

UKŁADY STERUJĄCE SILNIKÓW SKOKOWYCH.

Układy sterujące silniki skokowe składają się z kilku części:

- **Generacja trajektorii ruchu.** Układy generujące impulsy sterujące, z których każdy impuls odpowiada elementarnemu ruchowi silnika, oraz kierunek obrotu,
- **Komutator elektroniczny** zamieniający sygnały sekwencji impulsów i kierunku obrotów na sygnały logiczne podawane na wejścia wzmacniacza mocy,
- **Wzmacniacze mocy**, przetwarzające sygnały sterujące na odpowiedni poziom napięć lub prądów w paśmie silnika,
- **Elementy komunikacyjne** do współpracy z odpowiednimi urządzeniami nadrzędnymi nad silnikiem (transmisja równoległa, transmisja szeregową),
- **Zabezpieczenia i diagnostyka.** Zabezpieczenie przed awariami i pracą w niewłaściwych warunkach i sygnalizowanie tego do układów nadrzędnych.

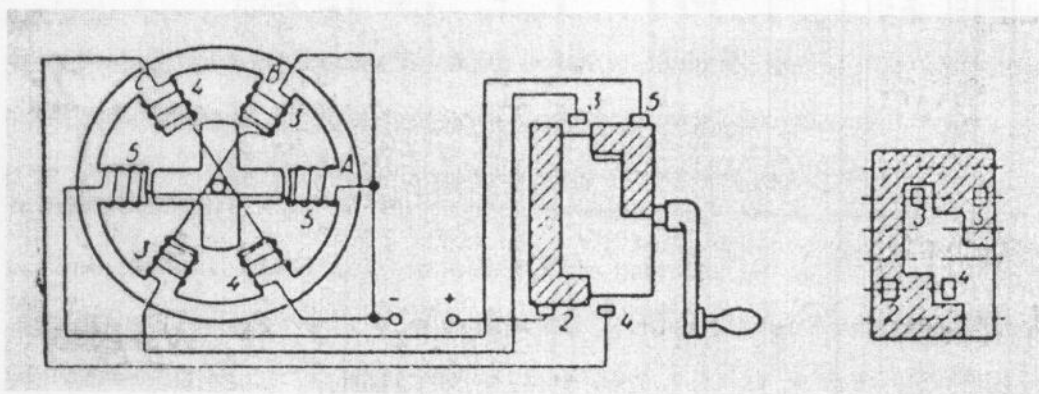
Przy sterowaniu mikroskokowym część układów ma charakter podzespołów analogowych:

- komutator elektroniczny ma najczęściej charakter specjalizowanego przetwornika cyfrowo-analogowego z dodatkowymi elementami,
- wzmacniacz mocy jest wzmacniaczem analogowego sygnału sterującego na odpowiedni poziom napięcia lub prądu. Wzmocnienie może być analogowe lub impulsowe.

Sterowanie elektromechaniczne.

Pierwsze silniki skokowe miały sterowanie elektromechaniczne.

Na rys. 1 pokazano silnik skokowy i jego sterowanie, wykorzystywane na brytyjskich okrętach wojennych w latach dwudziestych XX wieku. Na izolowanym walcu umieszczone były odpowiednio powycinane miedziane pola, na których przesuwali się szczotki. Kręcenie korbką powodowało zdalne sterowanie w wyrzutniach torped i dział okrętowych.



Rys. 1. Silnik skokowy i sterowanie z lat dwudziestych XX wieku.

Komutatory elektroniczne

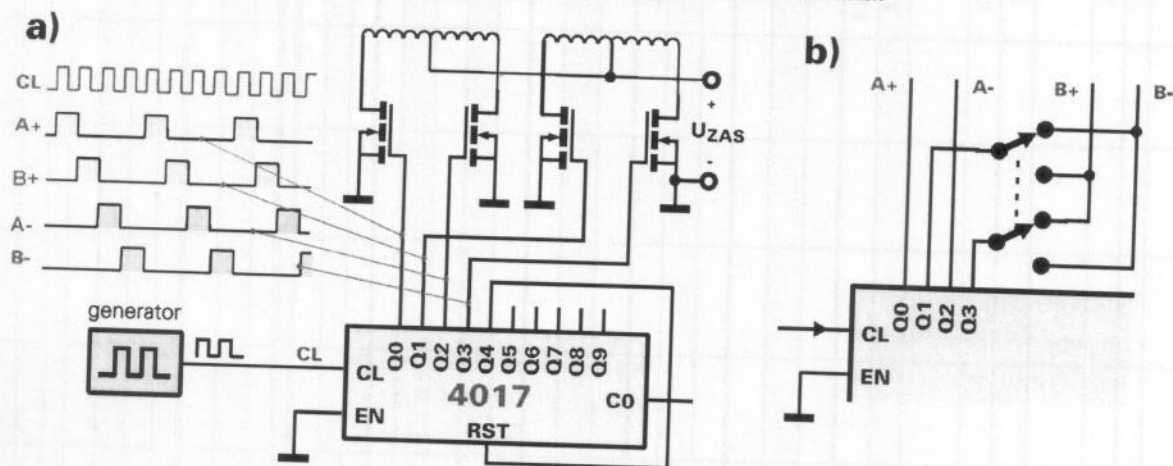
Zadaniem komutatorów jest zmiana impulsów sterujących (jeden impuls – jeden skok) i bitu kierunku obrotów na sekwencję sygnałów sterujących poszczególne klucze (wzmacniacze mocy).

Najprostszą realizacją komutatora jest licznik 4017 pracujący w skróconym cyklu (rys.2 a). Umożliwia sterowanie uzwojeń pojedynczo z każdego pasma (nazywane sterowaniem

jednofazowym)

Na rys.2.b pokazano sterowanie uzwojeń zasilanych dwukierunkowo (bipolarne) przez przełącznik zmiany polaryzacji..

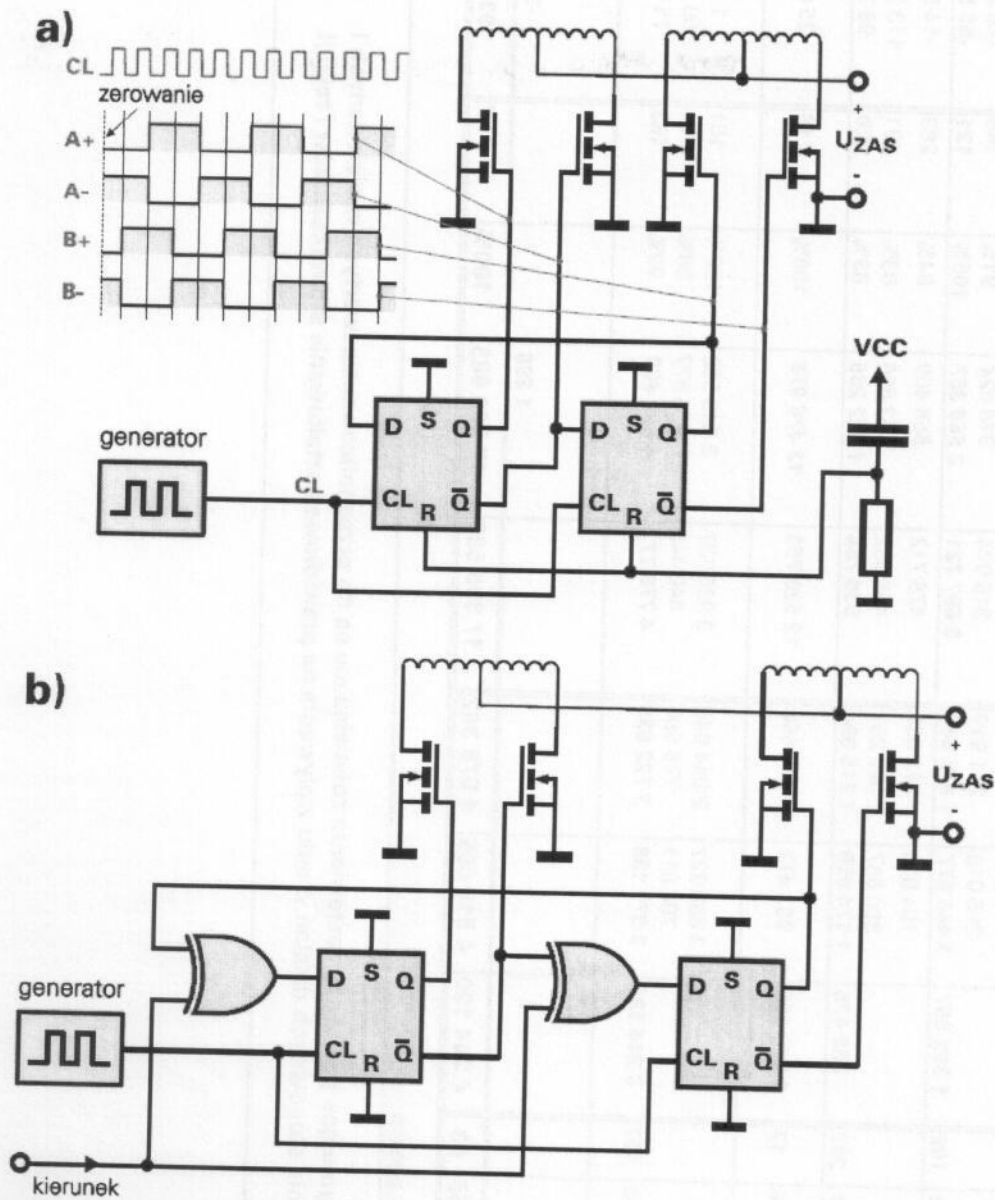
Ten sposób sterowania nie wykorzystuje w pełni możliwości silnika.



