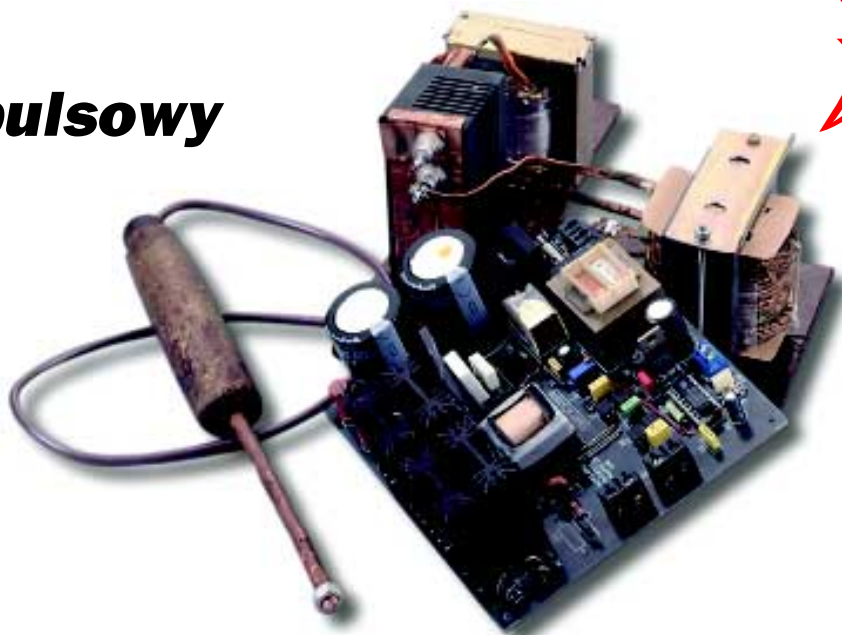


# Amatorska spawarka, część 1

## Sterownik impulsowy

### AVT-837

PROJEKT  
Z OKŁADKI



*Temat amatorskiej spawarki sterowanej elektronicznie od dawna wzbudzał zainteresowanie wielu elektroników i do dzisiaj doczekał się co najmniej kilkunastu, mniej lub bardziej udanych, opracowań, wynikiem których były układy sterowania z tyrystorami.*

*Postęp w elektronice powoduje jednak, że to, co jeszcze wczoraj można było nazwać konstrukcją nowoczesną, dziś może być już przestarzałe.*

Pojawienie się na rynku znakomitych jakościowo i wytrzymałych tranzystorów mocy pozwala rozwiązać problem amatorskiej spawarki raz jeszcze, tym razem już bez ciężkiego i nieporęcznego transformatora sieciowego.

Po raz pierwszy prezentujemy na łamach Elektroniki Praktycznej urządzenie tak dużej mocy. Mimo iż jego wykonanie nie jest wcale trudne, budowy powinni podjąć się jedynie elektronicy z dużym doświadczeniem zawodowym. Kontakt z wysokimi napięciami, siecią energetyczną, dużymi prądami, z wysoką temperaturą łuku i generowanym przez niego promieniowaniem UV wymaga staranności w montażu urządzenia i uwagi przy jego uruchamianiu.

Opisywany impulsowy sterownik spawarki ma konstrukcję celowo maksymalnie uproszczoną, gdyż jest ona przeznaczona do dorywczego spawania małych elementów (np. w modelarstwie). Dzięki eliminacji dużego i ciężkiego transformatora sieciowego, masa spawarki i wymiary są o wiele mniejsze niż w przypadku konstrukcji klasycznej.

Cała spawarka składa się z dwóch części: impulsowego sterownika przetwarzającego napięcie sieci w szybkozmienną falę prostokątną oraz transformatora impulso-

