



# Ładowarka akumulatorów dużej mocy



Na temat akumulatorów i ładowarek było ostatnio sporo wiadomości w EdW. Przypomnę tylko, że przy ładowaniu nowoczesnych akumulatorów samochodowych najważniejsze jest unikanie przeładowania. W sumie chodzi o nieprzekraczanie napięcia w końcowej fazie ładowania ok. 15V, chyba że karta informacyjna zaleca inaczej. Jeśli chodzi o natężenie prądu, to najczęściej każda ładowarka posiada jakiś system regulacji, a jeśli nie, to nietrudno jest coś domontować. Spotykane są różne sposoby ochrony przed przeładowaniem, np. samowylączenie w momencie osiągnięcia 15V na zaciskach akumulatora, zmniejszenie prądu do takiej wartości, aby nie wzrastało napięcie powyżej ustalonej wartości. Co do układów elektronicznych to najczęściej spotyka się regulatory ciągle na tranzystorach bipolarnych lub impulsowe na tyrystorach lub MOSFET-ach. Układy takie wnoszą duże straty lub zakłócenia, a nierzadko są trudności z uzyskaniem odporności na zwarcie lub odwrotne dołączenie biegunów akumulatora. Po analizie różnych systemów wydaje mi się, że dobrym rozwiązaniem będzie system z przekaźnikiem sterowanym przez układ elektroniczny w postaci komparatora okienkowego. Dzięki takiemu rozwiązaniu ładowarka ma sporo zalet, m.in.:

- może być zastosowana do każdego „zwykłego” prostownika bez potrzeby podnoszenia napięcia wtórnego transformatora,
- może mieć nieograniczoną moc, zależną tylko od zastosowanego przekaźnika lub nawet stycznika,
- umożliwi eliminację wszelkich strat, zakłóceń, radiatorów,
- działa tylko wtedy, gdy do wyjścia dołączy my akumulator o napięciu 9...15V, wydajności

prądowej około 0,5mA (dla akumulatorów 12V),

- nie zadziała przy żadnym innym napięciu, pomyśleniu biegunowości lub zwarciu zacisków wyjściowych,
- posiada przełącznik pracy automatycznej i ręcznej na wypadek bardzo rozładowanego akumulatora lub stosowania ładowarki do innych odbiorników,
- ma prosty układ elektroniczny działający statycznie (bez generatorów, układów impulsowych, specjalizowanych układów scalonych).

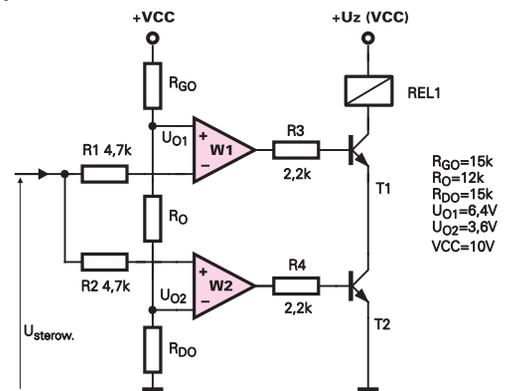
Natomiast co do wad, to chyba tylko znaczna histereza napięcia wyjściowego (rzędu 1V, między wyłączeniem i załączeniem przekaźnika). Praktycznie nie ma to znaczenia, a dodatkowo można zastosować potencjometr do ustawiania histerezy optymalnej przy doładowywaniu akumulatora małym prądem.

