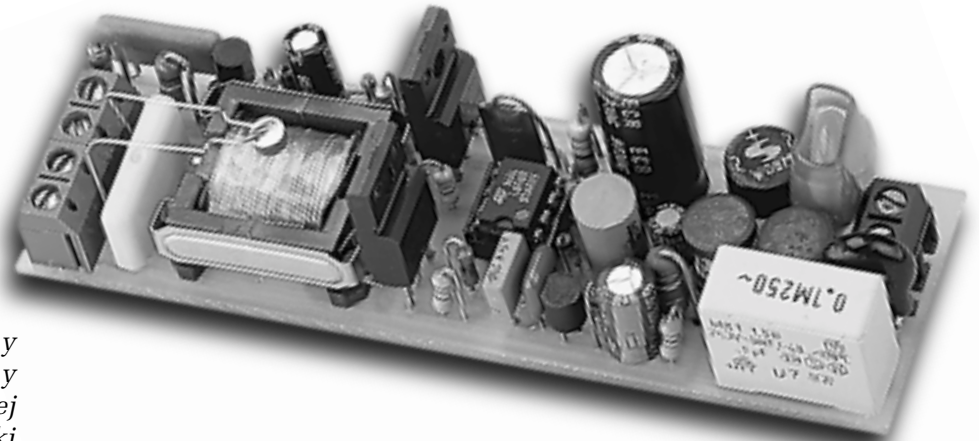


Sterownik świetlówek małej mocy

kit AVT-803



Przedstawiamy kolejny projekt z trudnej dziedziny elektroniki - wysokoprądowej i wysokonapięciowej techniki impulsowej. Jak jednak dowodzi autor projektu, „impulsy“ można szybko ośwoić, dzięki czemu urządzenia dotychczas trudne do wykonania dla elektroników, stały się łatwe w montażu i przewyższają parametrami swoje elektromechaniczne pierwowzory.

Współcześnie produkowane sterowniki świetlówek są układami o dużym stopniu komplikacji. Oprócz realizacji niezbędnych dla prawidłowej pracy lampy trzech faz: podgrzewania elektrod, zapłonu i normalnej pracy, często oferują one rozbudowane układy zabezpieczeń (zwarcia wewnątrz lampy, brak lampy itp.), układy regulacji jasności, stabilizacji jasności świecenia w funkcji napięcia zasilania, aż po korektor współczynnika mocy.

Nie zawsze maksymalne rozbudowanie układu jest uzasadnione ekonomiczne, szczególnie wtedy, gdy nie towarzyszy mu wymierny zysk w postaci np. wydłużonego czasu eksploatacji lampy.

Prezentowany w artykule sterownik ma prostą konstrukcję, zapewniającą jego wysokie walory użytkowe i jest łatwy w realizacji. Przeznaczony jest do sterowania świetlówkami małej mocy i radykalnie rozwiązuje problem strat mocy występujący w rozwiązaniach klasycznych.

Cóż z tego, że do oświetlenia np. akwarium użyliśmy świetlówek o mocy tylko 8W, skoro z uwagi na dużą wartość indukcyjności statecznika wytraca się w nim kolejne 5W? W niniejszym układzie straty mocy zostały ograniczone do wartości nie przekraczającej 2W, tak że dla elementów mocy nie są potrzebne radiatory!

Obwody wejściowe

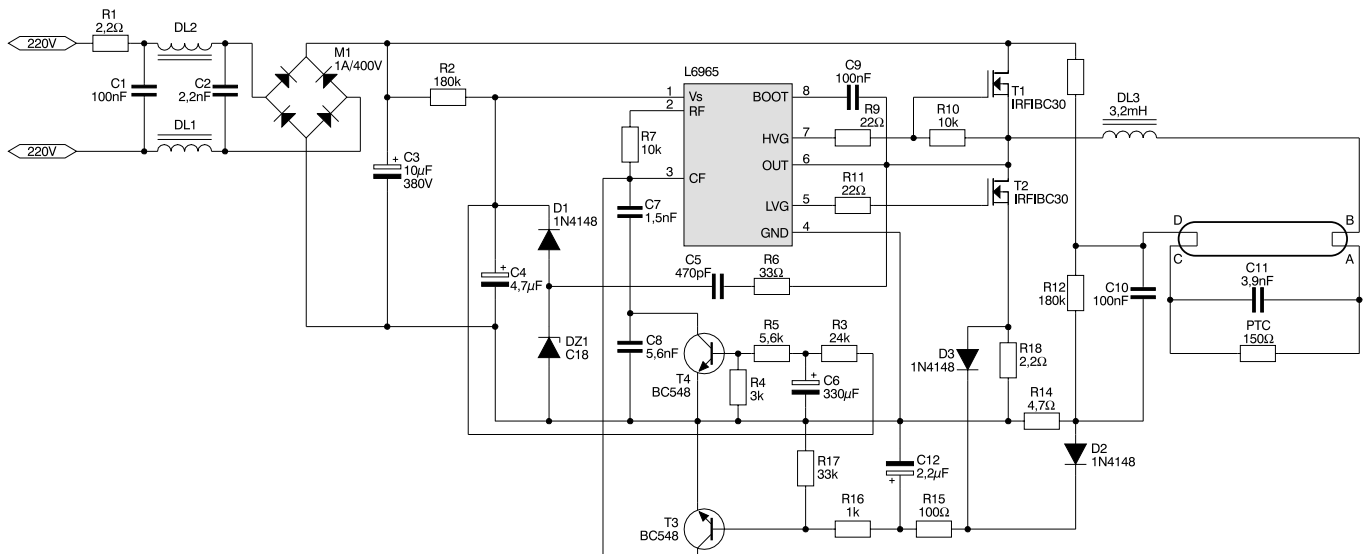
Schemat elektryczny urządzenia przedstawiono na **rys. 1**. W obwodzie wejściowym zastosowany został prosty filtr przeciwzakłóceńowy z dławikami D1 i D2 oraz kondensatorami C1 i C2. Rezystor R1 pełni rolę ogranicznika impulsu prądowego w momencie włączenia układu do sieci oraz bezpiecznika. Po wyprostowaniu w mostku M1 napięcie sieci jest filtrowane za pomocą kondensatora C3. Z uwagi na duże rozmiary tego elementu zastosowano kondensator o najmniejszej możliwej pojemności - jedynie 10 μ F.

