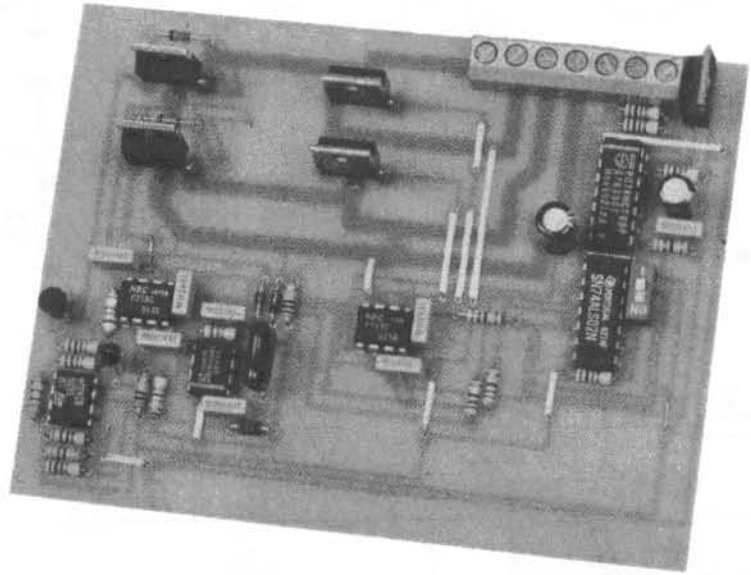


Interfejs ten pozwala sterować silnikiem prądu stałego większej mocy. Można go zastosować do regulowania szybkości obrotowej lub użyć w pętli serwomechanizmu położenia. Ponadto, może być dostosowany do różnych rodzajów sygnałów sterujących.

Interfejs mocy dla silnika prądu stałego



Interfejs mocy do sterowania urządzeniami elektromechanicznymi ma specyficzne warunki pracy, wymaga zwłaszcza małej szybkości przełączania. Można go zastosować do regulowania obrotów silnika. Niektóre spośród specjalizowanych układów, jak na przykład NE544 stosowany do radiosterowania, ograniczają się do zastosowań małej mocy. Inne (na przykład UDN2936), mogące dostarczyć do kilku amperów, są czasem trudne do dostania.

Charakterystyka interfejsu:

- wejścia kompatybilne z TTL, CMOS, mikrosterownikami i NE 544,
- maksymalny prąd wyjściowy (w dwóch kierunkach): 15A,
- opcjonalne hamowanie elektryczne (dipswitch),
- bardzo małe straty cieplne ($R_{ds} = 0,15\Omega$),
- wejście wzbraniające (odcinanie, nadzór zasilania...),
- zabezpieczenie przed obniżeniem napięcia,
- zasilanie 12V,
- bardzo mały prąd spoczynkowy (poniżej 20mA),

- małe rozmiary (115 x 90mm),
- standardowe elementy,
- niski koszt.

Sterowanie silnikiem odbywa się za pośrednictwem układu mostkowego z MOSFETów sterowanych czterema wzmacniaczami operacyjnymi, co pozwala uniknąć specjalizowanych sterowników. Wzmacniacze te z kolei są sterowane za pomocą klasycznych układów logicznych.