Rys. 2. Komutator jednofazowy z wykorzystaniem licznika Johnsona.

Sterowanie dwufazowe, w którym zasilane są zawsze dwa uzwojenia pokazano na rys. 3. Można wykorzystać w nim dwa przerzutniki typu D (np. 4013).

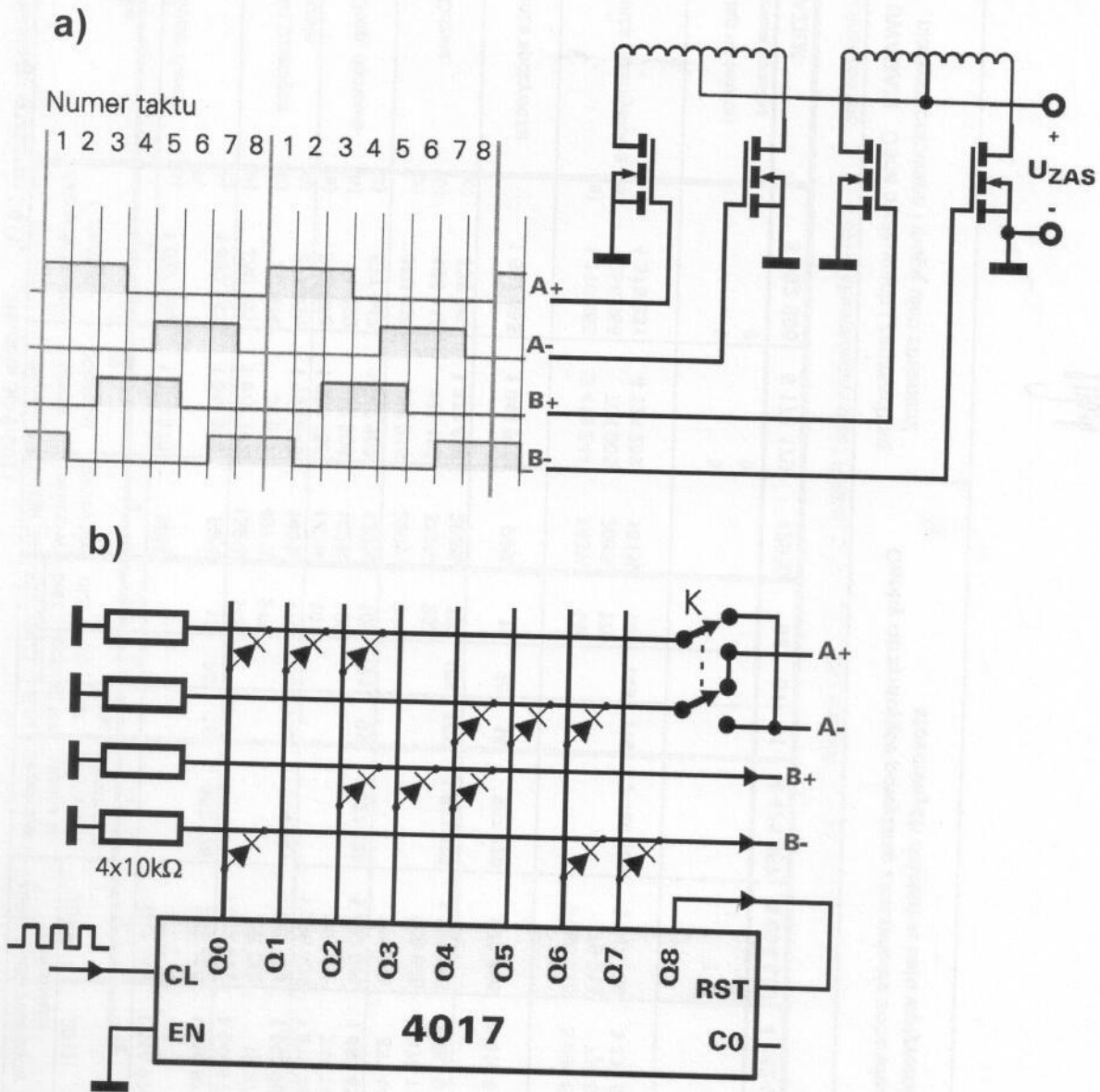
Jeśli chcemy zmienić kierunek obrotów silnika dodajemy dwie bramki EX-OR lub EX-NOR (układy 4030 lub 4077) jak pokazano na rys.3.b.



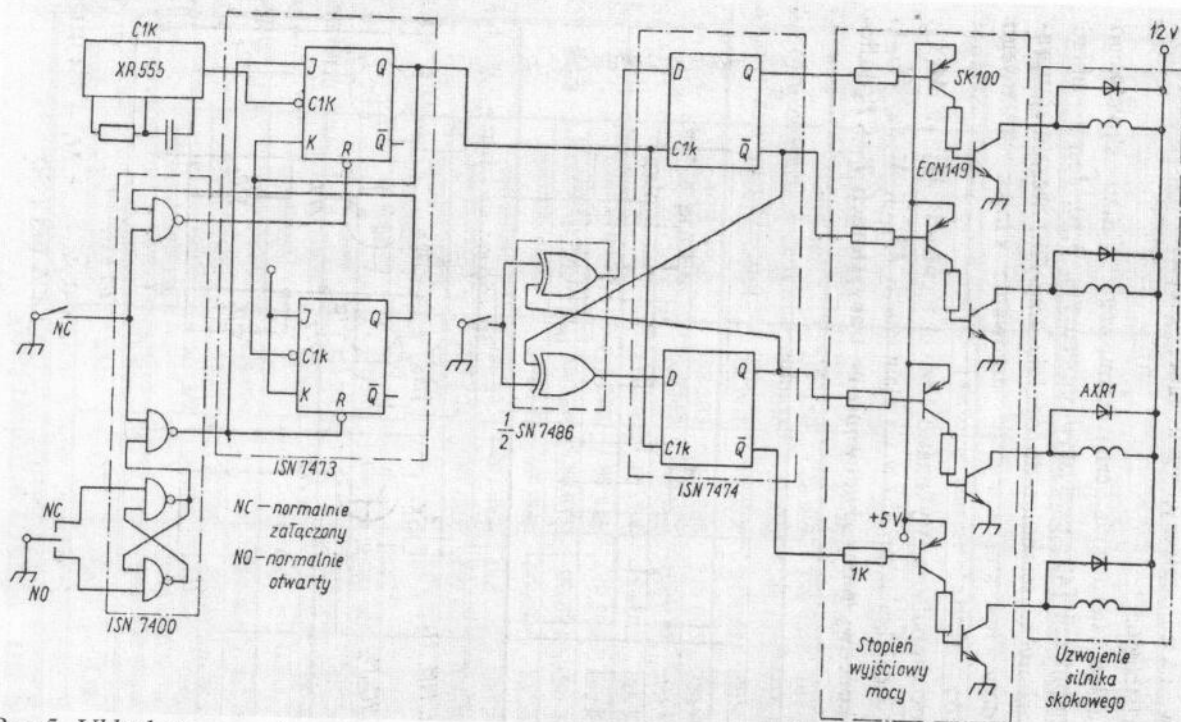
Rys. 3. Komutator dwufazowy z wykorzystaniem przerzutników typu D.

Komutator do sterowania półskokowego unipolarnego o sekwencji impulsów pokazanej na rys.4.a można wykonać w wersji najprostszej pokazanej na rys.4.b.

Wykorzystujemy tu wykonanie funkcyjnych za pomocą układu diodowo-rezystorowego.



Rys. 4. Komutator do sterowania półskokowego unipolarnego
 Bardziej złożone komutatory można otrzymać przez zastosowanie innych układów logicznych.
 Przykład zamieszczono na rys.5.



Rys.5. Układ sterowania czteropasmowego silnika sterowanego unipolarnie przez układy sterujące w oparciu o elementy średniej skalo integracji.