## Opis układu

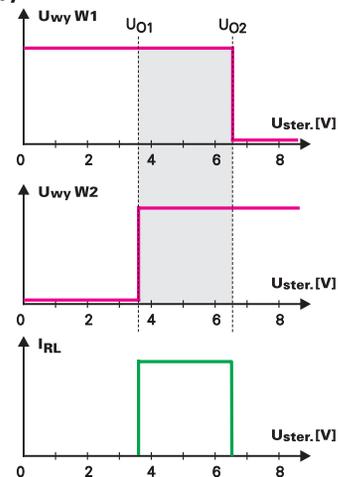
### Komparator okienkowy

Komparator okienkowy, zwany często dyskryminatorem okienkowym, to bardzo przydatny układzik elektroniczny w obwodach automatyki lub sterowania. W prasie elektronicznej nie jest często spotykany i dokładniejszy opis może się przydać początkującym elektronikom. Najprostszy komparator okienkowy może być utworzony z dwóch wzmacniaczy operacyjnych lub komparatorów, a przedstawiony jest na rysunku 1a. Trzy rezystory włączone na wejściach pod pełne napięcie zasil-

a)



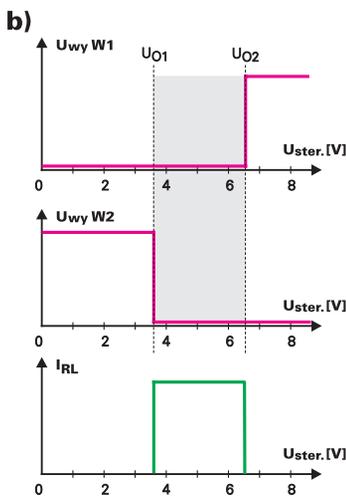
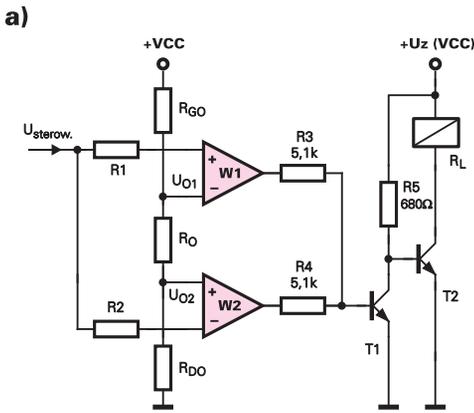
b)



Rys. 1

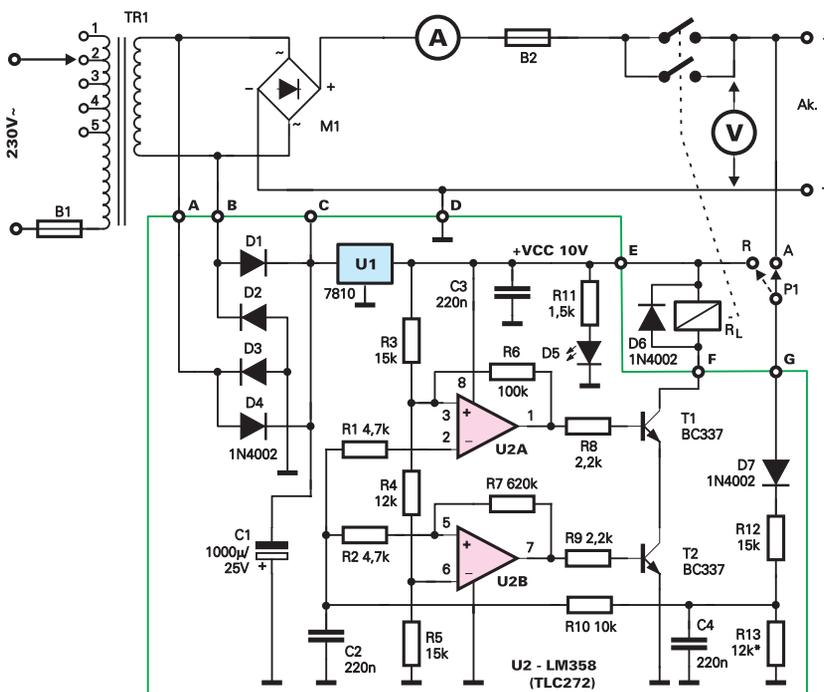
a) Schemat komparatora okienkowego z wyjściem typu „logiczny iloczyn”.

b) Przebiegi i napięcia.



