

Sterownik bipolarnych silników krokowych

Silniki krokowe dzięki swoim zaletom stają się coraz popularniejsze. Niestety wymagają one specjalnych sterowników. W artykule zamieszczono opis sterownika do bipolarnego silnika krokowego średniej mocy o prądzie znamionowym 2 A. na pasmo. Wszystkich Czytelników pragnących zapoznać się bliżej z silnikami krokowymi odsyłamy do artykułu pt. Silniki krokowe.

Silniki krokowe stosowane są w różnego rodzaju serwo mechanizmach. Można zastosować je do pozycjonowania satelitarnych, obrotnic zwykłych anten telewizyjnych, bram wjazdowych, bram garażowych, elektrycznie przesuwanych rygli zamków, elektrycznie opuszczanych żaluzji i markiz słonecznych, czyli wszędzie tam, gdzie zależy nam na wykonaniu zadanej ilości obrotów silnika. Przewagą przemawiającą za stosowaniem silników krokowych w tych urządzeniach jest możliwość uzyskania niewielkiej prędkości obrotowej przy zachowaniu dużego momentu obrotowego, czyli siły.

Silniki te nie wymagają zatem stosowania skomplikowanych i kosztownych przekładni mechanicznych zmniejszających prędkość obrotową, jak ma to miejsce w przypadku stosowania klasycznych silników prądu stałego lub przemiennego. Inną zaletą jest zasilanie ich napięciem 10÷40 V, co wymusza stosowanie transformatora. Uzyskuje się dzięki temu separację galwaniczną od sieci energetycznej i podnosi bezpieczeństwo użytkowania. Jeszcze jedną istotną zaletą stosowania silników krokowych jest wyeliminowanie tarczy kodowej niezbędnej do określenia położenia wału silnika. Samo sterowanie silnika jest także bardzo proste i sprowadza się do wystawienia logicznego sygnału kierunku obrotów, oraz zadanej liczby impulsów adekwatnej do liczby kroków które ma wykonać silnik. Prędkość obrotową silnika można zmieniać poprzez zmianę częstotliwości impulsów sterujących.

Opis układu

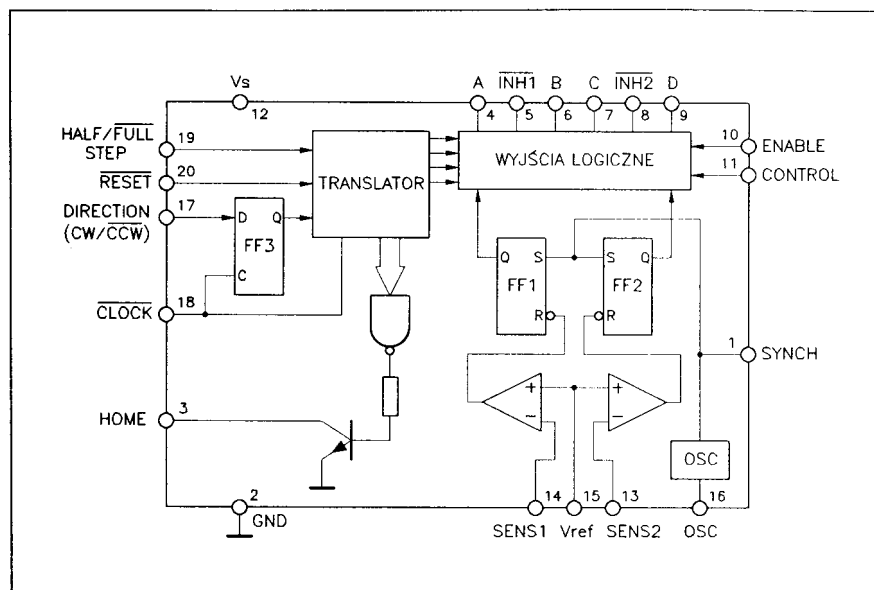
Do zbudowania sterownika silnika krokowego wykorzystano dwa specjalizowane układy scalone L297 i L298N. Pierwszy z nich przeznaczony jest do generowania sygnałów sterujących stopniem mocy. Ponadto możliwa jest zmiana kierunków obrotów, i regulacja prądu płynącego przez uzwojenie silnika. Schemat blokowy układu L297 przedstawiono na rysunku 1. Układ L297 przeznaczony jest do współpracy z podwójnym mostkiem bipolarnym, do wyjść którego dołączone są uzwojenia bipolarnego silnika krokowego. Układ zasilany jest napięciem +5 V, a wszystkie sygnały sterujące i wyjściowe zgodne są ze standardem TTL.