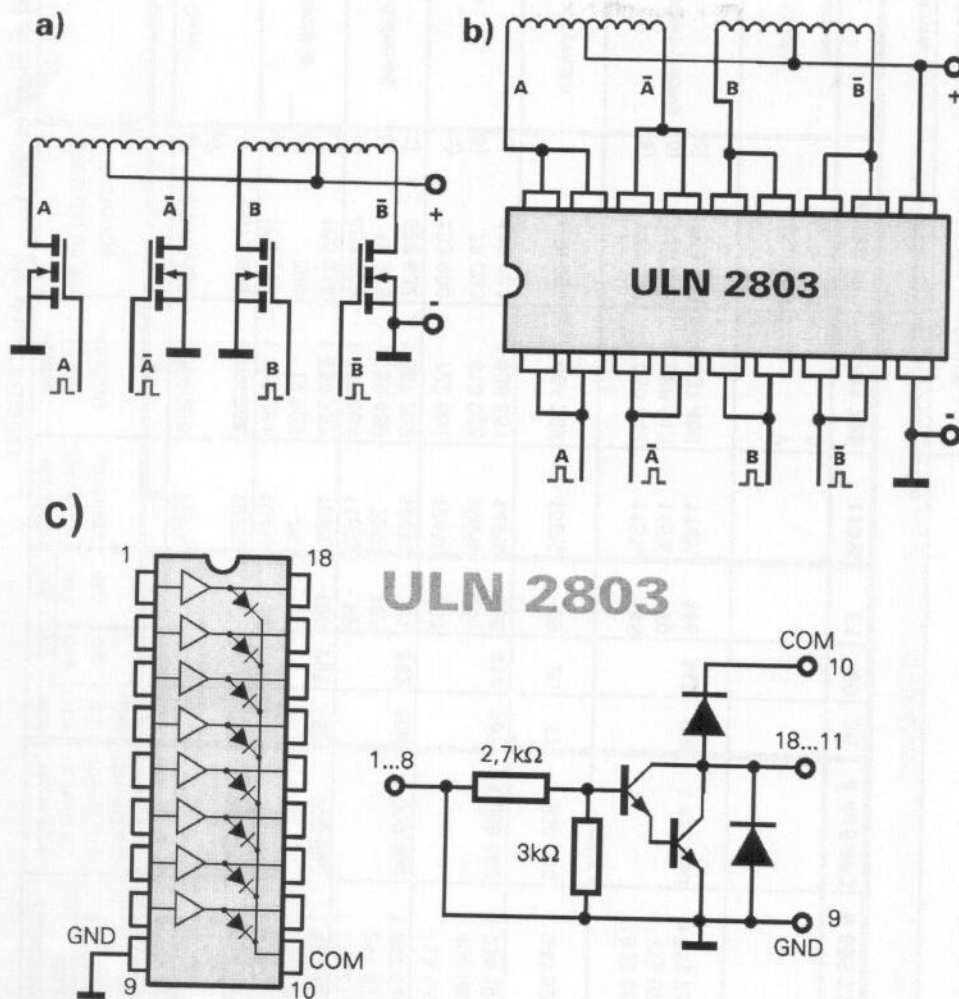
Pytanie: Opisz działanie układu z rys.5

Jednak najczęściej komutatory są realizowane przez układy mikroprocesorowe lub specjalizowane układy scalone.

Elementy sterujące uzwojeniami – wzmacniacze mocy.

Jako najprostsze elementy sterujące można przy sterowaniu bipolarnym wykorzystać tranzystory pracujące jako klucze. Nie należy przy tym zapominać o diodach rozładowujących energię z indukcyjności.

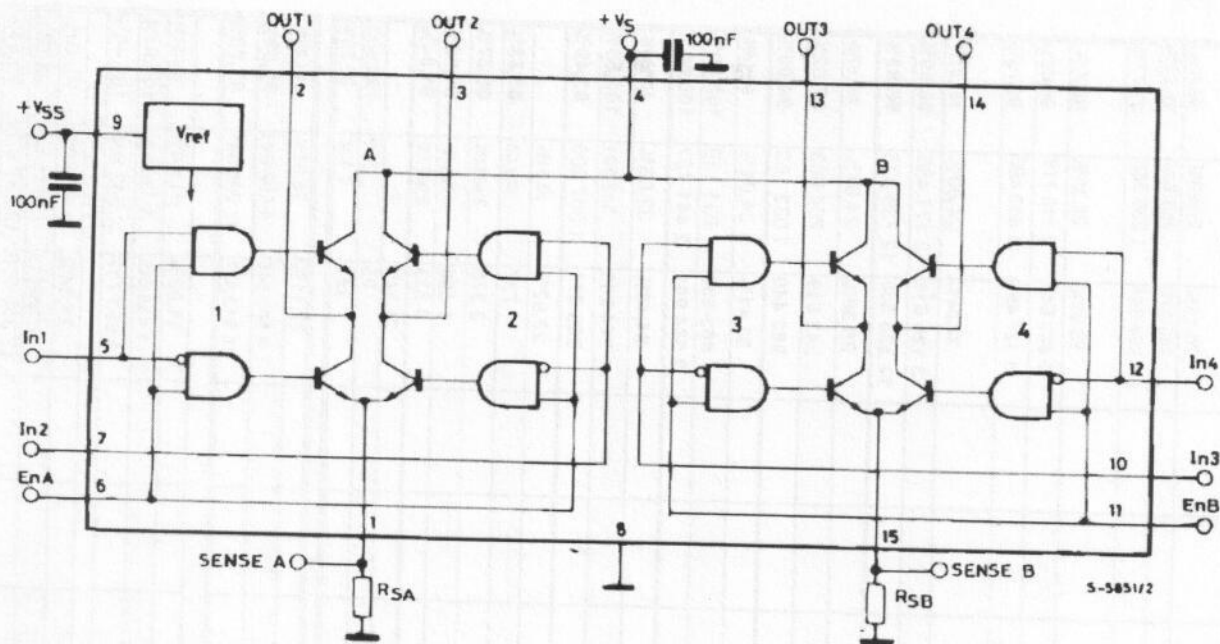
Dla prostych silników skokowych małej mocy o sterowaniu unipolarnym można zastosować popularne układy ULN2803 zawierające 8 tranzystorów Darlingtona o zdolności przełączania 0,5A i 8 stosownymi diodami jak pokazano na rys.6.



Rys.6. Sterownik uzwojeń silnika unipolarny z zastosowaniem układu ULN2803.

Do sterowania bipolarnego chętnie wykorzystuje się podwójny mostek z elementami dodatkowymi L289D pokazany na rys.7.

Układ akceptuje jako sygnały sterujące standardowe poziomy logiczne TTL. Aby zwiększyć odporność na zakłócenia akceptowany górny poziom logiczny „0” wynosi 1,5V. Niskie napięcia nasycenia tranzystorów ($V_{CEsat(H)}=2V$ i $V_{CEsat(L)}=1,7V$ przy 2A) i wysokie napięcia zasilania ($V_S=47V$), prąd wyjściowy do I_o4A , w powiązaniu z wewnętrznym zabezpieczeniem termicznym, czyni ten układ użytecznym w wielu obszarach sterowania obciążen indukcyjnych.



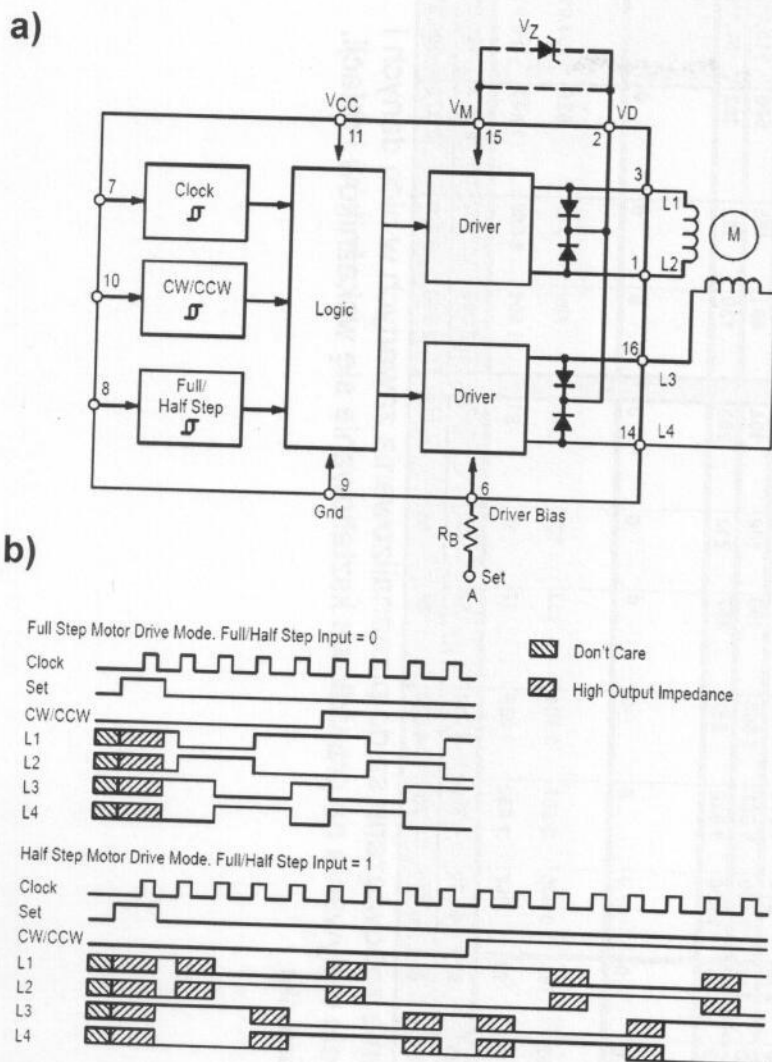
7. Podwójny mostek L289D – schemat blokowy.