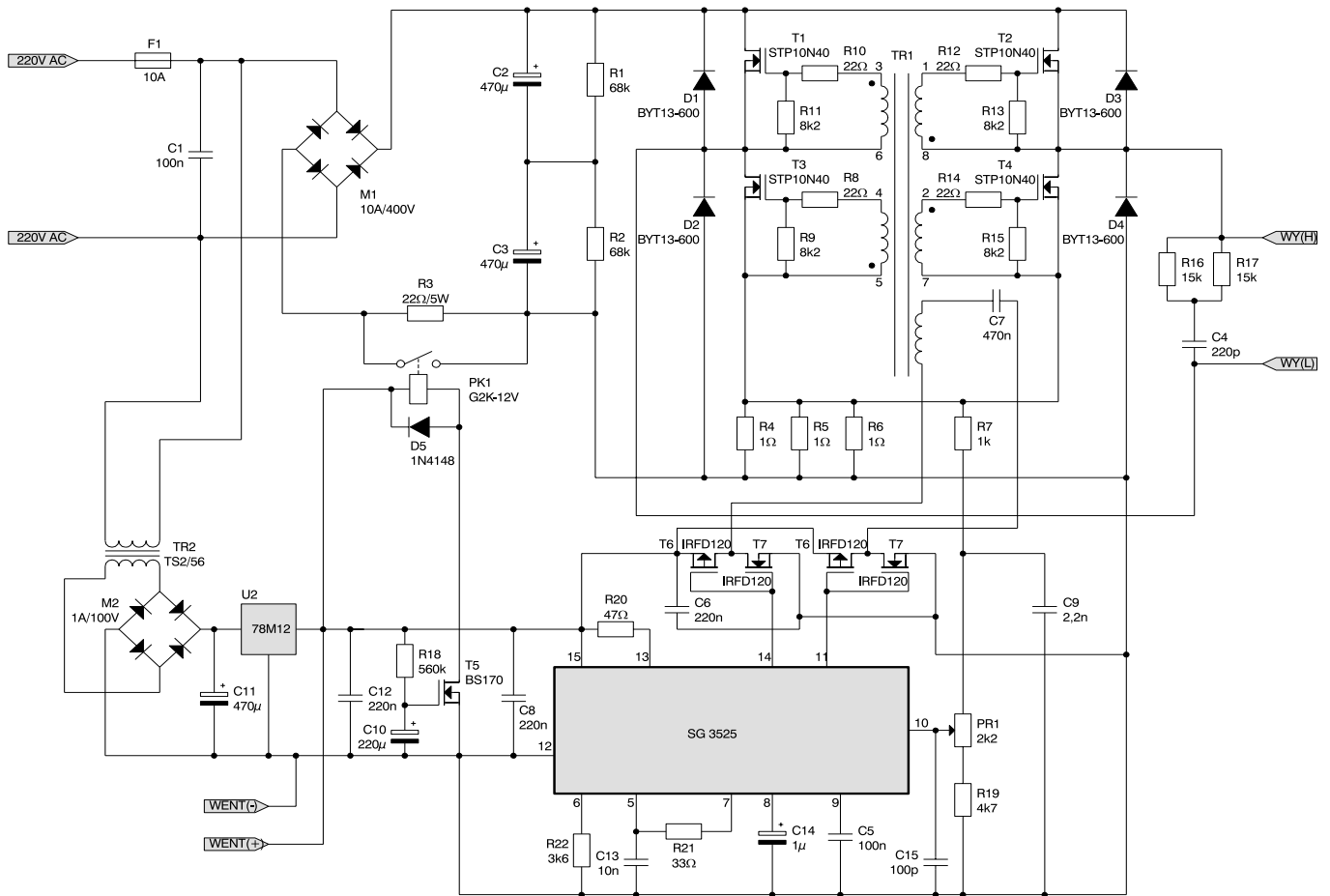
wego wraz z prostownikiem. W pierwszej części artykułu opisany zostanie sterownik, w drugiej przybliżymy sposób wykonania transformatora i elementów strony wtórnej.

Sterownik został zaprojektowany jako uniwersalny moduł, który w zależności od użytych elementów (np. tranzystory kluczujące, transformator wyjściowy) może pracować z mocą wyjściową od około 800W do 2kW. Do wykonania sterownika użyte zostały popularne i ogólnodostępne elementy.

#### O spawaniu okiem amatora

Nie jestem specjalistą spawalnictwa i nie chciałbym rozpisywać się na temat spawania, podam jedynie garść informacji podstawowych, które przydają się do uruchomienia spawarki.