Zasadniczym blokiem jest translator, który generuje wszystkie niezbędne przebiegi sterujące stopniem mocy, za pośrednictwem wyjść logicznych A, B, C, D INH1 i INH2. Translator generuje trzy sekwencje przebiegów które pozwalają na pracę półkrokową, dwufazową i jednofazową silnika.

Wejście CONTROL przeznaczone jest do wyboru sposobu regulacji prądu w uzwojeniach silnika. Jeżeli stan tego wejścia jest niski kontrola prądu dokonywana jest na liniach INH1 i INH2. Natomiast w przypadku stanu wysokiego na regulacja prądu przebiega za pośrednictwem linii sterujących A, B, C, D.

Wejście ENABLE po podaniu na nie sygnału zera logicznego ustawia wszystkie wyjścia sterujące A, B, C, D, INH1, INH2 w stan niski blokując tym samym prąd płynący przez silnik krokowy.

Do sterowania kierunkiem obrotów służy wejście DIRECTION. Zmiana stanu logicznego na tym wejściu powoduje zmianę kierunków obrotów na przeciwny. Zmiana stanu wejścia DIRECTION może zostać dokonana asynchronicznie w stosunku do zegara dzięki wewnętrznyemu układowi synchronizującemu z przerzutnikami D.

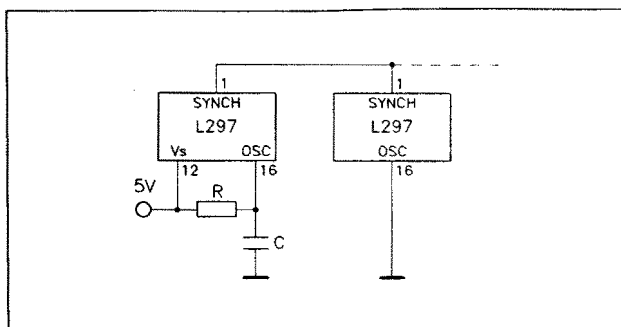


Rys. 1 Schemat blokowy układu L 297

Specjalnie nie określa się poziomów logicznych sygnału dla kierunku w lewo lub w prawo, gdyż zależy on jest także od kolejności podłączenia wyprowadzeń silnika do wyjść stopnia mocy.

Wejście zegara CLOCK przeznaczone jest do sterowania kolejnymi krokami silnika. Silnik wykonuje krok w chwili pojawienia się narastającego zbocza sygnału zegara.

Drugim blokiem jest układ podwójnego czopera mającego za zadanie regulację prądu silnika. W skład czopera wchodzi dwa komparatory i zatrzaski, oraz generator. Prąd obu uzwojeń silnika mierzony jest za pośrednictwem spadku napięcia na rezystorach po-