Rys.

Układy zawierające komutator i wzmacniacz mocy do sterowania silnika skokowego.

Jednym z wczesnych układów, który łączył w sobie komutator i wzmacniacze mocy był układ SAA1042 firmy Motorola. Przeznaczony do małych silników skokowych sterowanych bipolarnie zawierał dwa układy mostkowe.

Układ pokazany na rys. 8. przeznaczony jest do relatywnie małych prądów (0,5A) i niedużych napięć (do 12V). Diody zabezpieczające przed przepięciami są umieszczone wewnątrz układu. Tylko diody Zenera, na których wydzielana jest znacząca moc są wyprowadzone na zewnątrz. Wyprowadzenie 6 (Driver Bias) ma podwójną funkcję. Wartość rezystora dołączonego reguluje prąd sterowania tranzystorów w mostku. Tym samym stanowi formę zabezpieczenia prądowego. Równocześnie to samo wyprowadzenie służy do wyzerowania i wymuszenia startu z ustalonym stanem mostka.

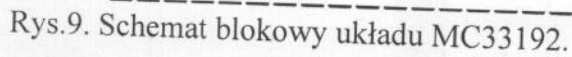


Rys. 8. Układ sterujący SAA1042 do silników skokowych. a) schemat blokowy, b) przebiegi w pracy pełnoscokowej i półnoscokowej.

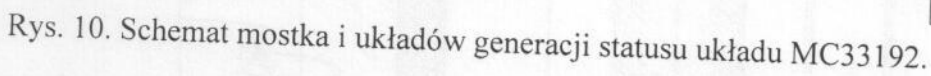
Układy zawierające komutator i wzmacniacz mocy do sterowania silnika skokowego z transmisją szeregową.

Odrębna grupę sterowników stanowią układy przeznaczone do komunikacji szeregowej. Pierwowzorem tych układów był układ scalony MC33192. Współcześnie układy tego typu realizują bardzo złożone funkcje jak omówiony później układ L99SM81V.

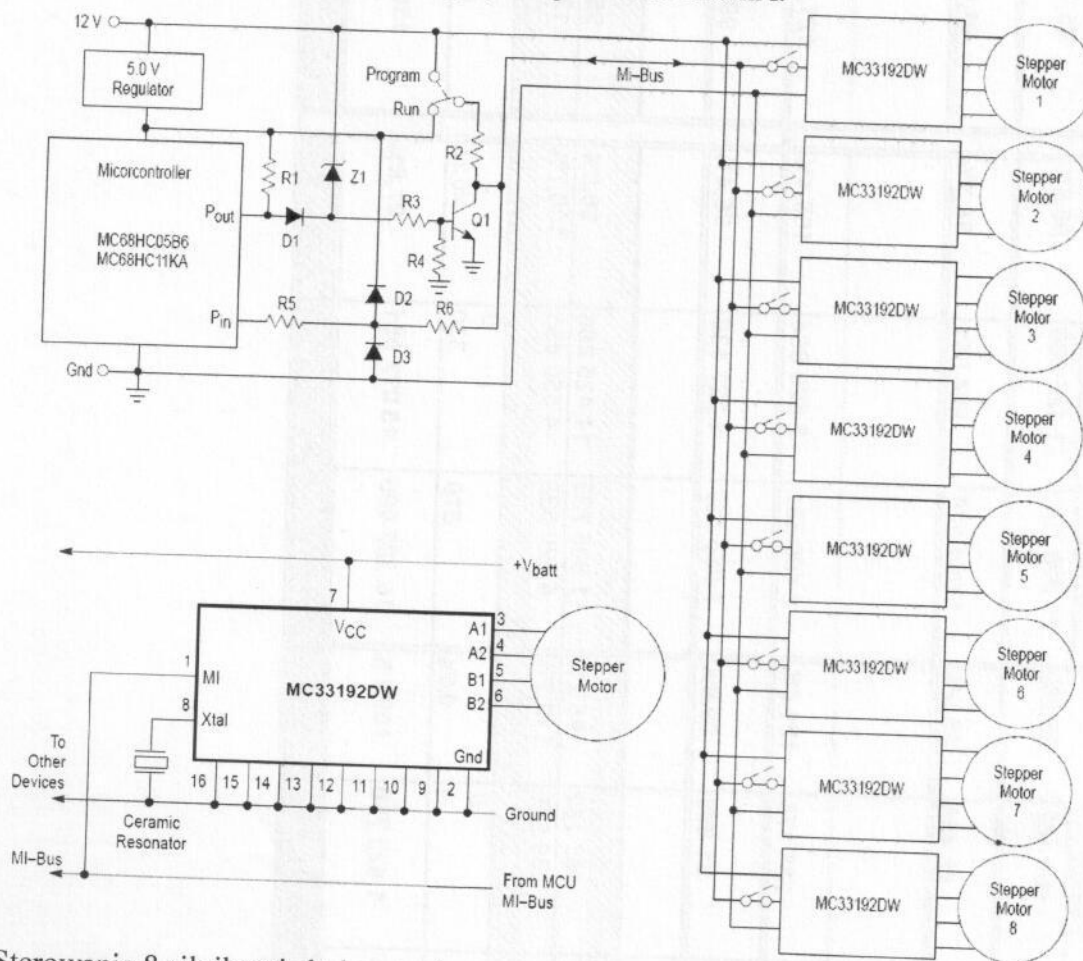
Układ MC33192 jest sterownikiem silnika skokowego do zastosowań motoryzacyjnych. Wykorzystuje magistralę szeregową MI-BUS firmy Motorola. Jest sterownikiem pełnoscokowym. Dodatkowo zawiera zabezpieczenia. Schemat blokowy układu zamieszczono na rys. 9.



Układ diagnozuje swój stan (stan, przekroczenie temperatury, przerwanie uzwojenia) i przekazuje tę informację zwrótnie na magistralę. Schemat mostka i układu generującego status pokazano na rys.10.

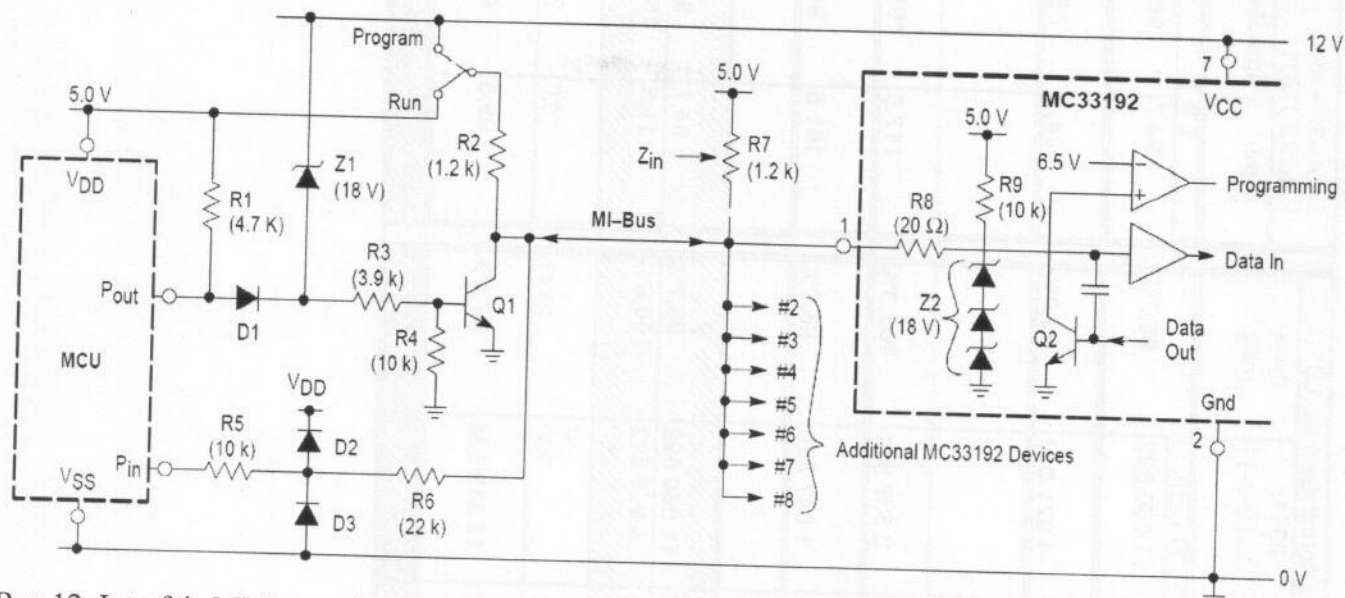


Przy podłączonych 8 układach jak pokazano na rys. 11. można sterować je z prędkością maksymalną do 100 skoków (o czasie trwania skoku 2ms) na sekundę. Układ przeznaczony jest do silników zasilanych z napięcia 12V i o prądzie pasma do 120mA.



