

PRZETWORNIK NAPIĘCIA

1 → 3 FAZY CZĘŚĆ 1

Tytułowy przetwornik przetwarza jednofazowe sieciowe napięcie zmienne na napięcie trójfazowe, potrzebne do zasilania małych synchronicznych lub indukcyjnych silników 3-fazowych o mocy do 725W.

B. Yahya

Szybkość obrotowa silnika 3-fazowego zależy od częstotliwości napięcia zasilającego, bardzo dobrym sposobem regulacji szybkości silnika jest zatem modulacja szerokości impulsów napięcia zasilającego. **Rysunek 1** pokazuje schemat blokowy opisywanego przetwornika, w którym zastosowano ten rodzaj modulacji. W centrum znajdują się połączone w gwiazdę uzwojenia silnika trójfazowego. Schemat elektryczny przetwornika pokazano na **rysunku 2**. Sygnały wytworzone w przetworniku są pokazane na **rysunku 3**.

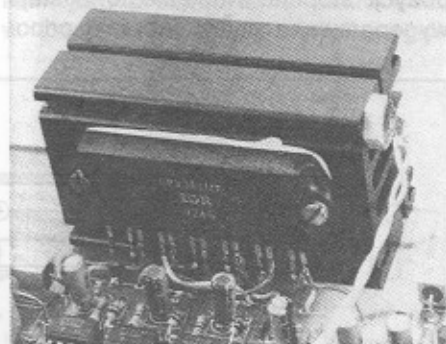
Prostownik przetwarza zmienne napięcie sieci 240V na napięcie stałe około 340V, które zasilają silnik przez układ sześciu tranzystorów mocy. Cyfrowa sekcja logiczna przetwornika steruje silnikiem za pośrednictwem tych tranzystorów w taki sposób, że prądy przepływające przez uzwojenia silnika są prawie sinusoidalne, a ich powiązania są fazowo poprawne. Rys. 3b, 3c i 3d pokazują, w jaki sposób jest tworzone napięcie sinusoidalne przez zmianę współczynnika wypełnienia fali prostokątnej o dostatecznie dużej (w stosunku do 50Hz) częstotliwości. Indukcyjności uzwojeń silnika wchodziły w skład układów całkujących, zmieniających impulsy o zmiennej szerokości w sygnał sinusoidalny. Przetwornik zapewnia przesunięcia fazowe

120° pomiędzy trzema generowanymi napięciami.

Opis układu

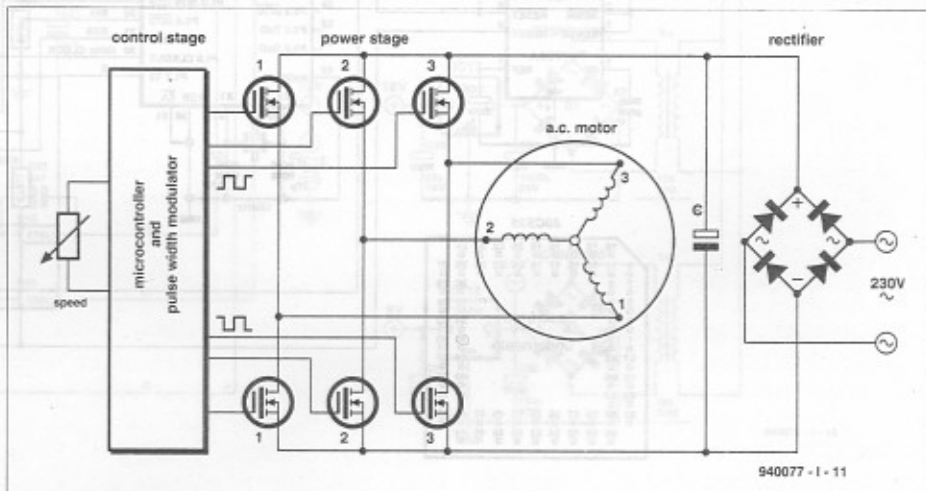
Najważniejszym elementem przedstawionego układu przetwornika jest mikroprocesor typu 80C535 (IC4) zapewniający taktowanie systemu i sterowanie tranzystorami mocy. Dzięki zastosowaniu systemu cyfrowego parametry przetwornika są stabilne w szerokim zakresie sterowania. IC4 jest wyposażony w wyjścia PWM (pulse width modulation - modulacji szerokości impulsów), więc przesunięcia sygnałów o 120° są jedynie sprawą pętli w programie.