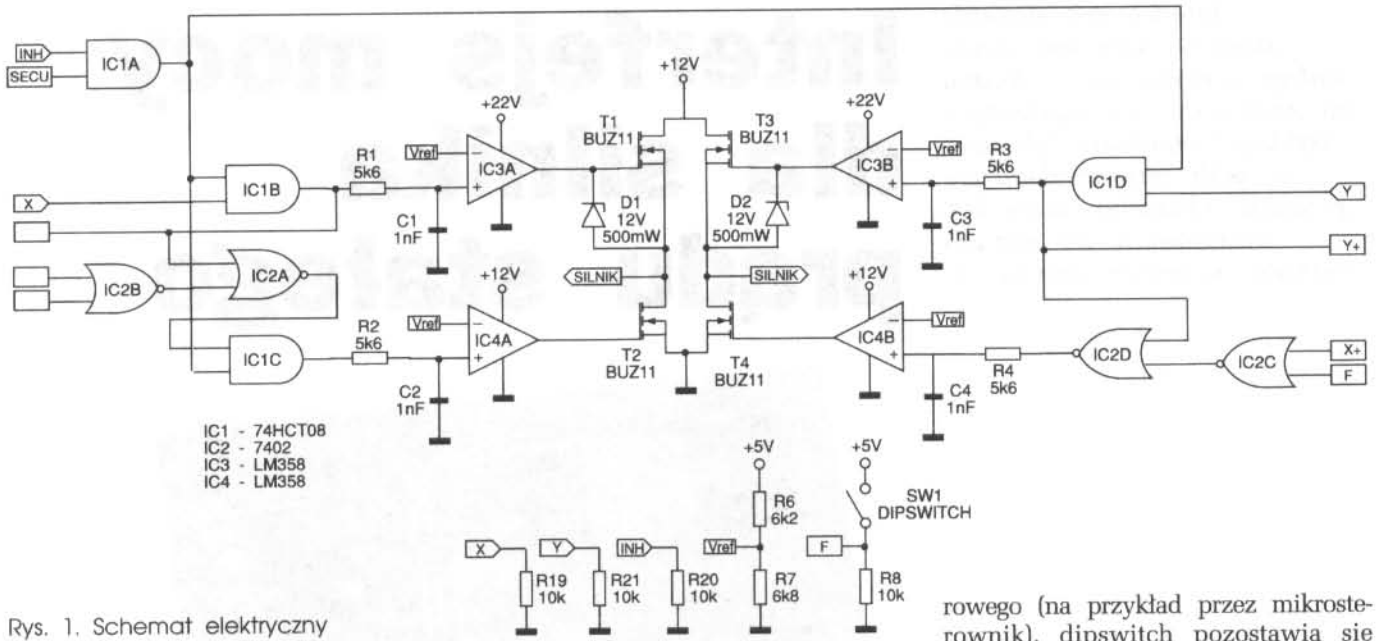
Płytką jest wyposażona w trzy wejścia logiczne: X, Y i INH. X i Y określają kierunek obro-

tów, natomiast INH jest wejściem wzbraniającym. Ponadto dipswitch SW1 pozwala włączać i wyłączać elektryczne hamowanie. Jedynie wejście INH jest oparte na logice ujemnej, jak to pokazuje tabela 1.

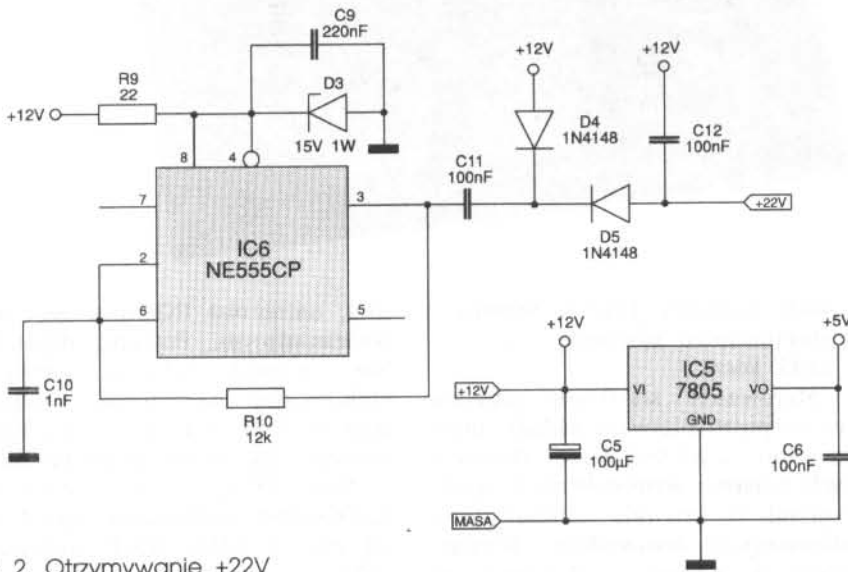
Stan (X,Y) = (1,1) wywołuje hamowanie elektryczne niezależnie od pozycji SW1. Jeżeli sterowanie odbywa się drogą radiową (na przykład przez NE544), stan ten nie występuje. Hamowanie elektryczne pozostaje więc opcją dla tego rodzaju sterowania. Jeżeli sterowanie odbywa się za pomocą układu cyf-

Tab. 1.