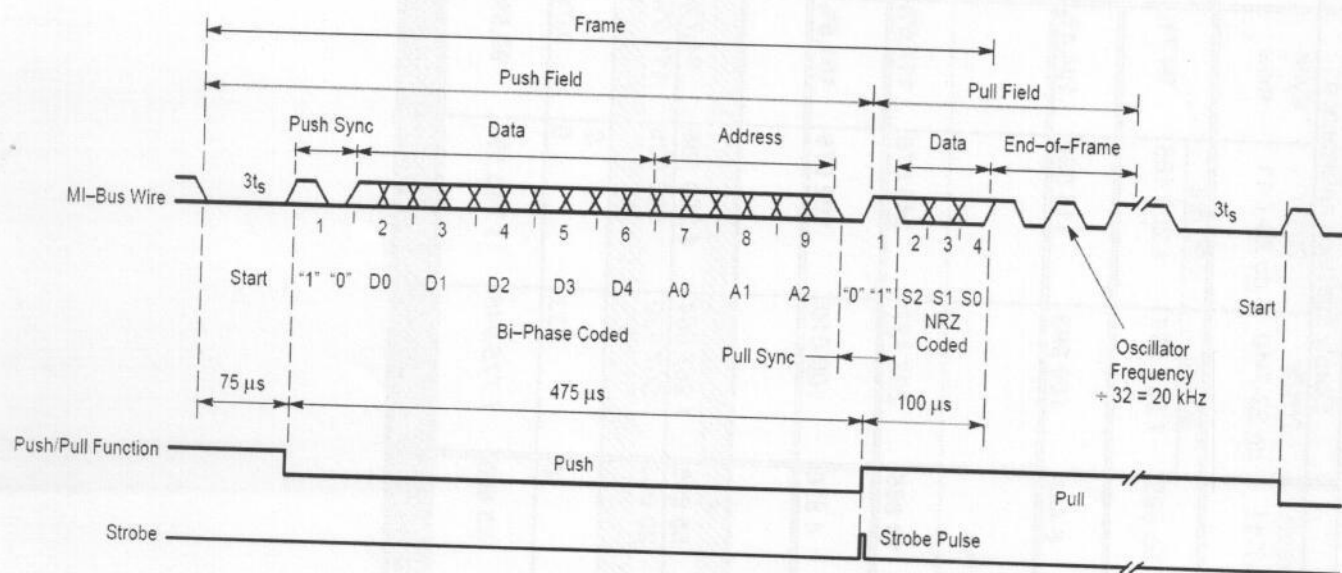
Rys. 11. Sterowanie 8 silnikami skokowymi za pomocą układu MC33192.

Interfejs szeregowy MI-BUS pozwala na komunikację szeregową z prędkością ponad 20kbitów na linii na odległość 15 metrów. Zaletą jego jest odporność na zakłócenia, małe wymagania na jakość kabli. Oprócz masy i zasilania potrzebuje tylko jednego przewodu obsługującego do 8 urządzeń. W motoryzacji pozwala zastąpić wiązki przewodów obsługując liczne urządzenia pomocnicze np. sterowanie klimatyzacją, lusterkami, podnoszeniem szyb i reflektorów. Na rys 12 pokazano postać układów interfejsu od strony procesora jak i jaki sterownika silnika.

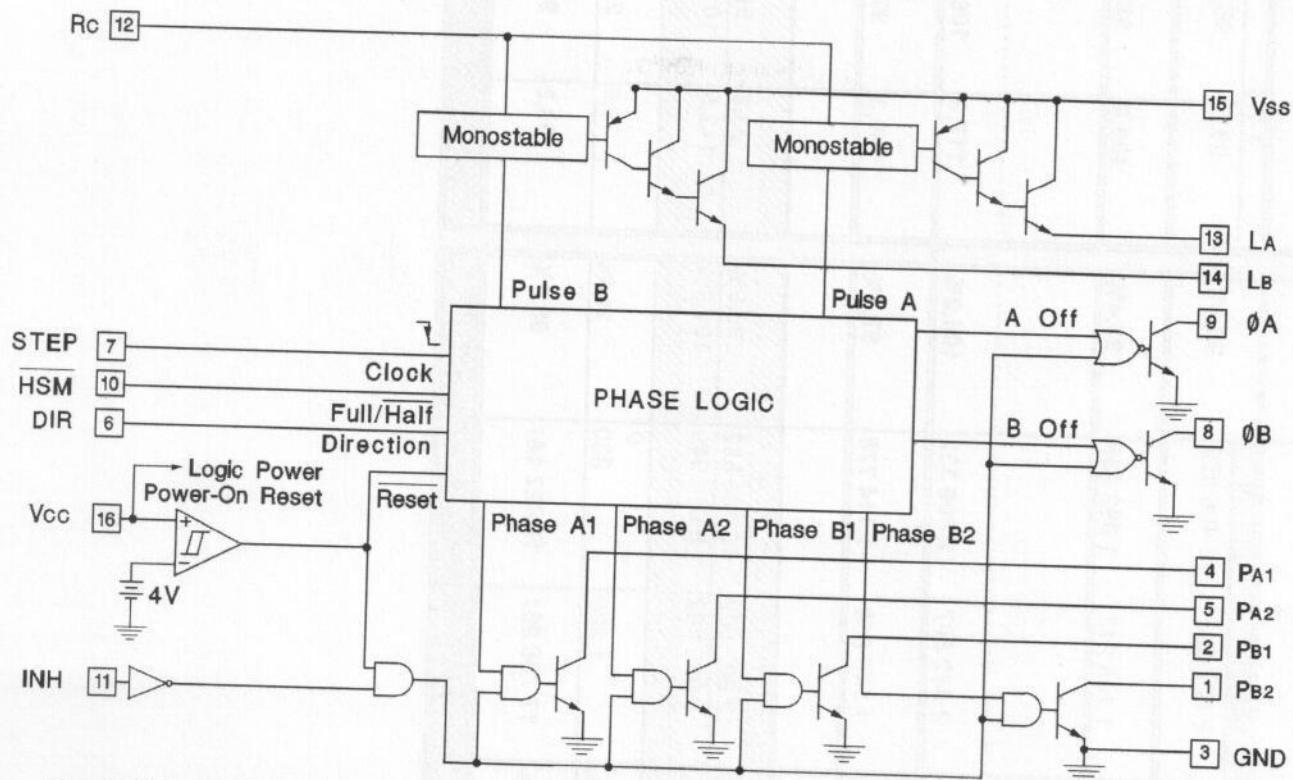


Rys.12. Interfejs MI-Bus od strony procesora jak i jaki sterownika silnika MC33192. (poprawić – kropki)

Interfejs MI-Bus wykorzystuje dwufazowy kod Manchester.
Postać ramki informacji w interfejsie MI-Bus pokazano na rys.13.

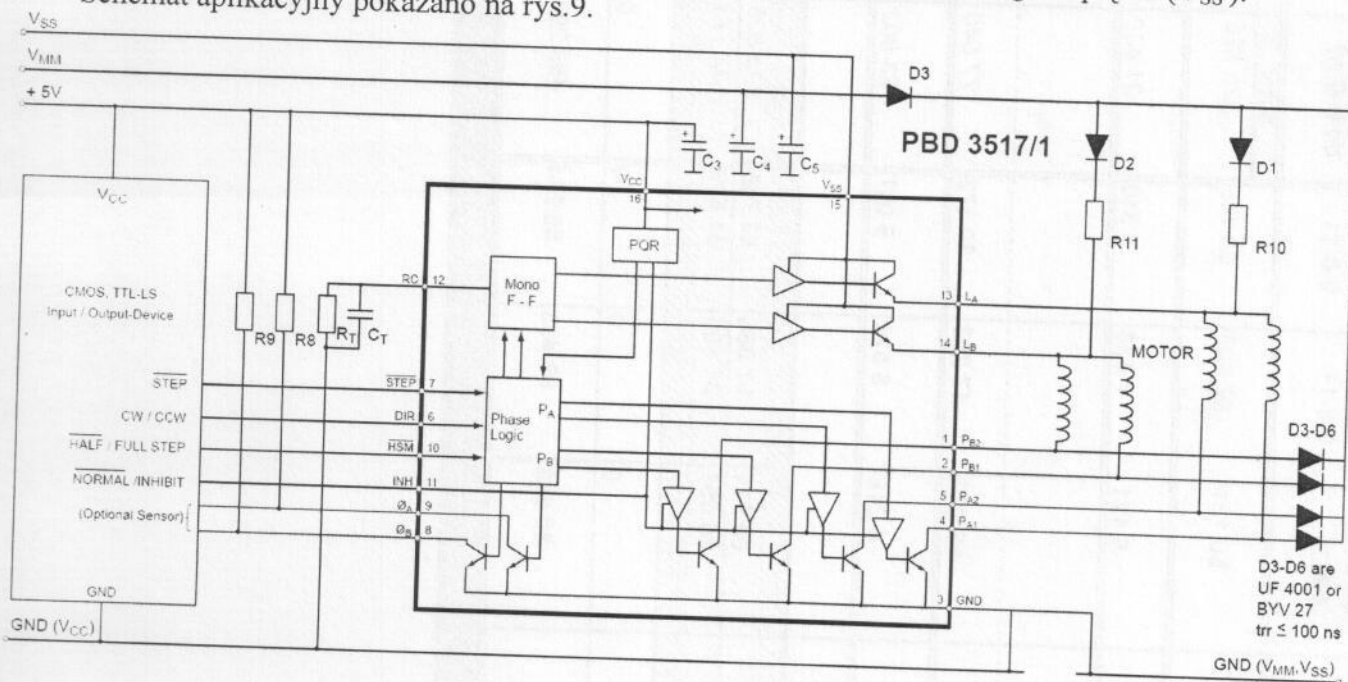


Układem wykorzystującym chwilowe podwyższenie napięcia do zwiększenia stromości narostu prądu w paśmie silnika jest układ UC3517 firmy Unitrode (lub jego odpowiedniki innych firm). Pokazany na rys.9.