Program zapewnia regularne ładowanie właściwych rejestrów, uwzględniając wymagany poziom napięcia i częstotliwości sygnałów wyjściowych. Odwracanie kierunku wirowania jest także wykonywane przez program, nie ma więc potrzeby stosowania przełączników i przekładników. Takie rozwiązanie zapewnia dłuższą żywotność układu i silnika, zwłaszcza gdy kierunku



jego obrotów jest często zmieniany. Analogowe wejścia procesora służą użytkownikowi do ustawienia niektórych parametrów, jak na przykład prędkość obrotowa silnika.

Tranzystory mocy wchodzą w skład modułu typu MP6750 (Toshiba). Można użyć również modułu CPV363MF firmy International Rectifier, wymaga to jednak pewnych modyfikacji układu. Tranzystory modułu są rodzaju IGBT (Isolated Gate Bipolar Transistor), które wprowadzają kolektor i emiter, jednak nie są sterowane prądowo, tylko dodatnim napięciem pomiędzy emiterem i bramką. Impedancja wejściowa jest zatem duża, a sterowanie szybkie. W module znajdują się także niezbędne w układzie trójfazowym diody dołączające (freewheeling diodes). Moduł co prawda nie jest tani, nie kosztuje jednak o wiele więcej niż



Rys. 1. Schemat blokowy przetwornika 1-fazowego napięcia zmiennego na 3-fazowe.

liczba faz	3
moc	725W
częstotliwość	0...50Hz
napięcie wejściowe	240V
napięcie wyjściowe	220V (międzyfazowe)
kierunek wirowania	odwracalny
czas rozruchu	nastawialny
czas zatrzymywania	nastawialny
zatrzymywanie awaryjne	jest
ochrona termiczna	jest
detekcja przeciążenia	jest

wszystkie niezbędne mogące go zastąpić elementy dyskretne, jego użycie upraszcza za to znacznie schemat połączeń.

Generacja napięcia sinusoidalnego wymaga podzielenia przebiegu na dużą liczbę odcinków-kroków. Każdy z kroków jest wyznaczony impulsem zegarowym, a jego wielkość odpowiada napięciu sinusoidy w fazowej pozycji stopnia. Napięcie to zostaje wygenerowane przez dobranie odpow-

wiedniego stosunku długości impulsu do przerwy. Dla dobrego odtworzenia kształtu sinusoidy częstotliwość sygnału PWM musi być wielokrotnie wyższa od częstotliwości sinusoidy.