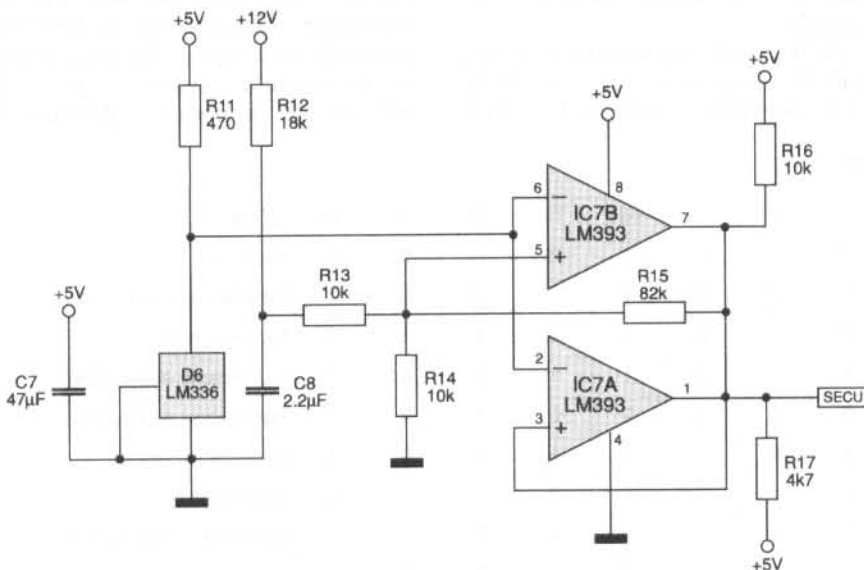
X	Y	F	INH	T1	T2	T3	T4	STAN
0	0	0	1	0	0	0	0	nie działa
1	0	0	1	1	0	0	1	kierunek w przód
0	1	0	1	0	1	1	0	kierunek w tył
1	1	0	1	1	0	1	0	hamowanie elektryczne
0	0	1	1	0	1	0	1	hamowanie elektryczne
1	0	1	1	1	0	0	1	kierunek w przód
0	1	1	1	0	1	1	0	kierunek w tył
1	1	1	1	1	0	1	0	hamowanie elektryczne
-	-	-	0	0	0	0	-	nie działa



Rys. 1. Schemat elektryczny



Rys. 2. Otrzymywanie +22V



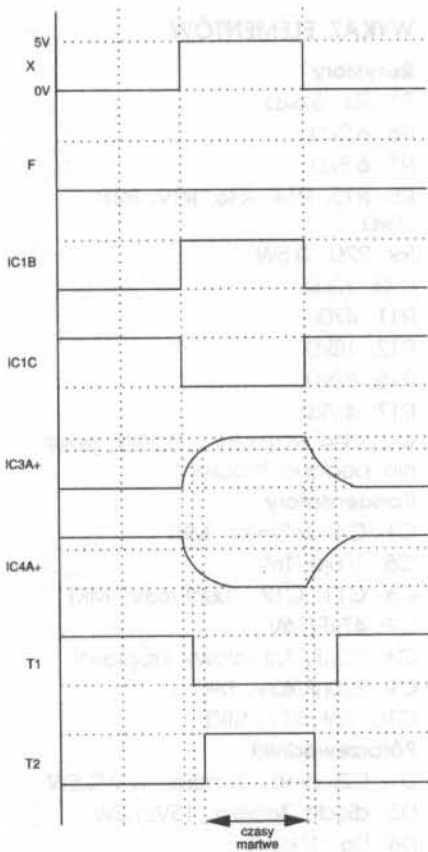
Rys. 3. Nadzór zasilania

rowego (na przykład przez mikrosterownik), dipswitch pozostawia się umyślnie otwarty. Są wtedy do dyspozycji cztery stany: wyłączony (0,0), obroty w przód (1,0), obroty w tył (0,1) i hamowanie elektryczne (1,1).

Sygnale z wejść X, Y i INH podawane są do układu logicznego 74HCT08. Wybór tej technologii układu pozwala na kompatybilność zarówno z sygnałami TTL czy CMOS, jak i z mikrosterownikiem lub układem NE544. Amplituda tych sygnałów nie może jednak przekraczać 5V w stosunku do masy. Gdy wejścia nie są z niczym połączone, interfejs jest bezpieczny: X, Y i INH są w stanie niskim, zaś tranzystory T1, T2, T3 i T4 są zablokowane.

