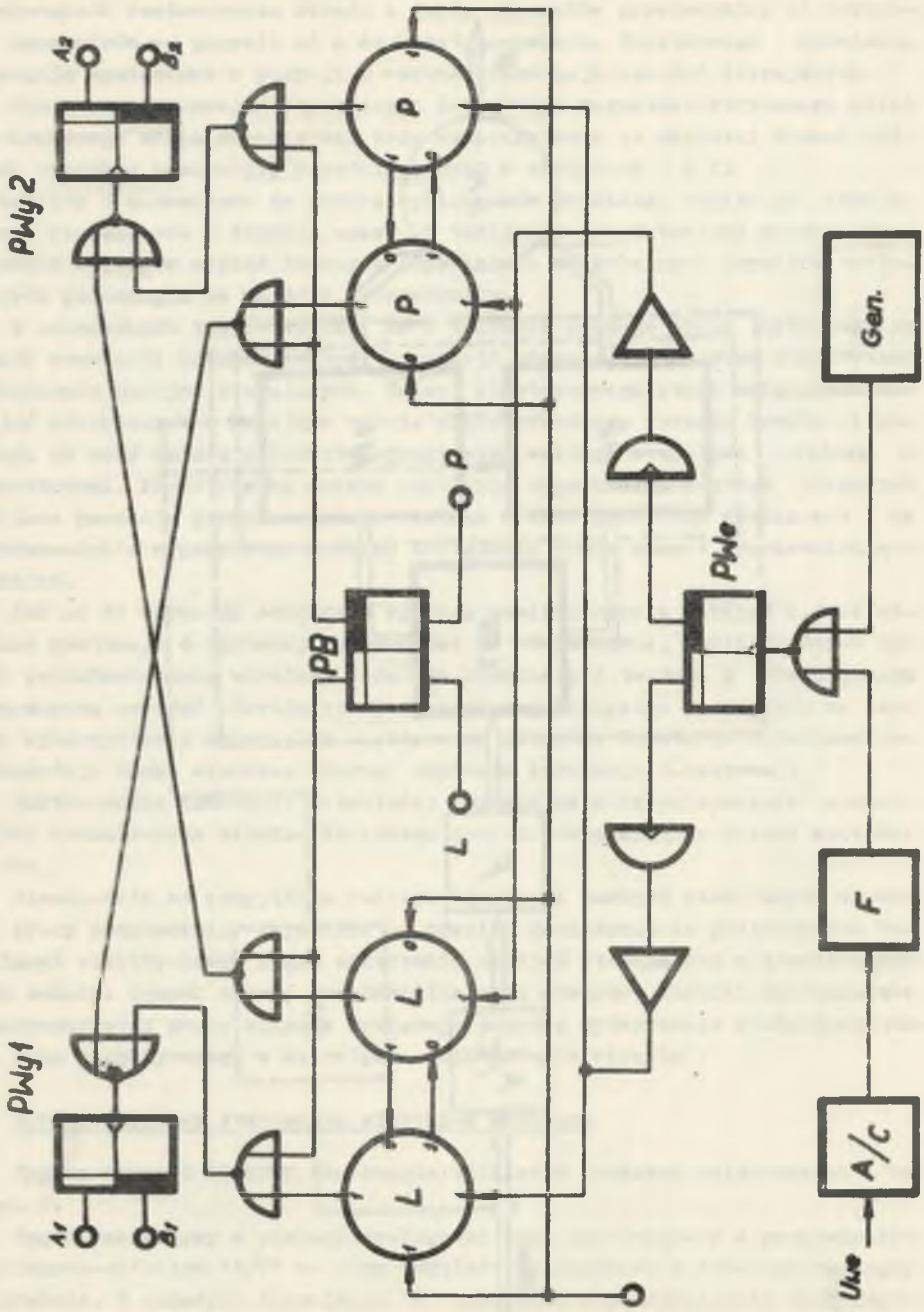
3. Schemat blokowy sterowania silnikiem krokowym

Typowy schemat blokowy sterowania silnikiem krokowym uwidoczniono na rys. 1.