Rys. 2 Schemat połączenia kilku układów L297 w pracy synchronicznej

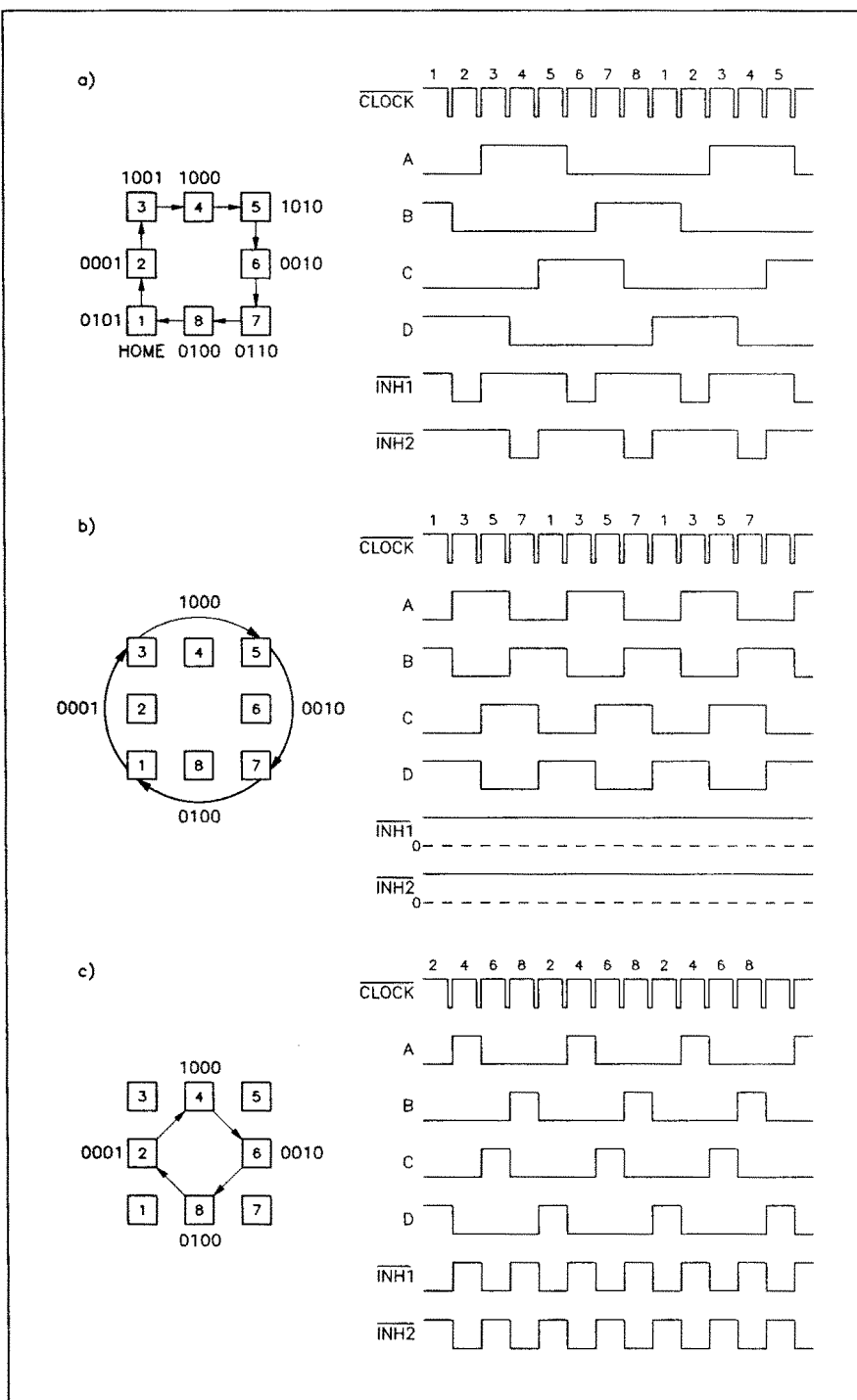
miarowych R3 i R4 (patrz schemat ideowy). Napięcie z rezystorów R3 i R4 doprowadzane jest do wejścia SENS1 i SENS2 układu L297.

Przebieg wytwarzany w generatorze ustawia przerzutniki FF1 i FF2 w stan wysoki. Kiedy prąd płynący przez uzwojenia silnika osiągnie zadaną wartość komparator zmieni swój stan na przeciwny zerując przerzutnik. Efektem tego jest ustawienie odpowiednich sygnałów sterujących stopniem mocy w stan niski i przerwanie przepływu prądu przez silnik. Za chwilę generator ponownie ustawi przerzutniki w stan wysoki i prąd zostanie ponownie włączony. Próg przy którym wyłączany jest