Bramka IC1A (INH i SECU) normalnie jest w stanie wysokim. Przejście jednego z sygnałów w stan niski wywołuje przejście IC1A w stan niski, a w konsekwencji przejście w stan niski bramek IC1B, IC1C i IC1D, powiązanych odpowiednio z tranzystorami T1, T2 i T3. Gdy te tranzystory są zablokowane, nie ma napięcia na zaciskach MOT+ i MOT- ani hamowania elektrycznego.

Schemat elektryczny interfejsu mocy jest przedstawiony na rys. 1. Każdy z tranzystorów jest sterowany przez wzmacniacz operacyjny LM358 w układzie komparatora. Jego napięcie zasilające dostarcza napięcie sterujące tranzystor. Do pełnego nasycenia MOSFETA na jego bramce jest potrzebne napięcie wyższe o 10V od napięcia źródła. Tranzystory T2 i T4 są połączone



Rys. 4. Wykresy czasowe sterowania

z masą, są więc sterowane napięciem +12V (zasilanie IC4). Natomiast dla tranzystorów T1 i T3 jest potrzebne napięcie sterujące $12V + 10V = 22V$, którego dostarcza zasilanie IC3. Diody D1 i D2 zabezpieczają tranzystory przed napięciem wyższym od 12V w stosunku do źródła.

Napięcie +22V (napięcie swobodne 10V w stosunku do +12V) zostaje wytworzone za pomocą małego podwajacza z pompą diodową (rys. 2). Układ IC6 działa jako generator. W czasie gdy wyjście Q jest w stanie niskim, kondensator C11 ładuje się przez D4 do napięcia $12V - 0,7V = 11,3V$. Gdy Q jest w stanie wysokim, potencjał C11 wzrasta do $11,3V + 12V = 23,3V$. Kondensator C12 ładuje się więc przez D5 do napięcia $23,3V - 0,7V = 22,5V$. W tym celu stan niski Q powinien być jak najbliższy 0V, a stan wysoki 12V. Takie poziomy może zapewnić jedynie układ 555 w technologii CMOS (NE555CP). Zwyczajny 555 może dostarczyć jedynie 19V, co stwarza ryzyko zbyt słabego nasyceńia i grzania się tranzystorów przy dużych prądach.

Efekt taki może wystąpić również w przypadku obniżenia się napięcia zasilania poniżej +12V, zastosowano więc układ „nadzoru zasilania” (rys. 3). Wylacza on sterowanie mostka, gdy napięcie zasilania spadnie poniżej 8V i nie dopuszcza do jego włączenia, dopóki napięcie to nie wzrośnie powyżej 9,5V. Do nadzorowania zastosowano komparator LM393, który porównuje napięcie z dzielnika R12, R13 i R14 z napięciem odniesienia z obwodu R11, D6. Kondensator C8 eliminuje chwilowe spadki napięcia. Właściwą histerezę zapewnia R15. Komparator ten właściwie mógłby wystarczyć, ale ponieważ w jednej obudowie znajdują się dwa takie układy, drugi użyto do przyspieszenia przerzutu. Otwarte kolektory na wyjściach wymagają rezystorów R16 i R17 (wyjście SE-CU). Stosowanie układu mostkowego wymaga spełnienia warunku, aby oba tranzystory jednej gałęzi nie mogły równocześnie przewodzić. Dlatego logiczny układ sterujący zapewnia że:

gdy $X = 1$ to $IC1B = 1 \rightarrow CIA = 0 \rightarrow CI1C = 0 \rightarrow T2$ jest zatkany
 gdy $X = 0$ to $IC1B = 0 \rightarrow T1$ jest zatkany