Rys.8. Schemat blokowy układu UC3517.

Jest to układ do sterowania unipolarnego uzwojeń dwóch pasm (A i B) przez tranzystory umieszczone przy masie (wyprowadzenia P_{A1} , P_{A2} , P_{B1} i P_{B2}). Sygnałem sterującym są impulsy „skok” (STEP), kierunek obrotu (DIR) i wybór pracy –pełnoskokowa lub półskokowa (HSM). Uniwibratory, o czasie wyzwalania ustawionym przez zewnętrzny układ RC (wejście RC), sterują tranzystory w układzie Darlingtona przyłączone do niezależnego wyższego napięcia (V_{SS}). Schemat aplikacyjny pokazano na rys.9.

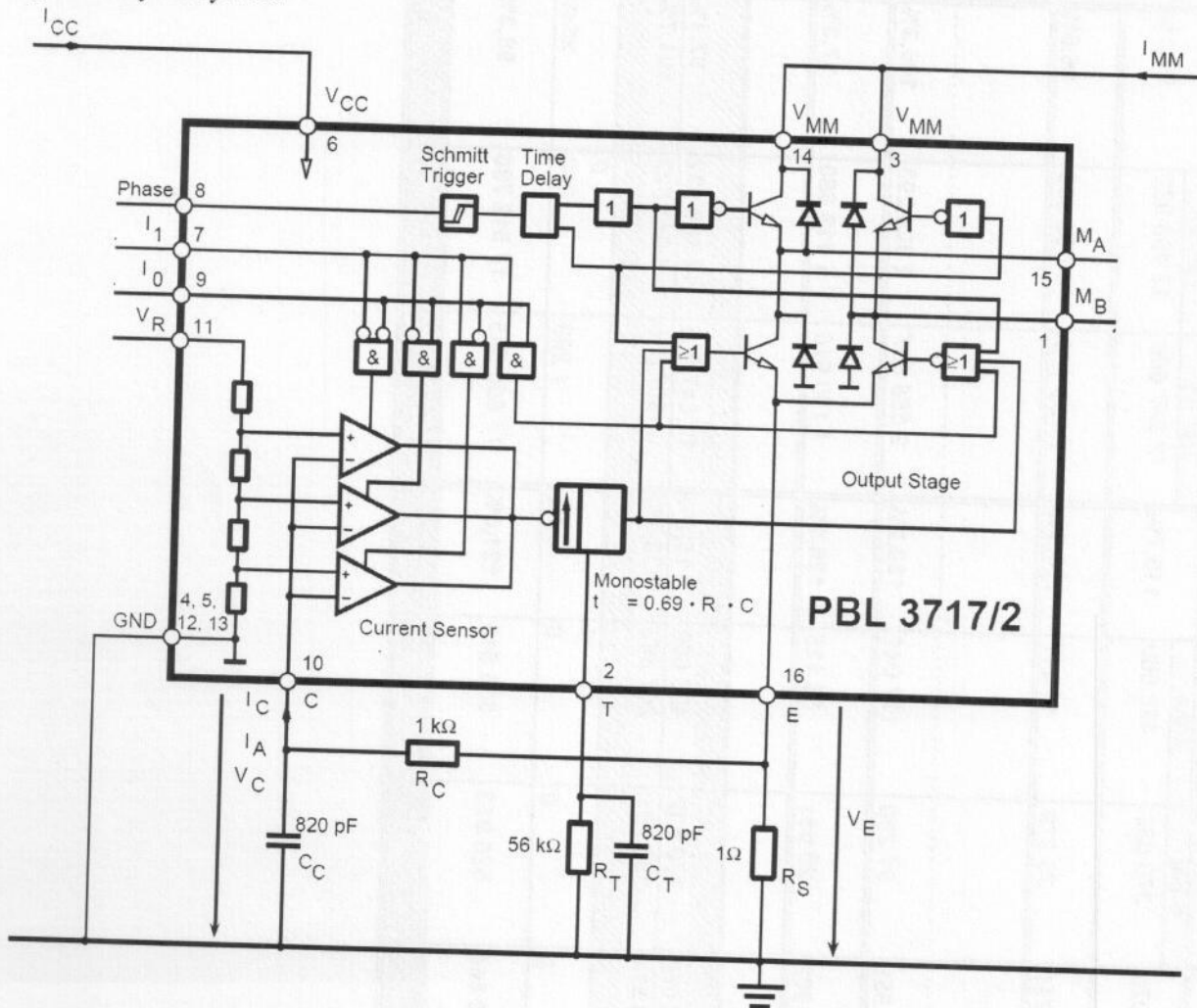


Rys.9. Schemat aplikacyjny układu UC3517.

Napięciem zasilania układu sterującego (V_{CC}) jest 5V, ale napięcie silnika może wynosić do 40V (V_{SS}, V_{MM}). Prądy wyjść wynoszą do 350mA.

Układy sterowania impulsowego zawierające komutator i wzmacniacz mocy.

Przykładem sterowania impulsowego o dyskretnych wartościach prądu jest układ PBL3717 pokazany na rys.10.



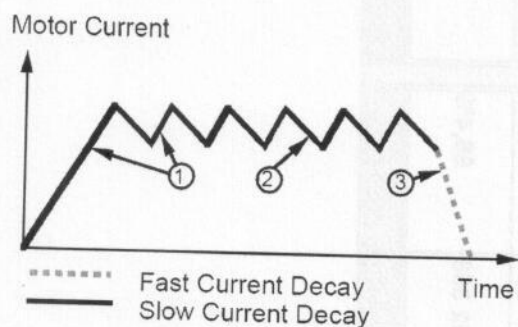
10. Schemat blokowo-aplikacyjny układu PBL3717.

Rys.

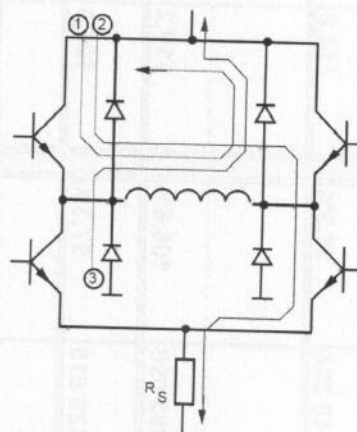
Układ jest impulsowym układem sterowania bipolarnego pojedynczego pasma silnika skokowego (wyjścia M_A , M_B). Mostek wyjściowy ma wydajność prądową do (I_{MM}) 1,2A przy napięciu zasilania do 50V (V_{MM}). Prąd wyjściowy jest mierzony przez spadek na rezystorze R_S , filtrowany od zakłóceń układem R_C , C_C . Porównany z wartością zadaną na jednym z trzech komparatorów. To jaki komparator zostanie wykorzystany zależy od wejść logicznych I_1 , I_2 . Ustawiają one prąd wyjściowy (z podziału przez wewnętrzny dzielnik rezystorowy) na wartości 100%, 60%, 20%, 0%. Wartość zadaną możemy także zmieniać regulując napięcie zasilające (V_R) wewnętrzny dzielnik rezystorowy.