**Rys. 2**  
 a) Schemat komparatora okienkowego z wyjściem typu „logiczna suma”.  
 b) Przebiegi napięciowe.

**Rys. 3 Schemat podstawowy ładowarki do akumulatora 12V.**



lania ustalają przedziały („odstepy”) napięciowe „elektronicznego okna”. Rezystor górnego odstepu \$R\_{GO}\$ ustala wartość napięcia odniesienia zawartą między górną granicą okna a napięciem zasilania \$+VCC\$. Rezystor dolnego odstepu \$R\_{DO}\$ ustala odstep napięciowy między \$U\_{O2}\$ a masą. Rezystor \$R\_O\$ ustala szerokość okna napięciowego między \$U\_{O1}\$ i \$U\_{O2}\$. Podane wartości rezystorów na **rysunku 1** ustalają napięcia progowe na poziomie 3,6 i 6,4V przy zasilaniu 10V. Wzmacniacze operacyjne na ogół nie nadają się do bezpośredniego sterowania przekaźnika, więc potrzebny jest dodatkowy wzmacniacz tranzystorowy. Tranzystory \$T\_1\$ i \$T\_2\$ (z **rysunku 1**) realizują funkcję iloczynu logicznego, bo przewodzą jednocześnie tylko wtedy, gdy wyjścia obu wzmacniaczy \$W\_1\$ i \$W\_2\$ są w stanie wysokim. Jeśli na wejście komparatora poprzez rezystory separujące \$R\_1\$ i \$R\_2\$ dołączymy regulowane napięcie sterujące od zera do \$+VCC\$, to przebiegi napięć będą takie jak na **rysunku 1b**. Jako tranzystory \$T\_1\$ i \$T\_2\$ zalecane są te, które mają małe napięcia nasycenia. Na przykład dla BC337 (lub 338) napięcie nasycenia sumaryczne wynosi 0,15V przy \$I\_{RL}=80mA\$. W takich samych warunkach popularne BC237... 547 mają 0,4V. Do sterowania obciążeniem o większej mocy (np. stycznika, grzałki) korzystniejszy będzie układ komparatora okienkowego, przedstawionego na **rysunku 2a**. Ponieważ tranzystor sterujący \$T\_1\$ odwraca fazę sygnału, konieczne jest skrzyżowanie wejść wzmacniaczy \$W\_1\$ i \$W\_2\$. Tu tranzystory \$T\_1\$ i \$T\_2\$ tworzą sumę logiczną, a tranzystor \$T\_2\$ jest tranzystorem większej mocy, dostosowanym do

obciążenia \$R\_L\$. Jeśli chcemy utworzyć układ, w którym przepływ prądu przez obciążenie powinien następować poza granicami „okna”, to tranzystor \$T\_1\$ należy połączyć w układzie wórnika emiterowego lub zamiast \$T\_1\$ i \$T\_2\$ zastosować darlington odpowiedniej mocy. Rozkład napięć podany jest na **rysunku 2b**. W układach praktycznych dodaje się jeszcze obwody dodatkowego sprzężenia zwrotnego, tworzące odpowiednią histerezę. Jeśli zakres okna ma obejmować też napięcia ujemne, to i wzmacniacze operacyjne muszą być zasilane podwójnym napięciem. W podanych przykładach komparatora okienkowego muszą być zastosowane wzmacniacze operacyjne z pełnozakresowym napięciem wejściowym oraz wyjściowym od dolnej szyny. Z popularnych kostek mogą to być TLC272, LM358.