Do spawania niewielkich elementów konieczne jest posiadanie cienkich elektrod otulonych. Na rynku najcieńsze mają średnicę 1,6mm i okazuje się, że są one wystarczające przy mocy układu do 1kW. Wykonanie sterownika w wersji 1,5kW pozwala bezproblemowo korzystać z elektrod o średnicy 2 mm. Aby bez większych kłopotów zapalił się łuk elektryczny, napięcie bez obciążenia na wyjściu spawarki przekracza nieco wartość 50V. W trakcie



Rys. 1. Schemat elektryczny sterownika spawarki.

spawania napięcie jest niższe (nawet 20V) - sterownik ogranicza do zadanej wartości prąd spawania (działa jak klasyczny zasilacz z ograniczeniem prądu). Oczywiście, napięcie wyjściowe spawarki jest wyprostowane, co podobno daje lepsze rezultaty, niż spawanie prądem przemiennym.

## Opis układu

Układ spawarki jest elektrycznym zasilaczem impulsowym pracującym w konfiguracji pełnomostkowej (ang. full bridge converter) dużej mocy, z ograniczeniem prądu. Jego konstrukcja została jednak znacznie uproszczona, tak aby wykonanie urządzenia nie było drogie. Trochę gorsze są przez to parametry (np. brak układu korekcji współczynnika mocy skutecznie uniemożliwia rozbudowę sterownika do mocy większej niż 2kW), ale w przeciwnym przypadku konstrukcja byłaby zbyt kosztowna, a sterownik trudny w wykonaniu.

W dwóch „miejscach“ układu sprzeciwiłem się obowiązującym kanonom projektowania. Specjal-

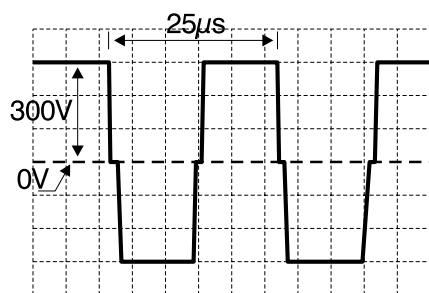
nie o tym piszę, gdyż nie chcę, aby ktoś z Czytelników pomyślał, że „nie umiem“.

Przyznaję, że obwód kontroli prądu kluczy powinienem wykonać w postaci przekładnika prądowego, a nie na zwykłym rezystorze, ale nie chciałem go komplikować - w układzie i tak jest dość magnetyków i nawijania. Dławik ograniczający prąd powinien być po stronie pierwotnej, przez co konstrukcja byłaby bardziej finezyjna, jednak z tak wykonaną pierwszą wersją urządzenia miałem duże kłopoty.

Schemat elektryczny sterownika impulsowego znajduje się na rys. 1. Napięcie sieci poprzez zwłocznik bezpiecznik topikowy jest prostowane w mostku M1. Dołączony równolegle do wejścia kondensator C1 ogranicza przenikanie zakłóceń generowanych przez falownik do sieci. Z uwagi na dorywczy charakter pracy spawarki, w układzie zrezygnowano z zastosowania rozbudowanego filtra przeciwzakłócenowego. Kondensatory C2 i C3 filtrują wyprostowane napięcie sieci. Z uwagi na większą dostępność kondensatorów o napięciu pracy

200V, zamiast jednego kondensatora użyte zostały dwa szeregowo połączone. Rezystory R1 i R2 wyrównują panujące na nich napięcia.

Mimo dużej mocy układu, wartość użytej pojemności filtrującej nie jest duża. Do spawania nie jest bowiem potrzebny prąd dobrze odfiltrowany, nawet spore tętnienia o częstotliwości 100Hz nie przeszkadzają ani w procesie spawania, ani też w pracy falownika. Duże pojemności filtrujące powodowałyby natomiast, iż współczynnik mocy urządzenia byłby mały, co jest nie do przyjęcia w układzie o takiej mocy. W takiej sytuacji układ pobierałby prąd z sieci w postaci krótkich, lecz dużych impulsów doładowujących kondensatory filtru w szczycie sinusoidy zasilającej. Nawet jeśli zapomnimy o zakłóceniach, jakie taka (mocno nieliniowa) praca powoduje, to duże wartości prądu ładowania niepotrzebnie obciążają sieć energetyczną i diody mostka prostowniczego. W skrajnym przypadku może nawet dojść do zadziałania automatycznych bezpieczników w pomieszczeniu, na-



Rys. 2. Kształt napięcia wyjściowego sterownika.

wet jeśli wartość średnia pobieranego prądu będzie poniżej ich progu zadziałania. Wspomniane impulsy mogą je uaktywnić. Niewielka wartość pojemności filtrującej pozwala uzyskać kompromis pomiędzy wartością tych impulsów a stopniem odfiltrowania napięcia zasilającego falownik.