Gdy prąd jest za duży następuje wyłączenie mostka na czas wynikający z ustawienia uniwibratora (stała czasowa $R_T C_T$). Po tym czasie następuje włączenie mostka. Jak wygląda przebieg prądu i jego cyrkulacja w mostku pokazano na rys.11.

a)

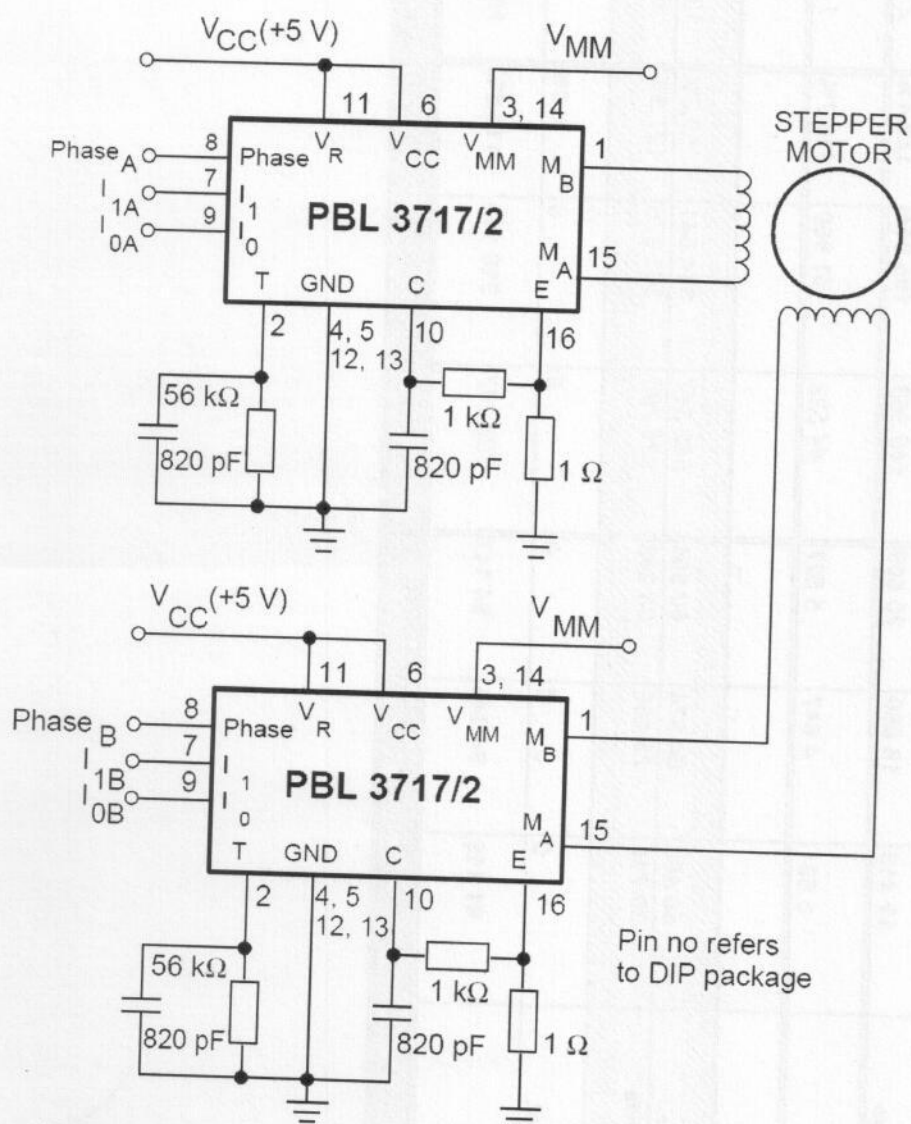


b)



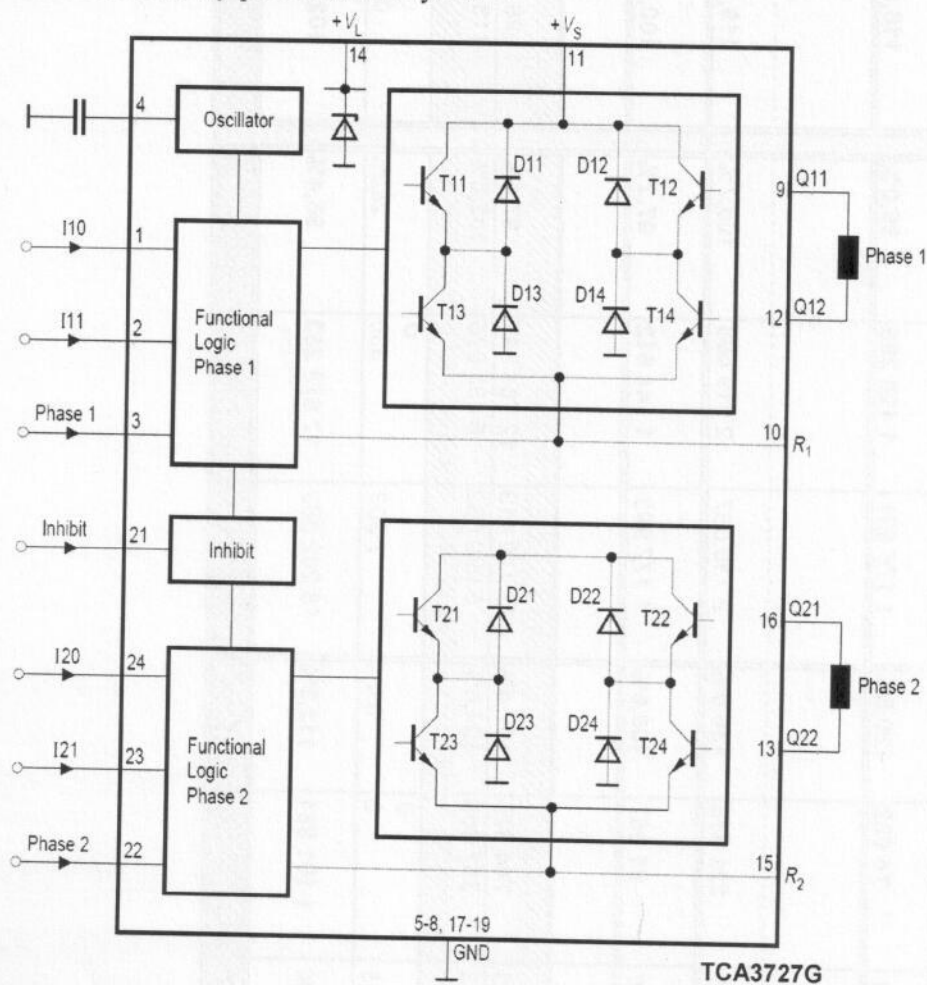
Rys.11. Przebieg prądu w uzwojeniu (a) i jego cyrkulacja w mostku (b).

Przykład zastosowanie układu PBL3717 (dwa układy) do sterowania silnika skokowego dwupasmowego pokazano na rys.12.



Rys.12. Zastosowanie układów PBL3717 do sterowania silnika skokowego dwupasmowego.

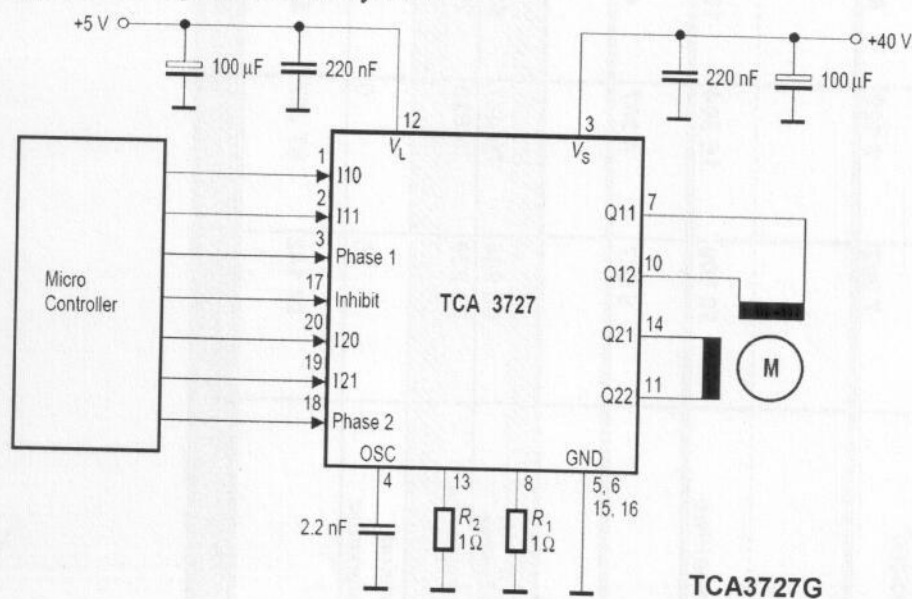
Układem sterującym o stabilizacji impulsowej prądu w obu pasmach jest popularny układ TCA 3727. Pasma sterowane są porądem do 1A i napięcie zasilające pasma do 50V. Uproszczony schemat blokowy pokazano na ry.13.



Rys.13. Uproszczony schemat blokowy układu TCA3727G.