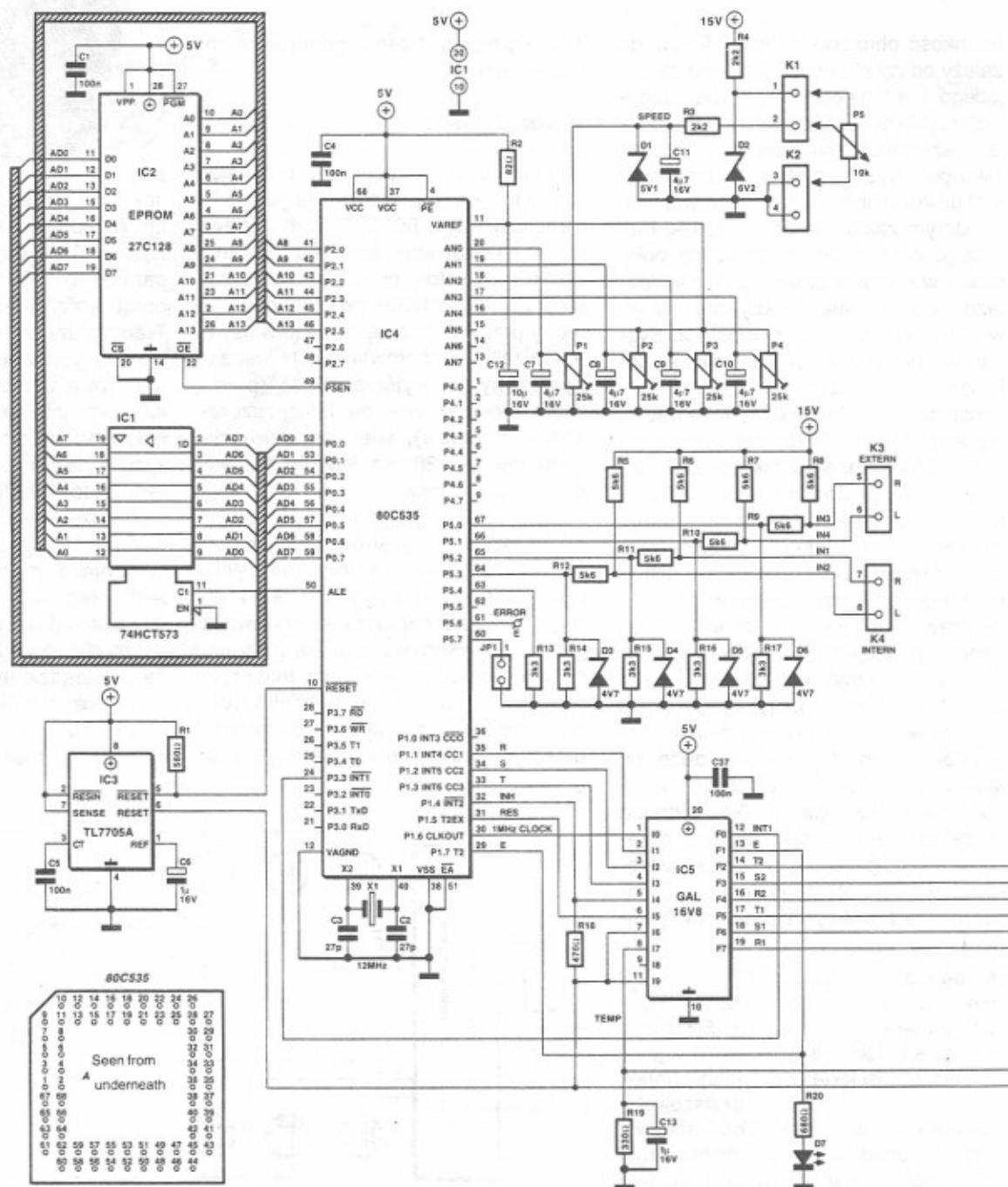
Przy założeniu stałej częstotliwości zegarowej sygnału PWM, częstotliwość generowanego napięcia rośnie proporcjonalnie do liczby kroków, na które został podzielony okres sygnału sinusoidalnego. Skutkiem uszeregowania pewnej liczby Z identycznych odcinków jest

obniżenie częstotliwości zegarowej (która jednak się nie zmienia). Można wyrazić to w następujący sposób:

$$f_o = f_c/6SZ$$

gdzie: f_0 - częstotliwość wyjściowa, f_c - częstotliwość zegarowa, S - liczba kroków w okresie, Z - liczba kolejnych identycznych kroków, 6 - liczba niezbędna przy generacji sygnału 3-fazowego.

Wzór wykazuje, że ciągła zmiana częstotliwości sygnału jest możliwa tyl-



Rys. 2. Schemat elektryczny przetwornika 1-fazowego napięcia zmiennego na 3-fazowe.

ko wtedy, gdy S i Z są zmienne, a to zapewnia mikrosterownik. Niestety, jego możliwości arytmetyczne nie wystarczają do wypełnienia tego zadania, co pociąga za sobą konieczność korzystania z tabeli zawierającej parametry niezbędne do generacji danego prądu wyjściowego.