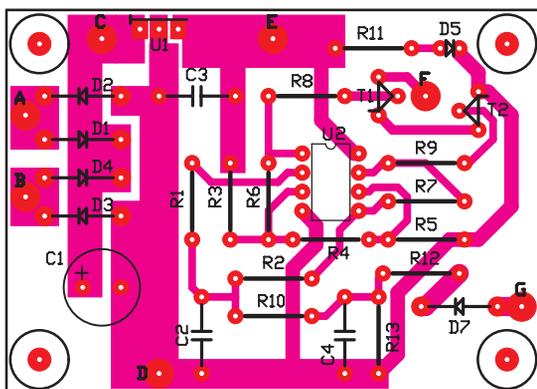
## Układ podstawowy ładowarki

Jest on przedstawiony na **rysunku 3**. Układ prostownika głównego jest klasyczny i chyba nie wymaga szczegółowego omawiania. Napięcie wtórne bez obciążenia powinno wynosić od 11 do 15V (zmiennie) lub \$2 \times 11...15V\$, jeśli będzie prostownik przeciwsobny. Oczywiście mostek \$M\_1\$ (lub diody do układu przeciwsobnego) muszą mieć odpowiednie parametry oraz radiator dostosowany do obciążenia prądowego. Przełącznik powinien mieć „grube” styki i dodatkowo połączone równolegle (jeśli są, 2, 3 pary styków). Na przykład popularny przełącznik (najczęściej z odzysku) \$R\_{15}\$ może być obciążony prądem 10A przy 1 parze styków lub 30A przy trzech parach połączonych równolegle. Prawidłowo wyregulowany przełącznik powinien złączać przy 50% napięcia znamionowego - jeśli jest inaczej, należy skorygować naciąg sprężyny. W układzie przedstawionym na **rysunku 3** może pracować przełącznik 12V, połączony jak na schemacie lub przełącznik 24V, dołączony górnym końcem (wraz z diodą \$D\_6\$) do punktu C, gdzie występuje napięcie 16...18V. Jeśli napięcie wtórne transformatora nie jest niższe od 12V, to jako stabilizator \$U\_1\$ może być zastosowany LM7812. Zastosowanie dodatkowego prostownika \$D\_1...D\_4\$ eliminuje włączenie przełącznika przez ładowany akumulator przy zaniku napięcia sieci podczas ładowania akumulatora. Tu należy przestrzegać ogólnej zasady: jeśli prostownik główny (\$M\_1\$) jest mostkowy, to prostownik sterownika \$D\_1...D\_4\$ też musi być mostkowy. Jeśli prostownik główny będzie przeciwsobny, to należy przewód dołączony do minusa mostka przełączyć do środka uzwojenia wtórnego oraz usunąć diody \$D\_2\$ i \$D\_3\$ sterownika. Komparator okienkowy \$U\_2A/U\_2B\$ jest taki sam jak na **rysunku 1**, ale ma dodatkowe rezystory \$R\_6\$ i \$R\_7\$, w celu uzyskania histerezy przy przekraczaniu progów napięciowych. Napięcie pomiarowe uzyskiwane jest bezpośrednio z dodatniego zacisku wyjściowego i poprzez diodę \$D\_7\$ oraz elementy

filtrujące R10, C2, C4, doprowadzone do wejścia sterującego komparatora okienkowego. Przełącznik P1 może być przydatny wtedy, gdy akumulator jest rozładowany prawie do zera lub ładowarka ma pracować bez ograniczenia napięcia. W większości publikowanych artykułów o akumulatorach podaje się zależność SEM akumulatora przy zmianach temperatury elektrolitu i wynika z tego, że zamiast jednej diody D7 należałoby włączyć ich co najmniej 10 sztuk. Inne źródła podają, że w zakresie temperatur 5...35°C nie trzeba stosować kompensacji temperaturowej. Aby się przekonać, jak jest naprawdę, wykonałem następujące doświadczenie: przyniosłem zmarnięty akumulator z temperaturą ok. -10°C, dołączyłem woltmierz analogowy i cyfrowy, a następnie nagrzewałem akumulator przez długi czas „farelkiem”, aż osiągnął ok. 50°C. Nie wiem, czy był to nieodpowiedni akumulator (Sznajder), czy nie taka metoda pomiarowa, bo wskazanie woltmierz analogowego było cały czas jednakowe, a na woltmierz cyfrowym nieznacznie zmieniły się cyferki na drugim miejscu po przecinku. Myślę, że chyba trzeba dać sobie spokój z kompensacją temperaturową i zastosować jedną diodę D7. Precyzyjne napięcie wyłączenia w końcowej fazie ładowania ustawiamy za pomocą rezystora R13 i aby nie bawić się w szukanie odpowiedniego rezystora, można zastosować helitrim. Jeśli prostownik nie jest wyposażony w woltmierz, to jako wskaźnik ładowania można zastosować czerwoną diodę LED włączoną wraz z rezystorem ograniczającym równoległe do cewki przełącznika. Dioda D5 służy jako kontrolka włączenia do sieci i powinna być zielona. Jako bezpiecznik B2 najlepiej zastosować wyłącznik nadprądowy typu S191 o charakterystyce B, dostosowany do maksymalnego prądu wyjściowego. Pomiar spadku napięcia na bezpieczniku topikowym F10A i S191 10A wykazał, że są podobne i wynoszą około 0,07V, przy prądzie 5A.