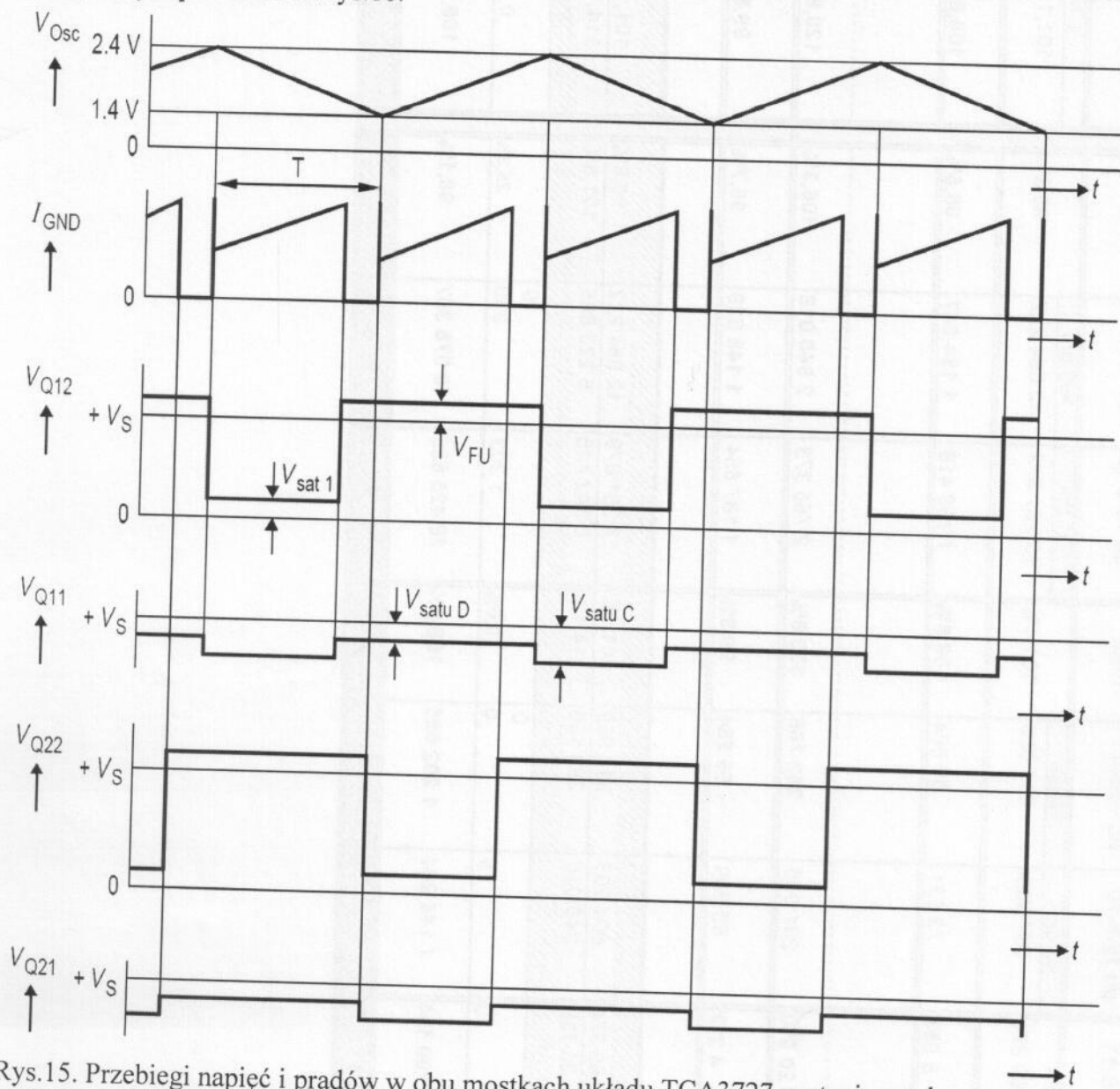
W zależności od stanu wejść sterujących dla każdego pasma (I10,I11) (I20,I21) Prąd wyjściowy przyjmuje wartości 0%,25%, 100%, 150% prądu nominalnego. Kierunek prądu nadają wejścia (Phase1 i Phase2). Taki podział umożliwia sterowanie pełnoscokowe, półscokowe i ćwierćscokowe.

Schemat aplikacyjny układu pokazano na rys 14.



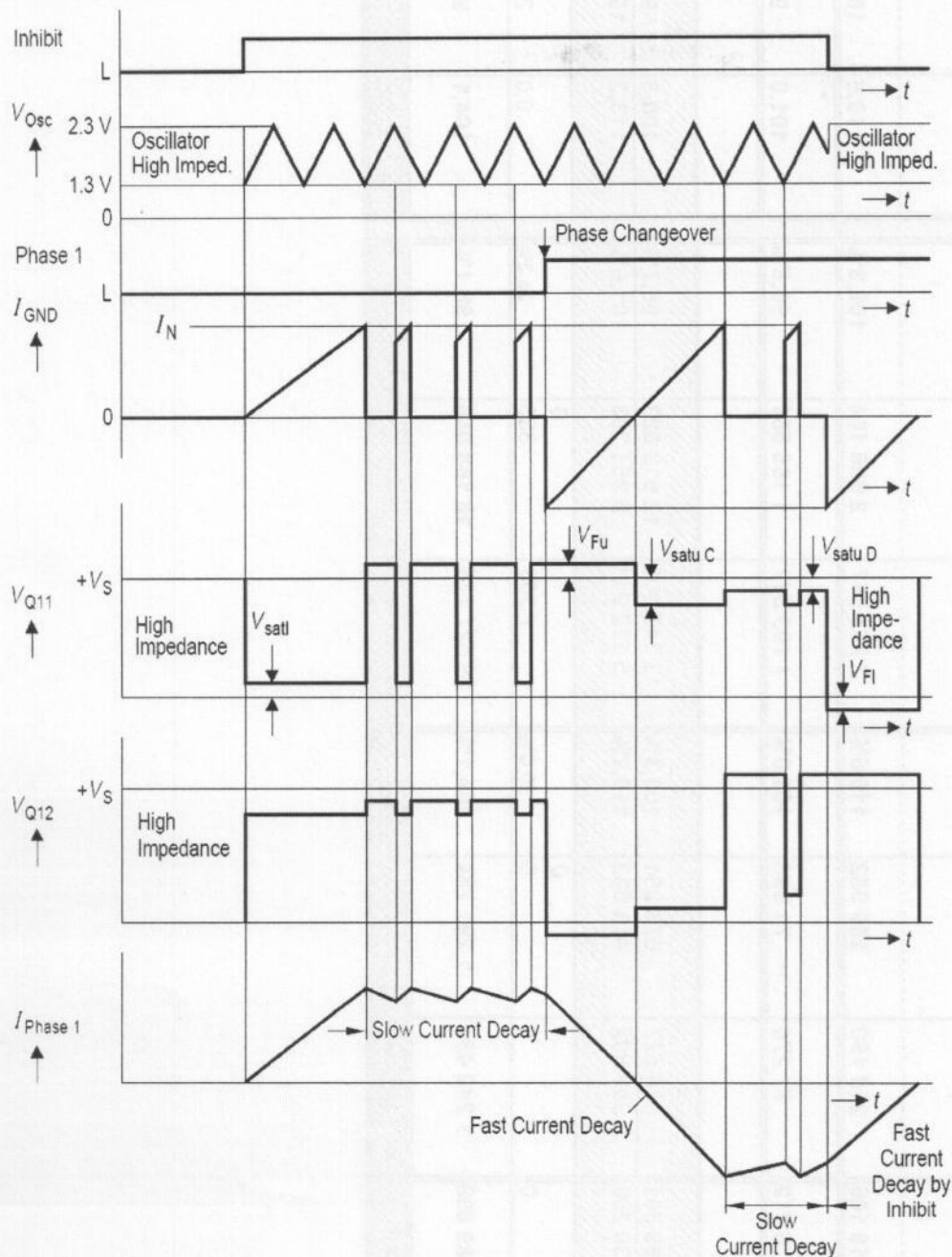
Rys.14. Schemat aplikacyjny układu TCA3727.

Wykresy prądów i napięć w układzie w stanie ustalonym pokazano na rys.15, a przebiegi w stanie nieustalonym pokazano na rys.16.



Rys.15. Przebiegi napięć i prądów w obu mostkach układu TCA3727 w stanie ustalonym.

Mostki pracują naprzemiennie (jak pokazano na rys.15.) by ograniczyć emitowanie zakłóceń radioelektrycznych.



Rys.16. Przebiegi napięć i prądów w obu mostkach układu TCA3727 w stanie nieustalonym.

Elementy sterujące silnika do pracy mikroskokowej

Praca mikroskokowa wymaga podziału poziomów prądu w pasmach na więcej niż 3 poziomy. Realizowane to było przez połączenie specjalizowanego przetwornika cyfrowo-analogowego z układem impulsowymysterowującym prąd w paśmie.

Przykładem takiego rozwiązania ze specjalizowanym przetwornikiem cyfra – analog jest układ PBM3960 w połączeniu z sterownikiem impulsowym silnika PBL3771.

Układ PBM3960 jest 8-bitowym (7 bitów + znak) podwójnym przetwornikiem cyfra – analog. Pokazany na rys.17. układ dostosowany jest do przyłączenia do systemu mikroprocesorowego: szyna danych D0-D7, wejścia adresowe A0, A1, bity sterujące CS, WR, RESET. Na wyjściu napięcie wyjścia przetwornika zadające prąd w paśmie DA1, DA2. Kierunek prądu (znak) –