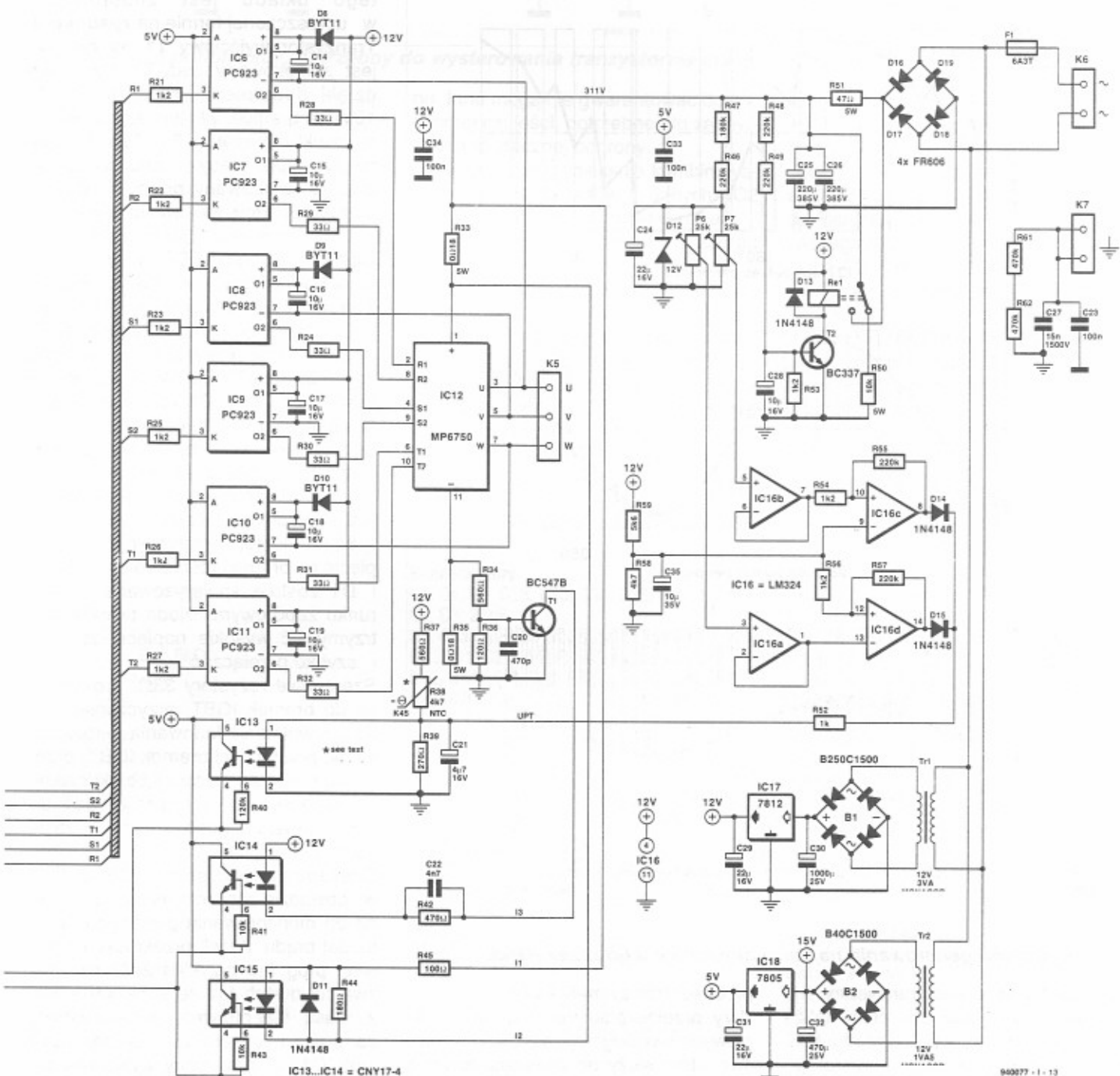
Prąd wyjściowy silnie zależy od napięcia wyjściowego i jego częstotliwości. Zawarte w tabeli dane o objętości wielu kilobajtów zostały przygotowane