Sygnał wejściowy w postaci analogowej jest przetwarzany w przetworniku analogowo-cyfrowym "A/C" na ciąg impulsów wejściowych o dowolnym na ogół kształcie. W układzie formującym "F" następuje przekształcenie tych impulsów wejściowych w impulsy prostokątne. Zarówno przetwornik "A/C", jak też układ formujący nie wchodzą w skład przetwornicy częstotliwości i dlatego nie są szczegółowo rozpatrywane. Przetwornica częstotliwości składa się z



Rys. 1. Schemat blokowy sterowania silnikiem krokowym



Rys. 2. Schemat układu logicznego rozdziału impulsów

dwóch zasadniczych podzespołów: układu logicznego rozdziału impulsów "LOG" (na wzmacniacze wyjściowe) oraz bloku wzmacniaczy wyjściowych "W". Źródło zasilania omawianego układu przetwornicy stanowią 2 skojarzone z sobą zasilacze prądu stałego o stabilizowanych napięciach wyjściowych 80 V.

W omawianej wersji układu sterowania silnikiem krokowym nie przewidziano regulacji napięcia zasilania w dostosowaniu do chwilowych wartości częstotliwości impulsów sterujących.

4. Układ logiczny rozdziału impulsów

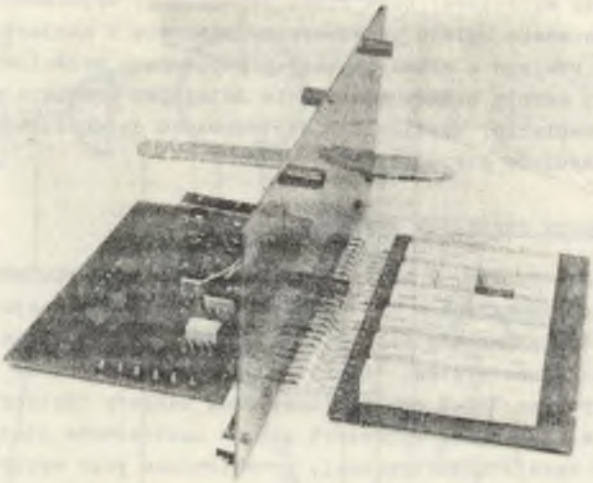
Przedstawiony na rys. 2 układ logiczny rozdziału impulsów przetwarza unitarny kod uformowanych w "F" prostokątnych impulsów wejściowych w 2-fazowy, niesymetryczny układ napięć nieskojarzonych. W układzie zastosowano elementy logiczne systemu "Logister", szeregu E-50 oraz ferro-trynzystorowe moduły typu UEL-Z produkowane przez Zakłady "Polfer" w Warszawie. Na wejściu oraz na obydwu wyjściach układu zastosowano statyczne przerzutniki typu T w wersji asymetrycznej, zrealizowane przy wykorzystaniu uniwersalnych funktorów logicznych NOR (E-L3).Wprowadzenie statycznych dwójek liczących (statycznych przezutników typu T) w miejsce konwencjonalnych przerzutników dynamicznych miało na względnie zwiększenie pewności działania tych członów, ponieważ dwójka licząca w wersji statycznej wykazuje większą odporność na zakłócenia, aniżeli jej odpowiednik dynamiczny.

Dwa generatory pojedynczego impulsu sprzężone z przerzutnikiem wejściowym układu wytwarzają krótkie impulsy prądowe o czasie trwania 9 μs w odpowiedzi na dodatnie skoki napięcia pojawiające się na wyjściach tegoż przerzutnika po każdym impulsie wejściowym. Po wzmocnieniu do wartości amplitudy ok. 200 mA, wymienione impulsy oddziaływują na uzwojenia odczytu modułów ferro-tranzystorowych, jako impulsy taktujące. W każdym takcie odbywa się równoczesne przemagnesowanie dwóch rdzeni zwane krótko odczytywaniem jedynki ("1").

W pozostałych dwóch rdzeniach początkowo ma miejsce potwierdzenie wyjściowego lub poprzedniego stanu namagnesowania, a następnie odbywa się zapis zera ("0"), czyli "odwrotne" przemagnesowanie, jednakże już na skutek działania obwodów sprzężenia zwrotnego.

Jak łatwo zauważyć, zespół modułów ferro-tranzystorowych rozpada się na dwa rozdzielacze pierścieniowe. Rozdzielacz utworzony z modułów oznaczonych symbolem "L" wywołuje zmianę stanów przerzutników wyjściowych "PWy1" i "PWy2" w porządku cyklicznym nawiązującym do przemieszczania się pola (w silniku krokowym) "w lewo", podczas gdy rozdzielacz składający się z modułów posiadających symbol "P" powoduje powstawanie analogicznych zmian i przemieszczanie pola w odwrotnej kolejności z kierunkiem umownym - "w prawo".