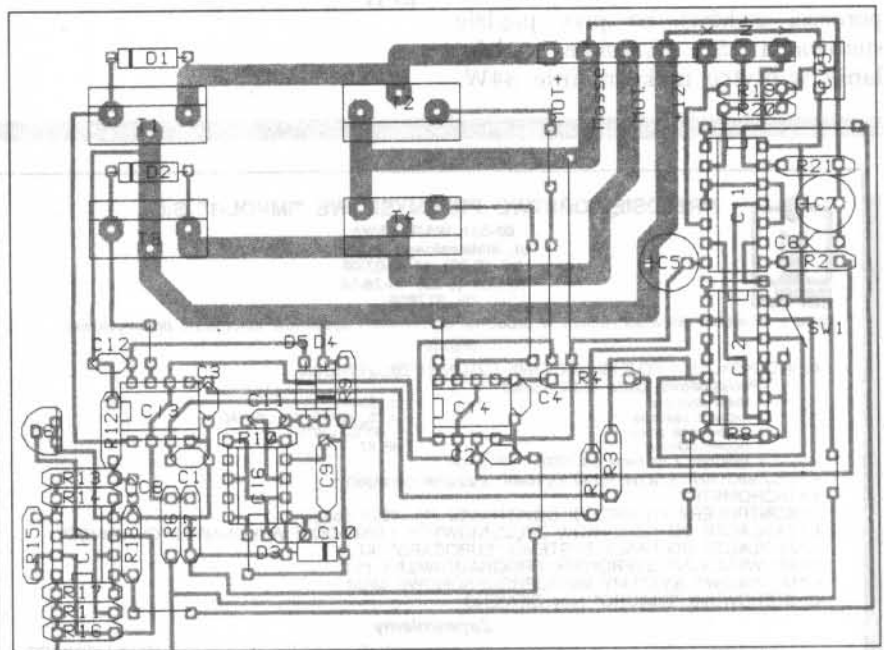
Zatem, niezależnie od stanu X, zawsze jeden z tranzystorów gałęzi jest zablokowany, uniemożliwiając zwarcie. Zabezpieczenie gałęzi T3, T4 jest analogiczne.

Inny problem jest związany ze stanami nieustalonymi; co dzieje się, gdy zostanie zmieniony kierunek obrotów i tranzystory przewodzące zostaną zablokowane, a zablokowane zaczną przewodzić. Aby dobrze to zrozumieć, trzeba przeanalizować chronogramy na rys. 4. Opóźnienie wywołane przez $RnCn$ i próg przełączania V_{ref} uniemożliwiają zwarcie w czasie przełączania (przełączanie tranzystorów jest opóźniane o około dziesięć mikrosekund). Zmiana progu napięciowego V_{ref} zwiększa lub zmniejsza czas pomiędzy zablokowaniem jednego tranzystora i rozpoczęciem przewodzenia przez drugi. Zbyt mała wartość tego progu wywołuje częściowe nakładanie się na siebie okresów przewodzenia tranzystorów. Bez tych „martwych” czasów prąd zwarcia osiągałby setkę amperów w ciągu kilkadziesiąt mikrosekund.

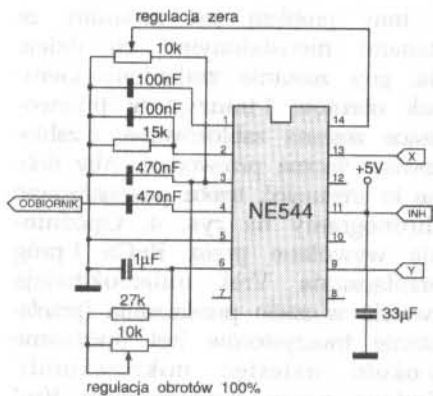
Natężenie 15A wymaga chłodzenia tranzystorów. Wyboru radiatora dokonuje się w zależności od mocy: jeżeli P oznacza traconą moc, T_j maksymalną temperaturę złącza, T_a temperaturę otoczenia, R_{jb} oporność termiczną pomiędzy złączem a obudową, R_{br} pomiędzy obudową a radiatorem, a R_{ra} pomiędzy radiatorem a powietrzem, to:

$$R_{ra} = (T_j - T_a) / P - (R_{jb} + R_{br})$$

Dla BUZ11 według katalogu jest: $T_j = 175^\circ C$, $R_{jb} = 1,67^\circ C/W$ a $R_{ds} = 0,04\Omega$. Ponadto dla obudowy TO220 umocowanej wkrę-



Rys. 5. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej



Rys. 6. Przystosowanie do NE544 (radiosterowanie)

tem że smarem przewodzącym ciepło, $R_{br} = 0,5^{\circ}\text{C}/\text{W}$. Przy maksymalnej temperaturze otoczenia 70°C , $P = 0,04 \times 152 = 9\text{W}$, $R_{ra} = 9,5^{\circ}\text{C}/\text{W}$. Najbliższa standardowa wartość wynosi $9^{\circ}\text{C}/\text{W}$. Radiator taki wydaje się więc właściwy, wydajność termiczna jest bowiem odwrotnie proporcjonalna do oporności termicznej. Można więc przyjąć typ WA200.