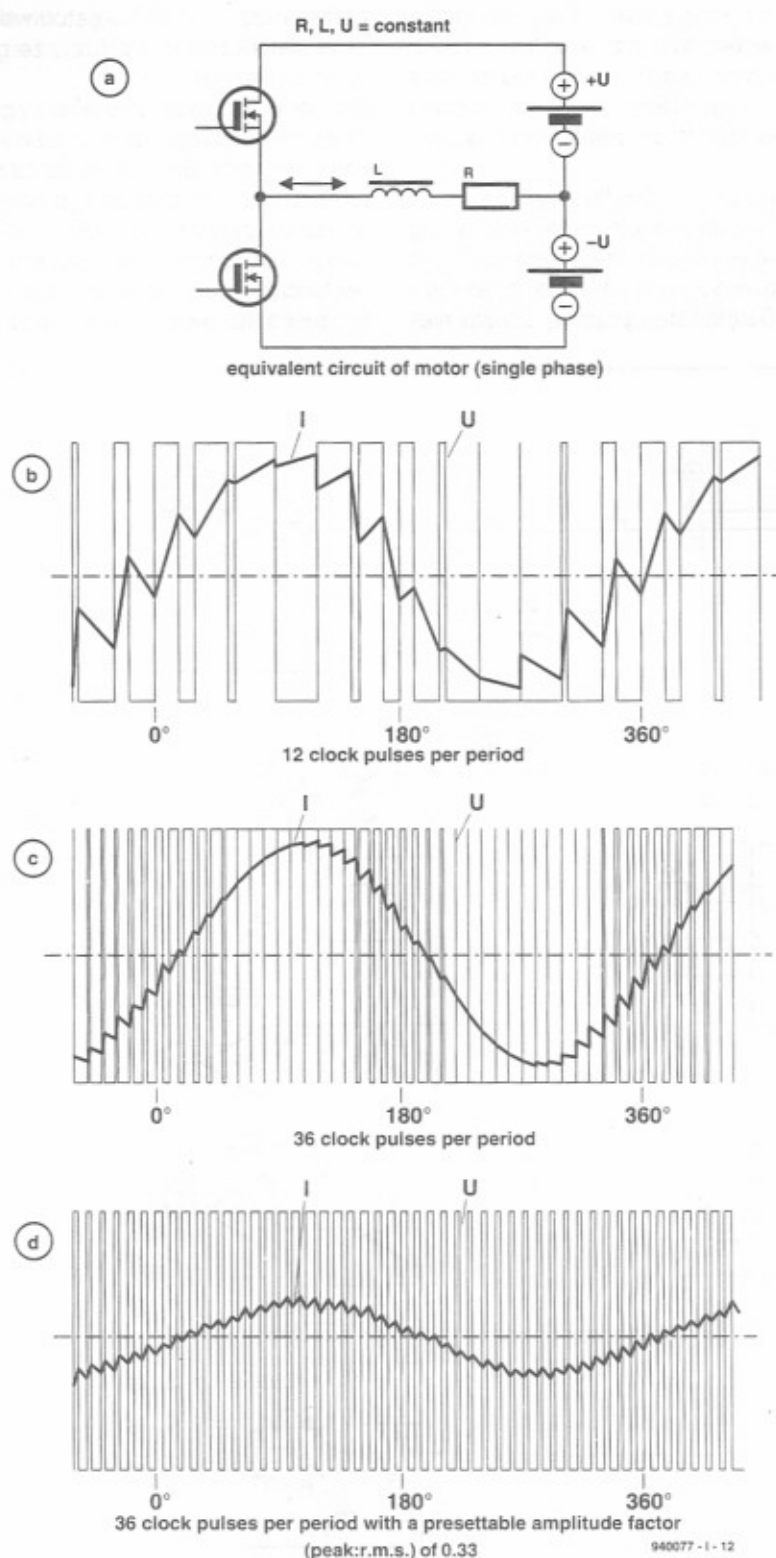
na podstawie określonej charakterystyki i nie mogą być zmieniane przez użytkownika. Wraz z każdym poleceniem przerywania 2 timera CPU pobiera z tabeli następną wartość PWM i umieszcza ją w rejestrze CCx procesora.

Przedsięwzięto środki zapewniające stałość momentu silnika. Realizuje się to przez obniżanie średniego napięcia wyjściowego, gdy maleje częstotliwość. Dzięki temu prąd w silniku nie-

mal się nie zmienia. W przeciwnym razie, przy niskich częstotliwościach prąd silnika byłby tak duży, że groziłoby to spalaniem uzwojeń.

Do generacji częstotliwości zegarowej 1MHz dla mikroprocesora użyty został kwarc 12MHz. Gdy napięcie zasilające spadnie poniżej ustalonego progu, IC3 generuje sygnał zerujący (reset) procesor. Zapobiega to przypadkowym reakcjom procesora na zakłócenia w zasilaniu, na skutek których mogły-





Rys. 3. Sposób generowania napięcia sinusoidalnego przez PWM.

by zostać zniszczone tranzystory wyjściowe. Impuls zerujący służy także do zablokowania wyjść układu IC5, który generuje sześć sygnałów sterujących tranzystorami mocy. Powoduje to wyłączenie wszystkich tranzystorów wyjściowych. Na sygnał wejściowy IC5 składają się generowane przez mikro-

procesor trzy sygnały PWM.