Bramkowanie odnośnych rozdzielaczy pierścieniowych zapewnia układ złożony z przerzutnika statycznego o symbolu "PB" oraz z współpracujących z nim 4-ch NOR-ów.

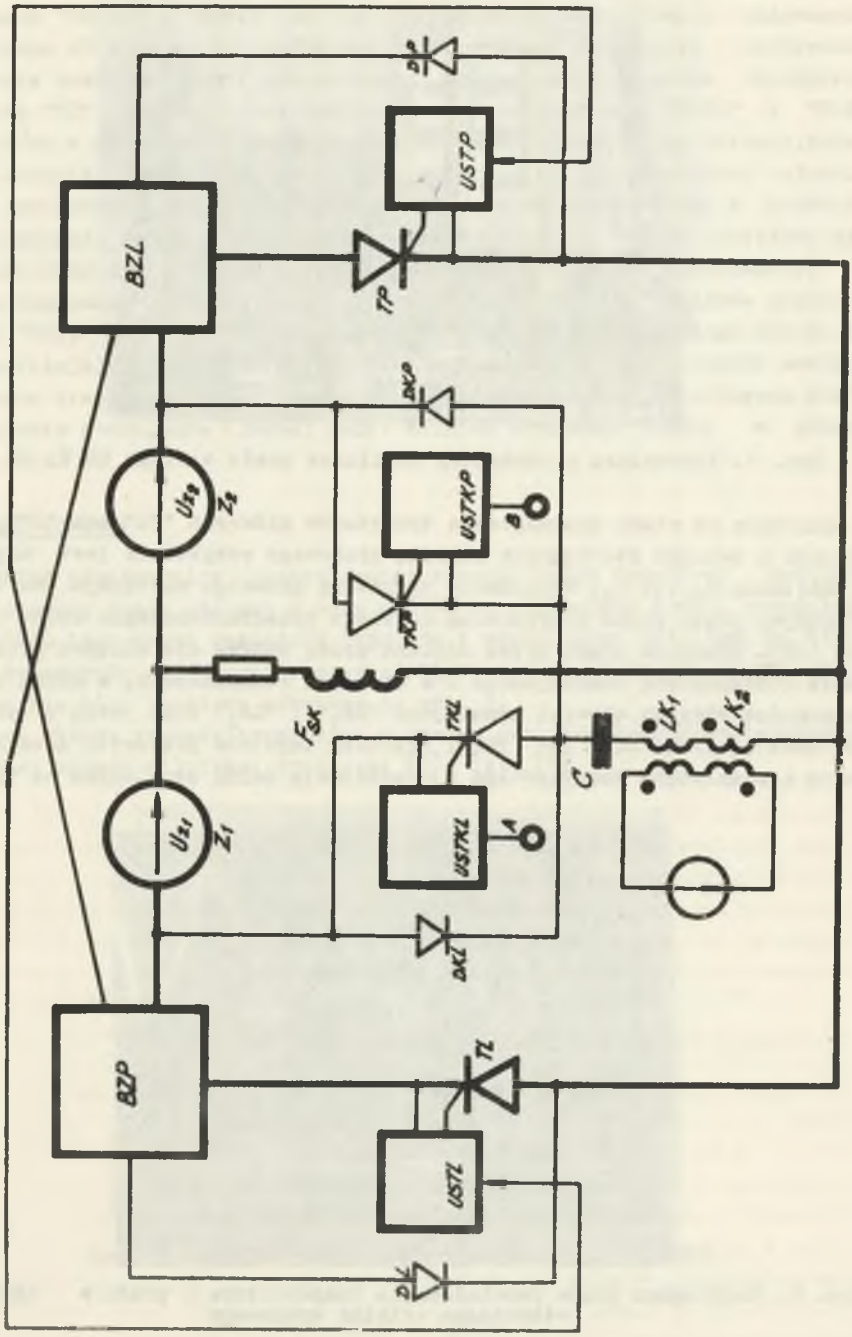


Rys. 3. Konstrukcja wsuwki układu logicznego rozdziału impulsów

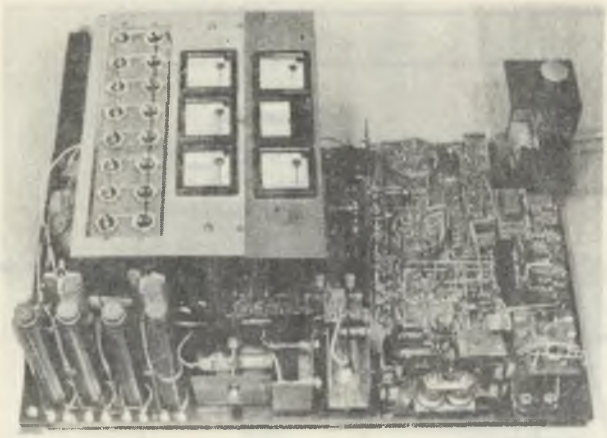
Pojedynczy krótki impuls bramkujący podany na wejście ustawiające lub zerujące tego przerzutnika powoduje zablokowanie impulsów wyjściowych z modułów rozdzielacza pierścieniowego "L" albo "P". W ten sposób odbywa się wybór kolejności w cyklu występowania zmian stanów przerzutników wyjściowych "PWy1" i "PWy2", co ma ścisły związek z kierunkiem przemieszczania pola w silniku krokowym. Sygnały napięciowe na zaciskach wyjściowych przerzutników "PWy1" i "PWy2" posiadają kształt, przebieg cazsowy i sposób wzajemnego usytuowania w czasie - przedstawione w poz. 2 tablicy 1. Amplituda tych sygnałów ma wartość $\pm$ 12 V, co jest związane z parametrami źródła zasilającego sieć zastosowanych funktorów logicznych.
Elementy wchodzące w skład układu logicznego rozdziału impulsów rozmieszczone są na trójczłonowej wsuwce, wchodzącej w skład bloku przetwornicy tyrystorowej. Konstrukcję wsuwki uwidoczniono na rys. 3.

5. Blok tyrystorowych wzmacniaczy wyjściowych