Czasem wartość ta okazuje się zbyt mała, co objawia się płynącym wzdłuż lampy zafalowaniem świecenia (interferencja tętnień sieci z częstotliwością falownika).

Sterownik falownika

Wyprostowane i odfiltrowane napięcie trzeba „pofalować“, czyli zamienić na szybkozmienne napięcie o kształcie prostokątnym i amplitudzie równej napięciu na C3. Zadanie to spełnia kontroler U1 wraz z kluczami MOS. Jako U1 pracuje specjalizowany sterownik-falownik L6965 firmy STMicroelectronics.

Jest to układ scalony wykonany w mieszanej technologii BCD, pozwalającej łączyć na jednej strukturze układy bipolarne ana-



Rys. 1. Schemat elektryczny urządzenia.

logowe z cyfrowymi a nawet mikroprocesorowymi. Jego schemat blokowy przedstawiamy na rys. 2.

Wyprowadzenia R_F i C_F to wejścia do podłączenia elementów określających częstotliwość pracy układu. Układ oscylatora zawarty w układzie powstał na bazie popularnego timera 555 - na schemacie blokowym widoczne są charakterystyczne trzy rezystory i dwa komparatory. Z jego wyjścia prostokątny sygnał o wypełnieniu 50% jest podawany do układu realizującego tzw. czas martwy. Wymusza on mikrosekundowy odstęp czasu pomiędzy zakończeniem przewodzenia jednego tranzystora kluczującego, a włączeniem drugiego.

Ponieważ przejście tranzystora kluczującego ze stanu głębokiego nasycenia do zatkania nie następuje natychmiast, przy braku wspomnianego opóźnienia występowałyby sytuacje, gdy oba tranzystory byłyby w stanie przewodzenia. Prąd, który w takim momencie płynąłby przez te elementy nie byłby niczym ograniczony, a co to oznacza dla tranzystorów, łatwo można się domyślić.

Odpowiednio przygotowane sygnały są kierowane następnie do driverów kluczy. Jedną z unikalnych cech układu L6965 jest obwód przesuwania poziomu napięcia, pozwalający w układzie półmostkowym sterować „górnym” kluczem bez pośrednictwa transformatora separującego! Zauważmy, że napięcie sterujące górny FET zmienia się w jednym takcie,

od zera do około 12V, natomiast w drugim przekracza napięcie zasilania sterownika. W pierwszej chwili może się to wydawać dziwne, jednak aby przekonać się, że tak musi być, wystarczy rozpatrzeć sytuację, gdy dolny FET jest zatkany, a górny przewodzi - napięcie na jego źródle jest wówczas bliskie napięciu zasilania, a więc napięcie bramki musi być wyższe od zasilania układu o kilkanaście woltów.

Zasilanie kontrolera i sterownika

Skoro driver górnego FET-a wymaga zasilania wyższego niż cały sterownik, to musi istnieć układ to realizujący. Zasilanie układu L6965 można podzielić na dwie części. Pierwsza, klasyczna, zasila wewnętrzne obwody układu scalonego i driver dolnego FET-a. W chwili włączenia układu do sieci poprzez rezystor R2 ładuje się kondensator C4. Gdy napięcie na nim wzrośnie do około 12V, wbudowany w U1 obwód kontroli napięcia zasilania uruchamia oscylator i odblokuje klucze - całość startuje. Ważną cechą wyróżniającą układ produkowany przez STM jest niski prąd startowy - tylko 150µA, co ogranicza istotnie straty mocy na rezystorze R2. Podczas startu U1 czerpie energię z kondensatora C4. Nie ma jej wiele i starcza ona dosłownie na kilka przełączeń kluczy. Dlatego podczas normalnej pracy C4 musi być doładowywany.