Przy przełączaniu tranzystorów wyjściowych wykorzystuje się czas martwy $1\mu\text{s}$, który służy do eliminacji zwarcia mogącego chwilowo wystąpić w razie równoczesnego przewodzenia dwóch szeregowo połączonych tranzystorów mocy.

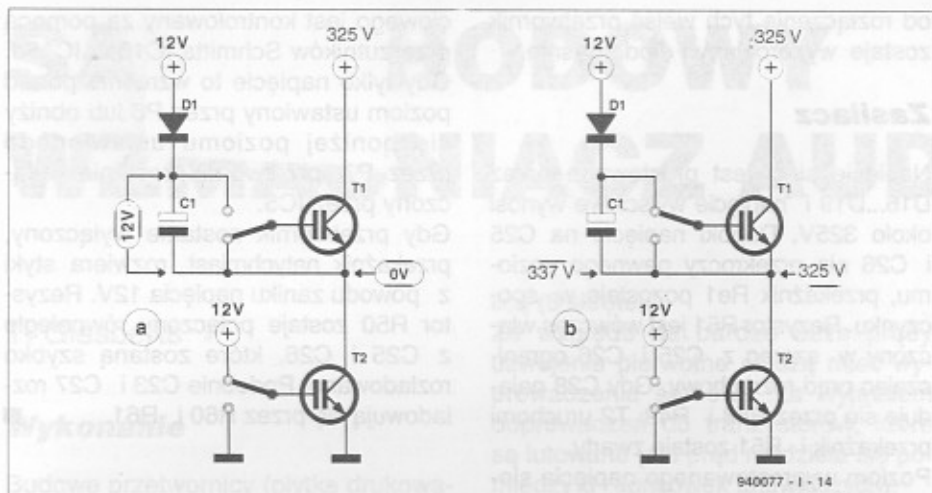
Bramki tranzystorów mocy są sterowane za pośrednictwem transoptorów IC6...IC11, które są specjalnie zaprojektowane do takich zadań. Stopnie wyjściowe tych transoptorów tworzą po dwa szeregowo tranzystory, działające jak przełączniki. Mogą one bardzo szybko odbierać ładunek z pojemności bramek IGBT, zapewniając dużą szybkość ich przełączania.

IGBT przewodzi przy dodatnim napięciu na złączu bramka-emiter, więc górny IGBT każdej pary szeregowej wymaga układu podbijającego. Działanie tego układu jest zilustrowane w uproszczonej formie na rysunku 4. Tranzystor wyjściowy T1 na rys. 4a jest zablokowany, zaś T2 przewodzi dzięki dodatniemu napięciu (około 10V) na bramce. W tym stanie wspólny punkt elementów T1, T2 i C1 jest na potencjale masy i kondensator C1 zostaje naładowany przez D1 do napięcia 12V. Rolę elektronicznego przełącznika bramki T1 pełni stopień wyjściowy transoptora. Skoro tylko T2 zostanie wyłączony, (rys. 4b), bramka T1 zostaje zwarta z dodatnim biegunem C1 i otrzymuje napięcie dodatnie. T1 zaczyna więc przewodzić. Z powodu zablokowania T2 potencjał wspólnego punktu T1, T2 i C1 rośnie do 325V. Ujemny biegun C1 jest teraz na tym potencjale, więc potencjał bramki względem emitera T1 jest nadal wyższy o 12V. Napięcie na emiterze T1 jest napięciem zasilającym silnik. Gdy tylko transoptor zostanie włączony, napięcie na bramce rośnie do około 337V i D1 zostaje spolaryzowana w kierunku zaporowym. Dioda ta musi wytrzymać wysokie napięcie zwrotne i szybko przełączać.

Szeregowo rezystory 33Ω , prowadzące do bramek IGBT, przyczyniają się do spowolnienia ładowania i rozładowania pojemności bramek IGBT, przełączają więc one wolniej, dzięki czemu układ zabezpieczający przed nadmiernym wzrostem prądu zdąży w razie potrzeby zadziałać.

Szeregowo rezystory R33 i R35 w obwodzie zasilania układu IC12 służą do monitorowania płynącego przez moduł prądu. Jeżeli przekroczy on pewien próg (na przykład 20A) wskutek zwarcia dwóch faz ze sobą lub jednej z masą, IC5 otrzyma sygnał awaryjny za pośrednictwem transoptora IC14 lub/i IC15 i tranzystory wyjściowe zostaną natychmiast zablokowane.