Straty ciepłne w płytce zależą z jednej strony od oporności złączy źródło-dren tranzystorów ($0,04\Omega$), a z drugiej od oporności ścieżek. Niezależnie od kierunku obrotów prąd przepływa przez dwa tranzystory, więc szeregowo z silnikiem włączono rezystancję $0,08\Omega$. Oporność ścieżek na płytce (w części mocy) wynosi ok. $0,06\Omega$. Całkowita zatem oporność modułu mocy wynosi około $0,15\Omega$ (nie uwzględniając oporności styków), co przy prądzie sterowania 15A wywołuje wydzielanie w płytce maksymalnie 34W .

Wykonanie

Mozaikę ścieżek płytki drukowanej pokazano na wkladce. Montaż płytki (rozmięszczenie elementów - rys. 5) nie przysparza żadnych trudności. Należy zacząć od zworek, a skończyć na elementach największych rozmiarowo. Końcówki tranzystorów trzeba doginać uważnie, aby ich nie uszkodzić. Do montażu radiatorów (dla prądów powyżej 4A) są potrzebne izolacyjne podkładki mikowe i pasta przewodząca ciepło (silicon). Przy prądach poniżej $8,5\text{A}$ wystarczą radiatory WA400. Stosowanie WA200 bez pasty termicznej ogranicza prąd maksymalny do $12,5\text{A}$.

Obudowa, najlepiej metalowa, powinna mieć otwory wentylacyjne (np. ESM AT-12). Jeżeli układ jest narażony na wibracje (samochód), należy użyć wsporników mocowanych na zatrzask.

Interfejs ten był używany do sterowania silnikiem prądu stałego 5A (silnik Bosch od wycieraczek szyby samochodowej). W zastosowaniach samochodowych trzeba odizolować końcówki (+) i (-) od masy. Zasada ta jest powszechnie stosowana w silnikach do otwierania i zamykania szyb, ale nie w silnikach do wycieraczek. Trzeba więc otworzyć obudowę silnika i odłączyć połączenie z masą.

Amatorzy radiosterowania, chcący zastosować regulację obrotów, mogą użyć układu NE544 (rys. 6).

EPR

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

- R1...R4: $5,6\text{k}\Omega$
- R6: $6,2\text{k}\Omega$
- R7: $6,8\text{k}\Omega$
- R8, R13, R14, R16, R19...R21: $10\text{k}\Omega$
- R9: 22Ω , $0,5\text{W}$
- R10: $12\text{k}\Omega$
- R11: 470Ω
- R12: $18\text{k}\Omega$
- R15: $82\text{k}\Omega$
- R17: $4,7\text{k}\Omega$

wszystkie rezystory - $0,25\text{W}$, jeżeli nie podano inaczej

Kondensatory

- C1...C4: $1\text{nF}/63\text{V}$, MKT
- C5: $100\mu\text{F}/16\text{V}$
- C6, C11, C12: $100\text{nF}/63\text{V}$, MKT
- C7: $47\mu\text{F}/16\text{V}$
- C8: $2,2\mu\text{F}$, tantalowy kropkowy
- C9: $220\text{nF}/63\text{V}$, MKT
- C10: $1\text{nF}/63\text{V}$, MKT

Półprzewodniki

- D1, D2: diody Zenera, $12\text{V}/0,5\text{W}$
- D3: dioda Zenera, $15\text{V}/1,3\text{W}$
- D4, D5: 1N4148
- D6: LM336
- T1-T4: BUZ11 lub BUZ11A
- IC1: 74HCT08 (nie 74HC08)
- IC2: 74LS02 lub podobny
- IC3, IC4: LM358N w obudowie DIL08
- IC5: 78L05 lub inny stabilizator 5V
- IC6: NE555CP lub inny 555 CMOS
- IC7: LM393N

Różne

- 4 radiatory WA200, przewiercone
- 4 przekładki izolacyjne mylarowe do TO220
- jednostronna płytka drukowana epoksydowa ($35\mu\text{m Cu}$), $115 \times 85\text{mm}$
- 2 łączniki niskoprofilowe zwykłe (Camden), podwójne
- 1 łącznik niskoprofilowy zwykły (Camden), potrójny
- 1 dipswitch pojedynczy