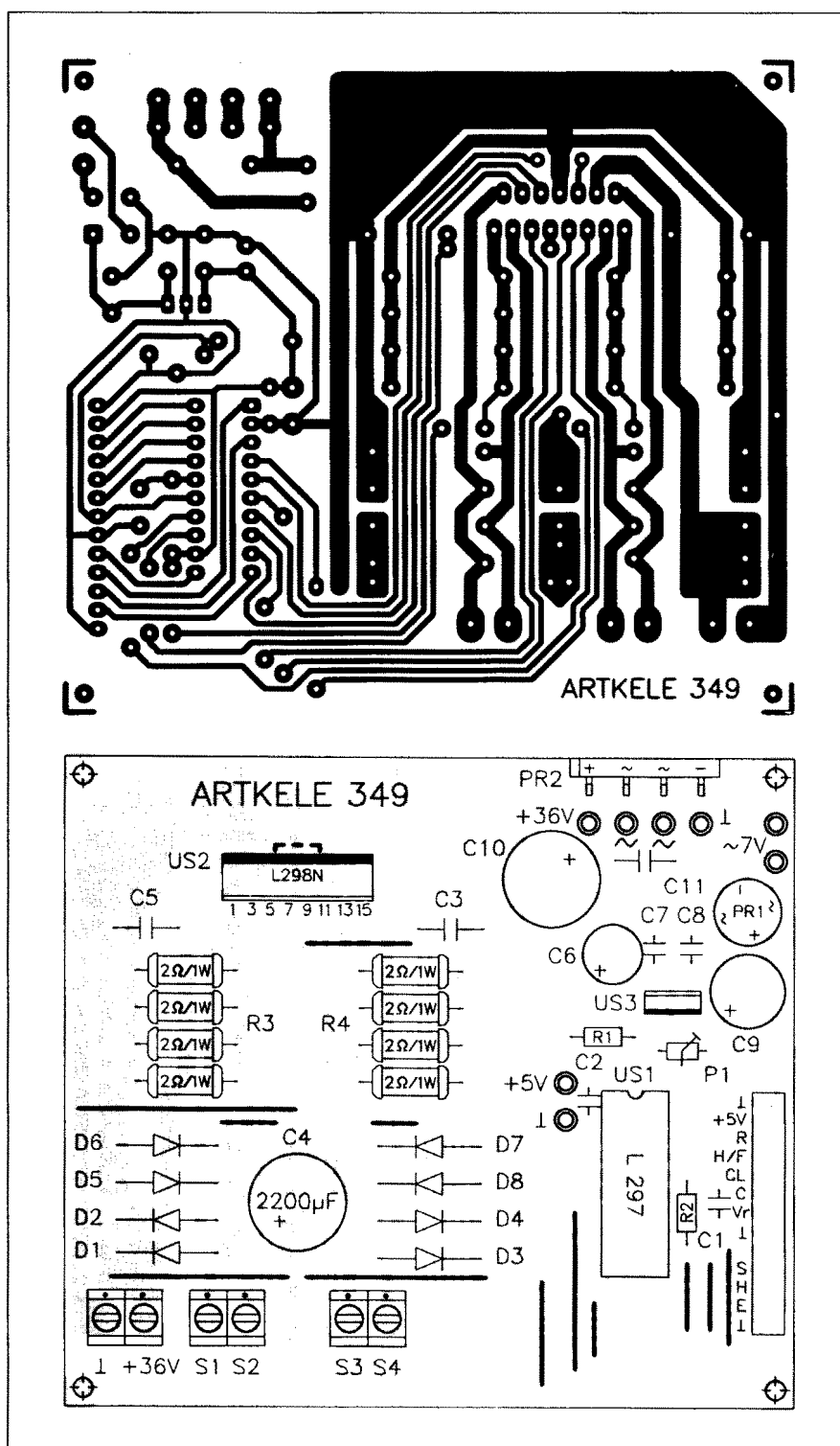
przepływ prądu zależy od napięcia referencyjnego przyłożonego do wejścia Vref. Zatem regulacja prądu silnika przeprowadzana jest w sposób napięciowy.

Jeżeli w jednym urządzeniu pracuje kilka silników niezbędna jest synchroniczna praca czopków we wszystkich układach. Podyktowane to jest eliminacją zakłóceń wprowadzanych pracą czopka przez gwałtowne włączanie i wyłączanie prądu w uzwojeniach silnika. Układ L297 posiada wyjście synchronizacji. Schemat połączenia ze sobą kilku układów pracujących synchronicznie przedstawiono na rys. 2. Należy tu podkreślić, że praca synchroniczna odnosi się tylko do synchronizacji czopków, a nie ma nic wspólnego z częstotliwością zegara sterującego prędkością obrotową silników krokowych.