### Montaż i uruchomienie

Montaż drobnych elementów wykonujemy na płytce drukowanej, przedstawionej na rysunku 4.

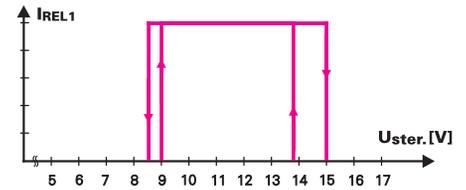


Rys. 4 Schemat montażowy sterownika.

ku 4, według ogólnie przyjętych zasad. Przekładnik (ze względu na wielkość i różnorodność parametrów) lepiej zamontować poza płytką, w dogodnym miejscu, korzystnym pod względem ułożenia przewodów głównych. Przykładowy montaż urządzenia modelowego przedstawia fotografia 1. Po dokładnym sprawdzeniu połączeń można przystąpić do uruchomienia ładowarki. Najpierw sprawdzamy działanie prostownika głównego (po zwarciu styków przełącznika) do dołączeniu w miarę rozładowanego akumulatora. Jeśli prostownik był używany wcześniej bez sterownika, to oczywiście nie ma takiej potrzeby, więc od razu dołączamy punkty A...G płytki do odpowiednich punktów prostownika głównego. Zestwienie układu jest bardzo proste i wymaga jedynie dobrania rezystora R13 w końcowej fazie ładowania tak, aby wyłączenie prądu ładowania nastąpiło przy wystąpieniu napięcia 15V na zaciskach akumulatora. Dla Czytelników początkujących i dociekliwych mam propozycję innego zestwienia ładowarki. Najpierw po włączeniu zasilania sprawdzić napięcia w p. C i E i jeśli są prawidłowe, to do wyjścia ładowarki dołączyć regulowane źródło napięcia stałego 3...18V (po wyłączeniu bezpiecznika B2). Jeśli nie ma odpowiedniego zasilacza, to mogą być dwie baterie 9V oraz potencjometr 10...22kΩ, liniowy 1...2W. Jeśli prostownik nie jest wyposażony w woltmierz, to podłączamy miernik uniwersalny do zacisków wyjściowych. Zwiększamy powoli napięcie kontrolne, obserwując przełącznik. Przy napięciu około 9V przełącznik powinien się załączyć, ale przeważnie tak będzie po ustawieniu potencjometru dostrojczego R13. Zwiększamy dalej napięcie kontrolne i sprawdzamy, czy przełącznik wyłączy się przy wystąpieniu napięcia 15V, jeśli trzeba, to korygujemy R13. Jeśli z tego powodu zmieni się nieco dolne napięcie „okna”, to nie szkodzi, bo najważniejsze jest napięcie wyłączenia, czyli 15V. Teraz zmniejszamy stopniowo napięcie kontrolne, obserwując wyłączenie i załączenie przełącznika. Przy 13,5...14V powinien znowu się włączyć, a przy ok. 8,5V wyłączyć. Najczęściej wygląda to tak, jak na rysunku 5.