Poprawne działanie układu zabezpieczającego zależy od tego, czy czas narastania prądu mieści się w nor-



Rys. 4. Układ podbijający, potrzebny doysterowania tranzystorów mocy.

malnych granicach. Zwarcia powstające na płytce drukowanej lub tuż przy końcówkach wejściowych mogą spowodować duże szkody, bowiem indukcyjności kabli są zbyt małe. Dlatego też czas przełączania IGBT zredukowano rezystorami 33Ω.

Temperatura modułu jest monitorowana przez rezystor R38 o ujemnym współczynniku temperaturowym (NTC). Jeżeli moduł nagrzej się zbyt, do procesora przez IC13 zostanie wysłany odpowiedni sygnał. Ze względu na ważną rolę, jaką w zabezpieczeniu układu odgrywają transoptory IC13, IC14 i IC15, muszą zostać zastosowane tylko układy zalecanego ty-

pu. Inne mogą nie gwarantować dostatecznej czułości, potrzebnej do zapewnienia skutecznej ochrony.

Układ IC1 demultipleksuje kombinowaną magistralę adresów i danych, IC2 przechowuje program przetwornika.

Użytkownik ma do dyspozycji szereg potencjometrów nastawnych, przeznaczonych do ustawiania napięcia i szybkości silnika, procesor ma więc szereg wyprowadzeń do ich przyłączenia. Ponieważ nawet niewielkie zakłócenia mogą wywołać poważne konsekwencje, wejścia te są wyposażone w odpowiednie zabezpieczenia.

Wszystkie wejścia, które są dostępne przez złącza K1...K4 z zewnątrz, są

zasilane z niestabilizowanego źródła +15V. Zmniejsza to ryzyko wprowadzenia zakłóceń z tych wejść do procesora. Wejścia są połączone z zasilaniem przez rezystor, który zabezpiecza je przed skutkami zwarcia. Diody Zenera D1...D6 ograniczają napięcia wejść analogowych do wymaganych 5,1V, zaś wejść cyfrowych do 4,7V.

Potencjometry nastawne P1...P4 i potencjometr P5 są połączone z wejściami analogowymi procesora. Prędkość obrotową silnika reguluje się za pomocą P5, pozostałe parametry ustawia się potencjometrami nastawnymi.

Wejścia K3 i K4 są wejściami przełączającymi: gdy końcówka 5 w K3 jest połączona z masą, silnik obraca się w kierunku zgodnym z kierunkiem obrotu wskazówek zegara i jego szybkość można ustalić za pomocą P4. Gdy końcówka 6 w K3 jest połączona z masą, silnik obraca się w kierunku przeciwnym do kierunku obrotu wskazówek zegara, zaś jego szybkość można ustalić za pomocą P2. Gdy końcówka 7 w K4 jest połączona z masą, silnik obraca się w kierunku zgodnym z kierunkiem obrotu wskazówek zegara, a jego szybkość obrotową można regulować za pomocą P5. Gdy końcówka 8 w K4 jest połączona z masą, silnik obraca się w kierunku przeciwnym kierunkowi obrotu wskazówek zegara a jego szybkość można regulować za pomocą P5.

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

R1, R34, R37: 560Ω
R2: 82Ω
R3, R4: 2,2kΩ
R5...R12, R59: 5,6kΩ
R13...R17: 3,3kΩ
R18: 470Ω
R19: 330Ω
R20: 680Ω
R21...R23, R25...R27, R53, R54, R56: 1,2kΩ
R24, R28...R32: 33Ω
R33, R35: 0,18Ω/5W
R36: 120Ω
R38: NTC, 4,7kΩ
R39: 270Ω
R40: 120kΩ
R41: 10kΩ
R42: 470Ω
R43: 10kΩ
R44: 180Ω
R45: 100Ω
R46, R48, R49, R55, R57: 220kΩ
R47: 180kΩ
R50: 10kΩ/5W
R51: 47Ω/5W
R52: 1kΩ
R60, R61: 470kΩ
P1...P4, P6, P7: 25kΩ, pot. montażowy
P5: 10kΩ, pot. liniowy