Dwuwartowy transformator sieciowy TR2, wraz z mostkiem prostowniczym M2, kondensatorem C11 i popularnym stabilizatorem trójkońcówkowym U2, tworzy pomocniczy zasilacz niewielkiej mocy przeznaczony do zasilania kontrolera falownika oraz wentylatora chłodzącego układ. W konstrukcji urządzenia zrezygnowano bowiem z umieszczenia dużych i ciężkich radiatorów zdolnych do wychłodzenia elementów mocy w temperaturze pokojowej, na korzyść mniejszych i lżejszych kształtek chłodzonych w sposób wymuszony za pomocą klasycznego, pecetowego wentylatora 12V o rozmiarze 80x80mm.

Aby ograniczyć do bezpiecznej wartości, dla diod prostowniczych mostka M1, prąd ładowania kondensatorów C2 i C3 w momencie włączenia układu do sieci, zastosowany został obwód z ograniczającym prąd ładowania kondensatorów rezystorem R3 i zwierającym go po upływie około 1,5 sekundy przekaźnikiem PK1. Zwieranie rezystora jest konieczne z uwagi na straty mocy jakie element ten powodowałby w pracującym układzie oraz oczywiście na niepożądany spadek napięcia. Do opóźnionego włączania przekaźnika użyty został prościutki obwód z tranzystorem T5 i wyznaczającymi wielkość opóźnienia elementami C10 i R18.

## Falownik

Układ falownika tworzą cztery tranzystory MOS: T1, T2, T3 i T4. Tranzystory w mostu przewodzą

parami na przemian, a więc w jednym takcie przewodzi T1 i T4 w drugim takcie T2 i T3. Obciążenie jest włączone w środek mostka, a więc do drenów T3 i T4. Każdemu z tranzystorów kluczujących towarzyszy dioda zapobiegająca zmianie polaryzacji napięcia na tranzystorze w chwili, gdy wszystkie tranzystory są zatkane.

Na rys. 2 przedstawiono kształt napięcia na wyjściu układu. Dwójnik R16 z R17 i kondensator C4 ograniczają wartość szpilkowych impulsów, jakie pojawiają się na zaciskach wyjściowych sterownika, a pochodzą od indukcyjności rozproszenia transformatora impulsowego.

Kluczową sprawą w przypadku spawarki i takiej konstrukcji falownika jest możliwość precyzyjnej kontroli prądu wyjściowego spawarki, tak aby możliwe było jego ograniczenie do zadanego poziomu i stabilizacja. Korzystną cechą układu jest to, iż pomiar prądu na wyjściu urządzenia może zostać zastąpiony poprzez pomiar prądu przewodzonego przez klucze. Kolejną zaletą jest prostota realizacji tej kontroli, sprwadzająca się do włączenia rezystorów R4..R6 pomiędzy źródła tranzystorów T3 i T4 a masę. Kształt przebiegu napięcia na wspomnianym rezystorze odpowiadający płynącemu przez klucze prądowi przedstawia rys. 3.

O ile pomiar prądu jest dziecinnie prosty, o tyle nie da się tego powiedzieć o sterowaniu tranzystorów. Elektrody każdego z tranzystorów są na różnych potencjałach i użycie transformatora sterującego jest koniecznością. Dodatkowym problemem jest konieczność nawinięcia aż pięciu uzwojeń - dla każdego tranzystora po jednym i (jako piąte) uzwojenia pierwotnego.