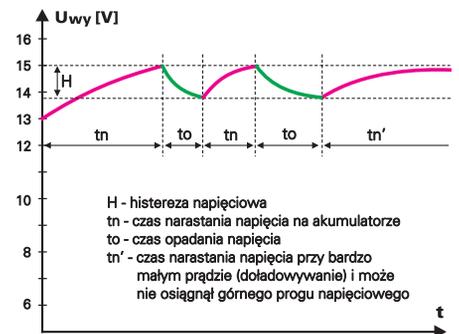
Ostateczną korekcję R13 przeprowadzamy jednak przy ładowaniu akumulatora. Przebieg napięcia wyjściowego (przy dołączonym akumulatorze) w końcowej fazie ładowania przedstawia rysunek 6. Przy typowym prądzie ładowania i dobrze dobranej wartości histerezy czasy narastania i opadania napięcia ( $t_n$ ,  $t_o$ ) wynoszą od kilkunastu sekund do kilkunastu minut, w początkowym osiągnięciu górnego progu napięciowego. W miarę doładowania akumulatora czasy te są coraz dłuższe i przy ustawieniu bardzo małego prądu ładowania napięcie może nie osiągnąć

górnego progu ( $t_n'$  z rysunku 6). Ogólnie czas narastania napięcia jest tym krótszy, im większy jest prąd ładowania i mniejsza histereza. Natomiast czas opadania napięcia jest tym krótszy, im mniejsza histereza i mniej naładowany akumulator. W przypadku bardzo częstego „kłapania” przełącznika należy nieco zwiększyć histerezę lub zmniejszyć prąd ładowania (lub oba parametry łącznie).



Rys. 5 Przebieg typowego „okienka” wyjściowego z histerezą.

### Rys. 6 Typowy przebieg napięcia wyjściowego w końcowej fazie ładowania akumulatora.



### Możliwości rozbudowy

Może się zdarzyć, że mamy dobry prostownik, ale z fazową regulacją prądu ładowania. Regulacja taka rzadko dobrze pracuje, ale jeśli nie chcemy jej eliminować, gdyż nie ma innego sposobu na regulację prądu, to do zasilania sterownika montujemy mały transformator (np. TS2) o napięciu wtórnym 12...14V. Rodzaj prostownika nie ma wtedy znaczenia i jeśli jest to trafo z dwoma uzwojeniami wtórnymi, to nie montujemy diod D2 i D3. Jeśli ładowarka przystosowana jest również do ładowania akumulatorów 24V, to do zasilania sterownika też trzeba użyć oddzielnego transformatora małej mocy lub nawinać na transformatorze głównym oddzielne uzwojenie  $\approx 12V/0,15A$ . Aby nastąpiło samowylączenie przy 30V, należy dobrać dodatkowy rezystor włączony w szereg z R12, ale zwierany przy ładowaniu akumulatorów 12V. Często prostownik jest jednocześnie urządzeniem rozruchowym, lecz wtedy trzeba zainstalować oddzielne zaciski wyjściowe o większej średnicy, podłączone bezpośrednio pod mostek lub diody prostownicze. Rezystor R6 został dobrany doświadczalnie tak, aby przełącznik za często nie „kłapał”, ale można zamontować dodatkowy