Sygnały napięciowe wytwarzane w układzie logicznym rozdziału impulsów "LOG" są przekazywane na wejście AB dwóch identycznych 1-fazowych tyrystorowych wzmacniaczy wyjściowych. Schemat zasadniczy układu jednego z tych wzmacniaczy przedstawiono na rys. 4. Obwody siłowe układu wzmacniaczy 1-fazowych przyłączone są do dwóch identycznych zasilaczy prądu stałego 80 V, 10 A z tyrystorową stabilizacją napięcia (oznaczonych na schemacie symbolami Z_1 i Z_2). Wymienione zasilacze zostały zaprojektowane i zbudowane wyłącznie dla potrzeb związanych z zasilaniem układów omawianego typu. Egzemplarz prototypowy jednego z zasilaczy uwidoczniono na rys. 5.

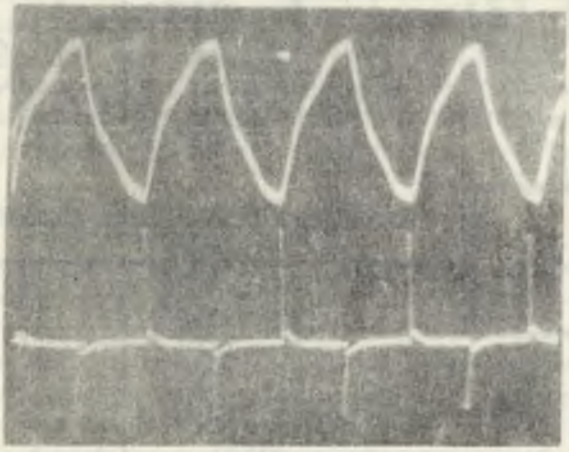


Rys. 4. Schemat jednofazowego tyrystorowego wzmacniacza mocy



Rys. 5. Egzemplarz prototypowy zasilacza prądu stałego 80 V, 10 A

Zależnie od stanu przewodzenia tyrystorów głównych "TL" lub "TP", do jednego z uwzojeń sterujących silnika krokowego przyłożone jest napięcie z zasilacza Z_1 lub Z_2. Wyłączanie tyrystora głównego następuje na skutek przepływu prądu przez przyłączoną do niego przeciwrównolegle diodę "DL" lub "DP". Przepływ prądu przez odnośną diodę odbywa się wskutek przeładowania kondensatora komutującego C w obwodzie rezonansowym, w skład którego wchodzą również dławiki komutujące "LK_1" i "LK_2" oraz jeden z tyrystorów komutujących "TKL" lub "TKP". Przebieg impulsów prądowych przeładowywania kondensatora komutującego C przedstawia dolny oscylogram na rys. 6.