Kondensatory

C1, C4, C5, C23, C33, C34, C36, C37: 100nF
C2, C3: 27pF
C6, C13: 1μF/16V, radialny
C7...C11, C21: 4,7μF/16V, radialny
C12, C14...C19, C28, C35: 10μF/16V, radialny
C20: 470pF
C22: 4,7nF
C25, C26: 220μF/400V, radialny
C27: 15nF/1500V
C24, C29, C31: 22μF/16V, radialny
C30: 1000μF/25V
C32: 470μF/25V

Półprzewodniki

D1= dioda Zenera, 5,1V/400mW
D2: dioda Zenera, 6,2V/400mW
D3...D6: dioda Zenera, 4,7V/400mW
D7: LED
D8...D10: BYT11 lub BYV36E (1000V, 150ns)
D11, D13...D15: 1N4148
D12: dioda Zenera, 12V/400mW
D16...D19: FR606 (500V/5A)
B1: mostek prostowniczy B250C1500
B2: mostek prostowniczy B40C1500
T1= BC547B
T2: BC337
IC1= 74HCT573
IC2: EPROM, nr kodu 946640-2
IC3: TL7705A CP (Texas Instruments)

IC4: 80C535 (Siemens)
IC5: GAL, nr kodu 946640-1
IC6...IC11= PC923 (Sharp)
IC12: moduł MP6750 (Toshiba) lub CPV363 MF (International Rectifier) - patrz tekst
IC13...IC15: CNY17-4 (Siemens)
IC16: LM324
IC17: 7812
IC18: 7805

Różne

JP1: jumper, 2 rzędy
K1-K4: złącze śrubowe, podwójne, rozstaw 5mm
K5: złącze śrubowe potrójne, rozstaw 7,5mm
K6, K7: złącze śrubowe, podwójne, rozstaw 7,5mm
X1: rezonator kwarcowy 12MHz
F1: bezpiecznik zwłoczny 6,3A
Re1: przekaźnik 12V
Tr1: transformator sieciowy 12V/3A
Tr2: transformator sieciowy 12V/1,5A
wyłącznik sieciowy 3A
radiator SK104 (37,5mm wys.), 2szt.
radiator SK68 (75mm wys.) SW40/30 (100mm wys.)
płytką drukowaną, nr kodu 940077-1
kit (PCB+EPROM+GAL), nr kodu 940077-C

Przetwornik napięcia 1 --> 3 fazy

Potencjometrem nastawnym P3 wyznacza się przyspieszenie, z jakim silnik osiąga pełne obroty, potencjometr P4 wyznacza opóźnienie, z jakim silnik zostaje zatrzymany. Jeżeli jednakże JP1 jest zwarty, pozycja P4 nie ma znaczenia i silnik zostaje zatrzymany natychmiast.

Stan awaryjny (error) jest sygnalizowany świeceniem D7. Skasowanie tego stanu jest możliwe jedynie przez wyłączenie przetwornika i usunięcie przyczyny wywołującej stan awaryjny. Kasowanie następuje wówczas, gdy wejścia 5...8 nie są użyte, czyli nie są zwarte z masą. Po upływie około 6s

od rozłączenia tych wejść przetwornik zostaje wyzerowany i dioda gaśnie.

Zasilacz

Napięcie sieci jest prostowane przez D16...D19 i napięcie wyjściowe wynosi około 325V. Dopóki napięcie na C25 i C26 nie przekroczy pewnego poziomu, przekaźnik Re1 pozostaje w spoczynku. Rezystor R51 jest wówczas włączony w szereg z C25 i C26 ograniczając prąd rozruchowy. Gdy C28 naładuje się przez R48 i R49, T2 uruchomi przekaźnik i R51 zostaje zwarty.

Poziom wyprostowanego napięcia sie-

ciowego jest kontrolowany za pomocą przerzutników Schmitta IC16a...IC16d. Gdy tylko napięcie to wzrośnie ponad poziom ustawiony przez P6 lub obniży się poniżej poziomu ustawionego przez P7, przetwornik zostanie wyłączony przez IC5.

Gdy przetwornik zostanie wyłączony, przekaźnik natychmiast rozwiera styki z powodu zaniku napięcia 12V. Rezystor R50 zostaje połączony równolegle z C25 i C26, które zostaną szybko rozładowane. Podobnie C23 i C27 rozładowują się przez R60 i R61. ■