potencjometr  $47k\Omega$  w szereg z R6, a rezystor R6 zmniejszyć do  $75k\Omega$ . Wówczas wielkość histerezy można dobrać doświadczalnie w zależności od pojemności ładowanego akumulatora. Ostatnio pojawiły się akumulatory w wersji „CALCIUM”, z zalecanym napięciem ładowania 16V. Aby ładowarka była bardziej uniwersalna, można między przełącznik P1 a p. G włączyć szeregowo dodatkowy potencjometr  $2,2k\Omega$ . Zakres regulacji wyniesie wtedy od 14,8V do 16V i dla orientacji można wykonać skalę. Jeśli prostownik jest zbudowany do ładowania akumulatorów bardzo dużej pojemności (pojazdy o napędzie elektrycznym), a prądy ładowania dochodzą do 100A, wówczas należy zastosować odpowiednio duży stycznik, a jego cewkę sterować przekaźnikiem. Można też wykonać sterownik według rysunku 2. Przy budowie wszelkich urządzeń niskonapięciowych należy brać pod uwagę spadek napięcia na przewodach łączących urządzenie z odbiornikiem. Na przykład: do ładowarki zainstalowaliśmy przewody wyjściowe o długości 1,5m i przekroju  $1,5mm^2$ , łączny spadek napięcia wraz z zaciskami „żabkowymi” wyniesie 0,5... 0,6V przy prądzie 10A. Natomiast przy prądzie 1,5...2A wyniesie około 0,1V.

Napięcie pomiarowe do komparatora okienkowego bierzemy z zacisku plusowego i ustawiamy samowylączenie na 15V. Napięcie w początkowej fazie ładowania dużym prądem będzie na akumulatorze wynosiło ok. 14,5V, ale w miarę doładowywania coraz mniejszym prądem napięcie akumulatora będzie zbliżało się do napięcia na zaciskach wyjściowych. Wniosek jest taki, że zestrojenie rezystora R13 należy przeprowadzać przy jak najmniejszym prądzie w końcowej fazie ładowania. Mimo że zalecane gęstości prądu w przewodach wynoszą  $6A/mm^2$ , to dla urządzeń prostowniczych można przyjąć  $4A/mm^2$  (przy  $I=10A$  będzie  $2,5mm^2$ ). Trzeba też unikać długich przewodów wyjściowych, a jeśli do najbliższego gniazdka sieciowego jest daleko, zastosować przedłużacz sieciowy - przewody niskonapięciowe nie powinny być dłuższe niż 1,5m.

Na zakończenie jeszcze kilka słów o przekaźnikach przeznaczonych do pracy przy sterowaniu prądem przemiennym. Przekaźniki takie można sterować prądem stałym przy na-

pięciu około trzykrotnie niższym, a najlepiej takim samym prądem cewki, jaki płynie przy zasilaniu prądem przemiennym przy napięciu znamionowym. Np. popularny przekaźnik R15 dostosowany do sterowania napięciem przemiennym 24V~ można zasiląć napięciem stałym 8...9V. Istniejący pierścień (zwały zwój) na nabiegunkniku nie musi być usunięty. Metody tej nie należy stosować do styczników, natomiast sprawdza się przy zasilaniu silników komutatorowych, ale napięcie stałe powinno być około dwukrotnie niższe w stosunku do znamionowego napięcia przemiennego.

Stefan Roguski

## Wykaz elementów

### Rezystory

R1,R2	4,7k $\Omega$
R3,R5,R12	15k $\Omega$
R4,R13*	12k $\Omega$
R6	100k $\Omega$
R7	620k $\Omega$
R8,R9	2,2k $\Omega$
R10	10k $\Omega$
R11	1,5k $\Omega$

### Kondensatory

C1	1000 $\mu F$ /25V
C2-C4	220nF

### Półprzewodniki

D1-D7	1N4002...7
T1,T2	BC337 (lub BC338)
U1	7810 (lub 7812)
U2	TLC272 (lub LM358)

### Pozostałe

P1	Pd11 lub podobny
TR1,M1,A	istniejące w prostowniku lub dostosowane do obciążenia
RL	przekaźnik R15 lub podobny
B1,B2	według obciążenia
Podstawka DIL-8, gniazda bezpiecznikowe, okablowanie, zaciski sprężynowe (żabki), obudowa, radiator do M1, inne (według opisu w tekście).	



Fot. 1 Ładowarka modelowa

Płytką drukowaną jest dostępna w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2769