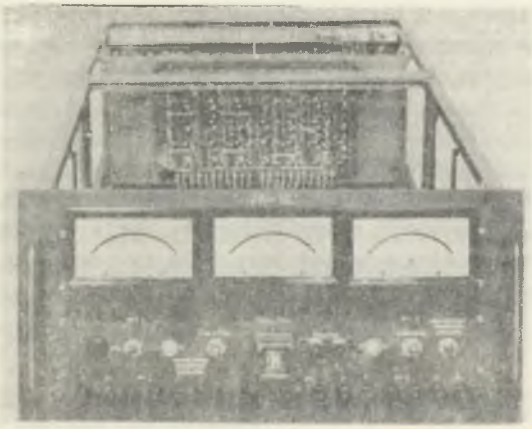


Rys. 6. Oscylogram prądu przeładowania kondensatora i prądu w uzwojeniu sterującym silnika krokowego

Impulsy sterujące tyrystorami "TKL" i "TKP" pojawiają się w układach zapłonowych "USTKL" i "USTKP" pod wpływem sygnałów napięciowych podawanych na wejścia AB wzmacniaczy wyjściowych. W celu wyeliminowania możliwości powstania zwarć na skutek równoczesnego przewodzenia obydwu tyrystorów głównych "TL" i "TP", układy zapłonowe tych tyrystorów - "USTL" i "USTP wyposażono w dodatkową blokadę. Na skutek oddziaływania tej blokady,kolejne załączenie tyrystora głównego następuje dopiero po odzyskaniu właściwości zaporowych przez przewodzący dotychczas tyrystor główny w przeciwległej gałęzi. Pojawienie się impulsu zapłonowego na bramce tyrystora głównego nie może być wywołane w sposób bezpośredni sygnałem przekazanym z układu logicznego. Sygnał inicjujący proces generowania impulsów zapłonowych w "USTL" lub "USTP" przekazywany zostaje z odpowiedniego układu blokująco-inicjującego "BZL" lub "BZP". W wyniku omawianych procesów następuje zmiana kierunku prądu w jednym z uzwojeń sterujących. Oscylogram prądu w uzwojeniu sterującym (jednej fazy) silnika krokowego podano w górnej części rys. 6.

6. Uwagi końcowe

W skład przetwornicy częstotliwości wchodzi także dodatkowy zasilacz stabilizowany prądu stałego o mocy ok. 60 W, stanowiący źródło pomocnicze dla układu logicznego rozdziału impulsów i wzmacniaczy wyjściowych. Wszystkie podzespoły przetwornicy oraz zasilacz dodatkowy tworzą zwarty konstrukcyjnie blok panelowy pokazany na rys. 7.
Omówione układy zostały opracowane w ramach prac konstrukcyjno-badawczych z zakresu napędu silnikami krokowymi [3], [4], [5].



Rys. 7. Blok panelowy przetwornicy częstotliwości

LITERATURA

1. Iwobotenko B.A., Rubcow W.P., Sadowskij L.A., Cacenkin W.K., Czilikin, M.G. - Diskretnyj elektropriwod z szagowymi dwigatielami - pod obszcz. red. M.G.Czilikina. M., "Energia" 1971.
2. Wasiliew J.K., Prokofiew J.A., Wajnberger G.J. - Szagowyje dwigatieli z aktiwnym rotorom. Elektriczestwo 1963, nr 2.
3. Paszek, W. Glinka,T., Hickiewicz H., Mizia W., Duda F., Górecki S. - Nowe opracowania konstrukcji maszyn elektrycznych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka, z. 27. 1970.
4. Górecki S. - Perspektywy zastosowania silników krokowych w napędzie zautomatyzowanym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka, z. 29 1971.
5. Górecki S. - Dwufazowe silniki krokowe z komutatorem półprzewodnikowym. KOMEL - Zeszyty Problemowe, 13/1971.

ТИРИСТОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ
ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВУХФАЗНЫМИ ШАГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Р е з ю м е

В статье рассмотрен тиристорный преобразователь частоты для управления двухфазными силовыми шаговыми двигателями. Описаны основные элементы, структурные схемы, а также принцип действия преобразователя.Определены некоторые требования к работе преобразователя.

THE SCR FREQUENCY CONVERTER FOR TWO-PHASE
STEPPING MOTOR

S u m m a r y

This article presents a high power SCR frequency converter for controlling and driving a two-phase stepping motor. There are described the basic components, block diagrams and principle of operation of the system. Some questions realted to SCR frequency converter-operation are also discussed.