Odpowiednie połączenie początków i końców transformatora zapewnia żadaną kolejność włączania tranzystorów. Umieszczone w obwodzie bramki każdego z kluczy rezystory szeregowo (R8, R10, R12 i R14) zapewniają ograniczenie prądu przeładowującego pojemność bramka-źródło MOSFET-ów do około 450mA, a rezystory równoległe (R9, R11, R13, R15) tłumią oscylacje pochodzące od pasożytniczych pojemności uzwojeń transformatora, jakie nakładają się na napięcie sterujące.

## Kontroler

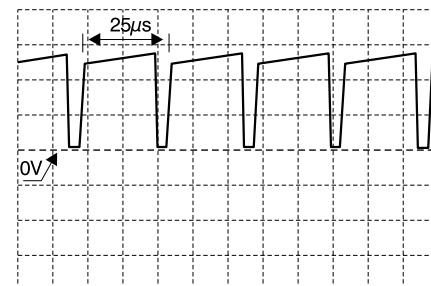
Do sterowania falownikiem wykorzystany został tani i popularny układ kontrolera zasilaczy przeciwobnych UC3525.

Wprawdzie zawiera on wbudowany w strukturę przeciwobny stopień wyjściowy, przystosowany do bezpośredniego sterowania tranzystorów MOS i dostarczający w impulsie prąd do 400mA, jednak w tym zastosowaniu to nieco za mało. W układzie pełnomostkowym kontroler musi włączyć jednocześnie aż dwa tranzystory, a co więcej, z uwagi na dużą moc układu i związaną z tym konieczność ograniczania strat, proces przełączenia powinien nastąpić możliwie szybko.

Włączenie tranzystora MOS sprowadza się w praktyce do naładowania pojemności bramka-źródło. W typowym MOSFET-cie (o parametrach 8A/400V) ta pojemność ma wartość około 1..1,5nF, a więc korzystając z drivera umieszczonego w U1 najprawdopodobniej udałoby się go wysterować.

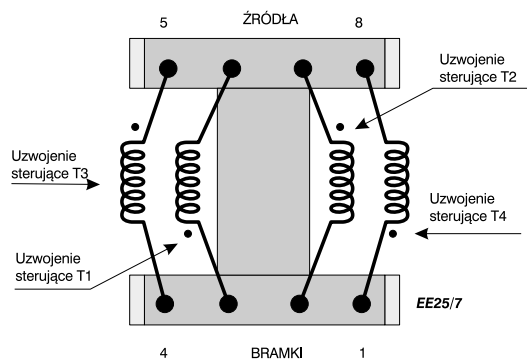
Tranzystor o takich parametrach wystarcza jednak do budowy spawarki o mocy nie większej niż 1kW. Skoro kontroler ma być uniwersalny i dostarczać większej mocy, konieczne było rozbudowanie stopnia sterującego. Silne tranzystory MOS (o parametrach np. 20A/400V) mają bowiem pojemność bramka - źródło już przekraczającą 3nF! Ich sterowanie bezpośrednio z UC3525 mogłoby się nie udać.

Dlatego w układzie sterownika stopień wyjściowy został rozbudowany, a w zasadzie zdublowany. Na końcówkach 11 i 14 kontrolera dostępna jest para prostokątnych sygnałów o parametrach czasowych dokładnie takich, jakie potrzebne



Rys. 3. Kształt prądu przepływającego przez rezystor kontroli prądu (w układzie rzeczywistym na przednie zbocze impulsów nakładają się impulsy szpilkowe).





Rys. 5. Sposób nawinięcia transformatora sterującego - uzwojenia wtórne.

nicza prąd ładowania pojemności bramek w tranzystorach T6..T9 do wartości bezpiecznej dla układów zawartych w strukturze U1.

## Montaż

Układ sterownika został zmontowany na jednostronnej płytce drukowanej o wymiarach 125x145mm. Montaż układu (według schematu z rys. 4) jest typowy i nie wymaga specjalnych uwag. Widok mozaiki ścieżek znajduje się na wkładce wewnątrz numeru.

Warto jest umieścić U1 w podstawie i na początku nie montować rezystorów R5 i R6, co pozwoli przetestować pracę układu na minimalnej mocy wyjściowej. Należy również zwrócić uwagę na dobre przymocowanie tranzystorów kluczujących do radiatorów - niezbędne jest posmarowanie powierzchni styku pastą silikonową.