Jak już wcześniej wspomniano układ translatora może generować trzy sekwencje sygnałów sterujących i związane z nimi trzy rodzaje pracy silnika krokowego. Praca półkrokowa umożliwia ustawienie wału silnika w pośredniej pozycji pomiędzy poszczególnymi krokami (rys. 3a). Zatem w tym trybie dysponujemy dwukrotnie większą rozdzielczością kroków niż posiada ich silnik. Włączenie tego rodzaju pracy odbywa się z chwilą doprowadzenia stanu wysokiego do wejścia HALF/FULL układu L297. W diagramie kołowym opisano binarnie stany wyjść A, B, C, D w jakich znajduje się układ translatora w każdym kolejnym kroku. Układ przechodzi do pracy dwufazowej (rys. 3b) z chwilą doprowadzenia do wejścia HALF/FULL stanu niskiego, w czasie kiedy translator jest w jednym ze stanów nieparzystych



Rys. 3 Harmonogramy czasowe przebiegów na wyjściach układu L297 dla pracy: a) półkrokowej, b) dwufazowej, c) jednofazowej



Rys. 6 Płytką drukowaną i rozmieszczenie elementów

Dlatego też do jego wyjść konieczne jest dołączenie diod zwrotnych. Z uwagi na to, że czasy włączania i wyłączania tranzystorów mostka są krótkie (najkrótszy czas wynosi typowo 200 ns), konieczne jest stosowanie szybkich diod o czasie przełączania $t_{rr} \leq 200$ ns i prądzie przewodzenia 2A, przy spadku napięcia na diodzie $\leq 1,2$ V. Najlepsze efekty można uzyskać stosując szybkie diody Schottki'ego. W żadnym wypadku nie wolno stosować popularnych diod prostowniczych, gdyż grozi to natychmiastowym uszkodzeniem układu L298N.

Z uwagi na szybkie przełączenia prądu rezystory kontroli prądowej powinny charakteryzować się jak najmniejszą indukcyjnością. Najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie kilku rezystorów węglowych o mniejszej mocy połączonych

równolegle (np. $4 \times 2 \Omega / 1$ W), tak aby ich wypadkowa rezystancja wynosiła ok. $0,5 \Omega$.

Na rysunku 5 przedstawiono schemat ideowy kompletnego sterownika silników krokowych. Sterownik posiada wyprowadzone na zewnątrz wszystkie wejścia sterujące. Dodatkowo układ posiada dwa zasilacze. Jeden do zasilania silnika, dostarczający napięcie niestabilizowane, a drugi do zasilania logiki dostarczający napięcie stabilizowane $+5$ V. Potencjometr P1 pozwala na regulację napięcia referencyjnego V_{ref} doprowadzanego do wejść komparatorów czopora. Umożliwia on zatem regulację prądu płynącego przez uzwojenia silnika.

Montaż i uruchomienie

Jeżeli układ sterownika będzie zasilany napięciami z zewnątrz można pominąć elementy jednego lub obu zasilaczy. W takim przypadku napięcia zasilające doprowadza się do punktów na płytce drukowanej oznaczonych jako $+36$ V i "masa", oraz $+5$ V i "masa". Z uwagi na duży poziom zakłóceń wprowadzanych przez kluczkowanie prądu w uzwojeniach silnika masy zasilania $+36$ V i $+5$ V powinny być prowadzone odrębnie i podłączone do płytki oddzielnie przy wejściach zasilania $+36$ V i $+5$ V.

Jeżeli natomiast zostaną wykorzystane zasilacze na płytce drukowanej, konieczne jest poprowadzenie dwu przewodów z zasilacza $+36$ V (wyjścia $+36$ V i "masa" umieszczone obok mostka prostowniczego PR2) do punktów wejścia zasilania $+36$ V w lewym dolnym rogu płytki. Zasilacz $+5$ V nie wymaga prowadzenia dodatkowych przewodów.

Z tyłu za układem L298N znajduje się zwora zaznaczona na rysunku montażowym linią przerywaną. Należy uważać, aby zwora ta nie zwarła się z jedną z nóżek układu lub z radiatorem w jaki należy wyposażyć układ L298N. Po zamontowaniu wszystkich elementów do wejść sterujących podłącza

się przetącniki bistabilne tak, aby na każde wejście niezależnie można było podać zero (0 V), lub jedynkę logiczną (+5 V). Do wejścia CL doprowadza się sygnał prostokątny TTL (wypełnienie nieistotne) o regulowanej częstotliwości w zakresie 0,1 Hz do 10 kHz. Po włączeniu zasilania należy sprawdzić przy pomocy oscyloskopu, czy przebiegi napięć na wyjściach A, B, C, D, INH1 i INH2 układu L297 są zgodne z przebiegami przedstawionymi na rysunku 3.