## Transformator TR1

Transformator sterujący tranzystorami mocy jest kluczowym elementem sterownika. Od jakości jego wykonania zależy powodzenie łatwego i szybkiego uruchomienia sterownika, toteż jego wykonaniu należy poświęcić wiele uwagi. Transformator zawiera pięć uzwojeń, każde z nich musi być odizolowane od innych. Ważne też jest prawidłowe podłączenie początków i końców uzwojeń. Ewentualne błędy dadzą w efekcie przebicia międzyuzwojeniowe lub niewłaściwą kolejność włączania tranzystorów - trzeba zatem uważać.

Do wykonania transformatora wykorzystany został popularny rdzeń typu EE25/7 Polferu z materiału F807 lub F2001 i karkas typu 2020. Pewnym problemem może być to, że wspomniany karkas ma jedynie 8 końcówek, a potrzeba 10. Niestety

Polfer nie produkuje karkasu do tej kształtki o większej liczbie końcówek i jakoś trzeba ten problem rozwiązać.

Do wykonania transformatora potrzebować będziemy jeszcze około 2 metrów drutu emaliowanego o średnicy około 0,3..0,4mm, nieco folii poliestrowej (ale nie biurowej taśmy przeźroczystej, nieodpornej na podwyższoną temperaturę) do izolowania, przydaje się też klej typu cyjanopan i żywica epoksydowa.

Pomocny w prawidłowym wykonaniu elementu będzie **rys. 5**.

Płytkę drukowaną została zaprojektowana w taki sposób, że nóżki karkasu będą podłączone do uzwojeń wtórnych transformatora. Pracę zaczynamy od nawinięcia w jednej warstwie 28 zwojów drutu, zaczynając od końcówki 4, a kończąc na 5. Na początek i końcówkę uzwojenia warto nałożyć centymetrowej długości koszulkę izolującą ściągniętą np. z dowolnego izolowanego przewodu. Dzięki temu unikniemy przebić pomiędzy końcówkami uzwojeń. Nawinięte uzwojenie izolujemy folią poliestrową (1..2 warstwy).

W taki sam sposób nawijamy kolejne trzy uzwojenia wtórne pilnując, aby nawijać je w tym samym kierunku, gdyż tylko wtedy zapanujemy nad uruchomieniem układu. Początki uzwojeń łączymy do końcówek odpowiednio 3, 2, 1, a końce do 6, 7, 8. Nawinięte starannie (i ciasno!) uzwojenia wtórne oczywiście izolujemy.

Do wykonania transformatora pozostało jeszcze nawinięcie uzwojenia pierwotnego. Ponieważ w karkasie nie ma już wolnych końcówek, konieczne jest podłączenie wyprowadzeń bezpośrednio do punktów lutowniczych na płytce drukowanej, zlokalizowanych po prawej stronie transformatora (widok z góry). Nawinięcie uzwojenia rozpoczynamy tak, aby początek drutu leżał dokładnie na środku dolnej części transformatora. Brak elementów mocujących może sprawić nieco kłopotów, dlatego po nawinięciu kilku zwojów (i umocowaniu końca zgodnie z **rys. 6**), warto jest umocować drut za pomocą małej ilości cyjanopan. Gdy po kilku sekundach klej wyschnie, można dowie-

nać pozostałą część uzwojenia i w podobny sposób zamocować koniec. Uzwojenie pierwotne liczy 30 zwojów tego samego drutu co poprzednio. Na szczęście, w przypadku uzwojenia pierwotnego rozmieszczenie początków i końców nie ma znaczenia. Na końce drutu naciągamy koszulki izolujące i całość przykrywamy pojedynczą warstwą folii.

Przed przylutowaniem drutu do końcówek warto dokonać testów poprawności nawinięcia, co pozwoli uniknąć przykrych niespodzianek podczas uruchamiania urządzenia. W tym celu w karkas wkładamy rdzeń, ściskamy połówki za pomocą gumki recepturki lub koszulki termokurczliwej i mierzymy indukcyjność uzwojenia pierwotnego. W prawidłowo wykonanym transformatorze powinna ona przekraczać 1,5mH. W kolejnym kroku należy po kolei łączyć szeregowo uzwojenia wtórne i sprawdzać czy za każdym razem wypadkowa indukcyjność połączonych uzwojeń wzrasta.