Jeżeli tak jest można przystąpić do podłączenia silnika. Najczęściej bipolarnie silniki krokowe posiadają cztery wyprowadzenia. Przy pomocy omomierza ustala się które przewody tworzą parę i podłączone są do jednego uzwojenia. Jedną parę podłącza się do wyjść S1 i S2, a drugą do S3 i S4 (na razie kolejność podłączenia nie gra roli).

W danych silników krokowych podane są najczęściej: indukcyjność jednego uzwojenia (nazywanego często pasmem), rezystancja, prąd znamionowy i napięcie znamionowe wynikające z rezystancji i prądu znamionowego. Określona jest także ilość kroków na jeden pełny obrót wału, lub kąt obrotu na jeden krok. Specyfika silników krokowych wymaga stosowania napięcia zasilania znacznie wyższego niż napięcie znamionowe, lub napięcie wynikające z iloczynu rezystancji i prądu. Zwykle napięcie zasilania jest 3÷10 razy większe od znamionowego. Cechą charakterystyczną jest to, że im wyższym napięciem będzie zasilany silnik tym wyższą prędkość obrotową można uzyskać. Natomiast nie należy przekraczać prądu znamionowego, gdyż silnik może ulec przegrzaniu przy pracy ciągłej.

W obwód zasilania +36 V włącza się amperomierz, a potencjometr P1 ustawia się w środkowe położenie. Częstotliwość zegara ustawia się na ok. 2 Hz. Po włączeniu zasilania potencjometrem P1 ustawia się prąd podany w danych silnika. Sprawdzamy czy silnik obraca się. Jeżeli słyszymy tylko stuki o częstotliwości 2 Hz, a silnik nie kręci się konieczne jest zamienienie kolejności dołączenia dwóch przewodów jednego z uzwojeń. Możemy teraz sprawdzić pozostałe funkcje sterownika.

Pozostaje jeszcze sprawdzenie maksymalnej prędkości obrotowej, która w silnikach większej mocy, o małej indukcyjności uzwojeń może wynosić 5000 kroków na

minutę. W małych silnikach będzie ona jednak znacznie niższa ok. 500 kroków na minutę. Moment obrotowy silników krokowych w zakresie małych prędkości obrotowych jest stały. Natomiast powyżej pewnej prędkości zaczyna maleć.

Silnik krokowy nie może ruszyć z miejsca z pełną prędkością. Dlatego też zawsze należy stosować płynne zwiększanie prędkości obrotowej. W czasie pracy silnika przy małych prędkościach obrotowych będzie słychać charakterystyczne stuki o częstotliwości wykonywanych kroków i lekkie "bzyczenie" związane z pracą czopera.

Wykaz elementów

US1	– L297
US2	– L298N
US3	– LM 7805 (LM 78L05)
D1÷D8	– 1N4935, lub inna szybka dioda trr ≤ 200 ns/2 A, Vrrm ≥ 50 V, można stosować diody Schottky'ego
PR1	– GB008 1 A/50 V
PR2	– KBL 06 4 A/100 V
R3, R4	– 0,5 Ω/5 W rezystor bezindukcyjny, patrz opis w tekście
R1	– 2 kΩ/0,125 W
R2	– 22 kΩ/0,125 W
P1	– 2,2 kΩ TVP 1232
C1	– 3,3 nF/50 V ceramiczny
C2, C7, C8	– 47 nF/50 V ceramiczny
C11	– 100 nF/100 V MKSE-018-02
C3, C5	– 220 nF/100 V MKSE-018-02
C6	– 47 μF/25 V 04/U
C9	– 220 μF/16 V 04/U
C10	– 1000 μF/40 V 04/U
C4	– 2200 μF/40 V 04/U

płytką drukowaną **numer 349**

Płytki drukowane wysyłane są za zaliczeniem pocztowym. Płytki można zamawiać w redakcji PE. Cena: 4,95 zł + koszty wysyłki. Podzespoły elektroniczne można zamawiać w firmie LARO – patrz IV strona okładki.

◇ mgr inż. Dariusz Cichoński