## Uruchomienie

Do uruchomienia sterownika potrzebne będą dwie żarówki 220V/100W, żarówka samochodowa 12V/10W, zasilacz warsztatowy o regulowanym napięciu i z ograniczeniem prądu, przydatny okaże się też oscyloskop.

Proces uruchomienia sterownika rozpoczynamy od wylutowania tranzystora T5 i podania z zasilacza warsztatowego napięcia 15V (z ograniczeniem prądu do około 0,5A) bezpośrednio na kondensator C11. Następnie kontrolujemy wielkość napięcia na C8 (12V) i pobór prądu przez układ (około 100mA). Gdy pobór prądu będzie duży (powyżej 200mA) wylutowujemy kondensator C7. Jeśli po wylutowaniu kondensatora pobór prądu spadnie do około 50mA, podejrzanym elementem staje się transformator i elementy dołączone do wtórnej strony TR1. Sprawdzenie transformatora jest możliwe po wylutowaniu rezystorów R8, R10, R12, R14. Pobór prądu nie powinien przekraczać 100mA.

Sprawdzamy również obecność na końcówce 16 U1 napięcia odniesienia o wartości 5V, fal prostokątnych na końcówkach 11 i 14 oraz na połączonych drenach par

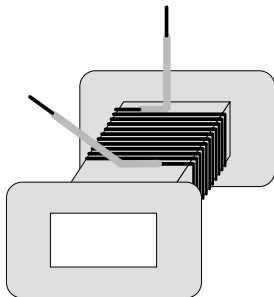
driverów. Następnie wlotowujemy tranzystor T5 i kontrolujemy pracę układu sterowania przekaźnikiem. Po włączeniu zasilania przekaźnik powinien przyciągnąć kotwicę po upływie około 1,5 sekundy.

W następnym kroku łączymy ze sobą plusy kondensatorów C11 i C2 oraz przestawiamy zasilacz, aby był w stanie oddać prąd ok. 1,5A. Po włączeniu układu pobierany przez niego prąd nie powinien być większy niż 250mA. Gdy wartość ta jest większa prawdopodobnie zła jest kolejność pracy kluczy - na przykład T1 jest załączany razem z T3, a winowajcą jest TR1.

Dalej podłączamy do wyjścia sterownika żarówkę 12V/10W. W prawidłowo pracującym układzie powinna się ona jasno świecić. Jednocześnie zaobserwujemy zwiększony pobór prądu przez układ (rzędu 1A). Po chwili pracy sprawdzamy temperaturę tranzystorów kluczujących (mogą być jedynie lekko ciepłe). Jeśli dysponujemy oscyloskopem, można pokusić się o obejrzenie kształtu napięcia na wyjściu układu i sygnału na rezystorze R4. Prawidłowe przebiegi powinny być zbliżone kształtem do tych, jakie zamieszczone są na rysunkach.

Na zakończenie pozostaje jedynie sprawdzić zachowanie układu przy dużym napięciu zasilania oraz skontrolować poprawność pracy ograniczenia prądu, co jest niezwykle ważne z punktu widzenia późniejszej eksploatacji spawarki.

W tym celu przerywamy połączenie pomiędzy kondensatorami C11 i C2, odłączamy zasilacz warsztatowy, a do wyjścia sterownika podłączamy dwie szeregowo po-



Rys. 6. Sposób nawinięcia uzwojenia pierwotnego TR1. Dla uproszczenia nie zostały narysowane wcześniej nawinięte uzwojenia wtórne.

łączone żarówki 220V/100W. Po włączeniu sterownika do sieci powinny się zaświecić (niepełna jasność), układ powinien pracować cicho, a tranzystory kluczujące powinny być chłodne. Napięcie na szeregowo połączonych kondensatorach C2 i C3 powinno być zbliżone do 300V.

Sprawdzenie działania układu ograniczenia prądowego w zasadzie wymaga obciążenia sterownika pełną mocą, co niekiedy mogłoby być kłopotliwe - skąd wziąć kilowatowy rezystor?

Dlatego do prób, zamiast połączonych równolegle trzech rezystorów, trzeba użyć jednego o większej rezystancji, tak aby próg czułości układu przesunąć w dół. Gdy użyjemy rezystora o wartości około 5Ω, po obciążeniu sterownika wcześniej wspomnianymi żarówkami, powinniśmy zaobserwować zadziałanie zabezpieczenia. Układ powinien zacząć ograniczać współczynnik wypełnienia impulsów sterujących i przejść do stabilizacji prądu. W stosunku do poprzedniej próby jasność świecenia żarówek powinna być mniejsza. Gdy w trakcie pracy (uwaga na możliwość porażenia) dołączymy równolegle do wspomnianej rezystancji 5Ω wylutowany rezystor 1Ω, jasność powinna być ponownie większa. Podczas prób potencjometr dokładnej regulacji prądu musi mieć suwak w górnym położeniu.

W trakcie ograniczania prądu praca sterownika powinna być bezgłośna. Ewentualne piski świadczą o wzbudzeniu się układu i muszą zostać wyeliminowane. W razie takiego problemu przede wszystkim trzeba oscyloskopem sprawdzić kształt przebiegu napięcia na czujniku prądu R4. Charakterystyczne dla przedniego zbrocza sygnału impulsy szpilkowe muszą być ograniczone za pomocą dwójnika R7/C9 i kondensatora C15, wartości tych pojemności można próbować nieco (ale nie za dużo) zwiększyć. Podobnie jest z kompensacyjną pojemnością C5. Nie wolno jednak zmian pojemności dokonywać „w biegu”, czyli przy pracującym sterowniku, bo grozi to spalaniem kluczy MOS.

**Robert Magdziak, AVT  
trebor@mi.com.pl**

## WYKAZ ELEMENTÓW

### Rezystory

PR1: potencjometr wielobrotowy 2,2kΩ  
R1, R2: 68kΩ/2W  
R3: 18..33Ω/5W drutowy  
R4..R6: 1Ω/1W nie drutowy, patrz również tabela w drugiej części artykułu  
R7: 1kΩ/0,125W  
R8, R10, R12, R14: 22Ω/0,5W  
R9, R11, R13, R15: 8,2kΩ/0,25W  
R16, R17: 15kΩ/1W  
R18: 560kΩ/0,125W  
R19: 4,7kΩ/0,125W  
R20: 47Ω/0,25W  
R21: 33Ω/0,125W  
R22: 3,6kΩ/0,125W

### Kondensatory

C1: 0,1μF/400V  
C2,C3: 470μF/200V  
C4: 220pF/1kV ceramiczny  
C5: 100nF/63V  
C6, C8, C12: 220nF/63V  
C7: 470nF/63V  
C9: 2,2nF/63V  
C10: 220μF/16V  
C11: 470μF/35V  
C13: 10nF/63V  
C14: 1μF/25V  
C15: 100pF/63V ceramiczny

### Półprzewodniki

D1..D4: BYT13-600, MUR460 lub podobna (3A/600V/Tr<100ns)  
D5: 1N4148  
M1: mostek 10A/400V  
M2: mostek okrągły 1A/50V  
T1..T4: STP10N40 (1kW), STW18N40 (1,5kW), STW20N40 (2kW) (STMicroelectronics) lub odpowiedniki  
T5: BS170  
T6, T8: IRFD120 (International Rectifier) lub inny tranzystor MOS-N 1A/100V w obudowie Mini-DIP  
T7, T9: IRFD9120 (International Rectifier) lub inny tranzystor MOS-P 1A/100V w obudowie Mini-DIP  
U1: SG3525, nie musi być z literką „A” na końcu  
U2: 78M12

### Różne

F1: oprawka bezpiecznika do druku i bezpiecznik zwłoczny 10A  
PK1: przekaźnik 12V typ OMRON G2K  
TR2: transformator sieciowy TS2/56  
TR1: transformator impulsowy do wykonania we własnym zakresie na rdzeniu EE25/7 z materiału F807 Polferu (bez szczeliny) i nawinięty na karkasie typu 2020, uzwojenia wg opisu w tekście  
Podstawka pod U2, trzy złącza podwójne ARK7,5mm i jedno podwójne 5mm, cztery radiatorzy typu KS51, wentylator 12V/80 x 80 mm