Układ doładowywania składa się z dwojnika C5, R6 dołączonego do wyjścia układu falownika (wyprowadzenie 6 U1). Ponieważ na końcu tej występuje fala prostokątna o amplitudzie około 300V, to łatwo, dobierając wartość pojemności C5, można zapewnić przepływ prądu o wartości około 6mA, koniecznej do zasilania układu podczas pracy. Diody Zenera DZ1 ogranicza maksymalne napięcie zasilające U1 do wartości 18V.

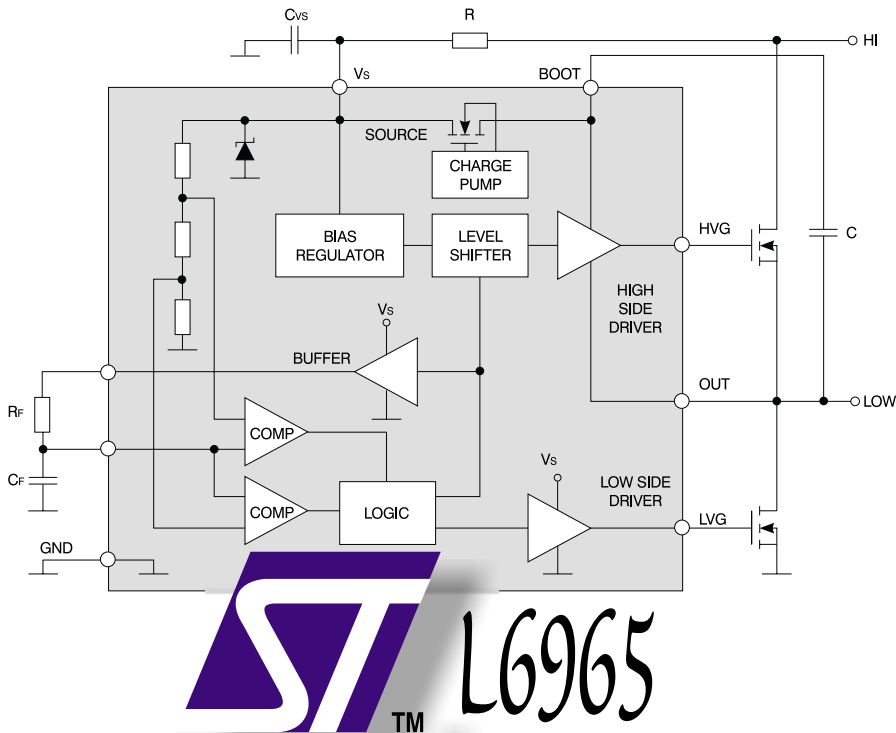
Zasilanie drivera górnego tranzystora kluczującego realizuje kondensator C9 i wbudowany w strukturę przełącznik na tranzystorze FET. W uproszczeniu działanie układu polega na ładowaniu kondensatora C9 do napięcia panującego na wyprowadzeniu 1 (około 15V) gdy przewodzi T2. Później, po zatkaniu T2 i przewodzeniu 8 przekracza o wspomniane 15V napięcie zasilania układu.

Klucze

Jako tranzystory kluczujące zostały zastosowane popularne N-kanalowe MOSFET-y z izolowaną obudową. Duża wydajność prądowa sterownika i niewielka moc układu pozwalają na zastosowanie innych, podobnych tranzystorów o napięciu $U_{ds} > 450V$ i $I_d > 2A$.

Układ podgrzewania elektrod

Za każdym razem po włączeniu układu do sieci konieczne jest wstępne podgrzanie elektrod



Rys. 2. Schemat blokowy układu L6965.

świetlówki. W przeważającej części przypadków do realizacji tej funkcji używa się termistora PTC dołączonego równolegle do kondensatora zapłonowego C11. Mała rezystancja termistora w stanie zimnym silnie tłumia obwód rezonansowy DL3, C11, ograniczając napięcie na lampie do kilkunastu woltów i zapewniając w ten sposób przepływ sporego prądu podgrzewającego żarniki. W miarę nagrzewania się PTC rośnie dobroć układu rezonansowego, a zatem rośnie napięcie przyłożone do świetlówki, aż nastąpi zapłon.

Rozwiązanie takie ma szereg zalet, które trudno zapewnić w inny sposób bez istotnej komplikacji układu. Przede wszystkim termistor skutecznie tłumia stany niestabilne, jakie pojawiają się podczas startu układu - przypadkowe skoki napięcia źle wpływają na trwałość lampy. Drugą zaletą jest to, że zapłon lampy następuje przy najmniejszym możliwym napięciu (trwałość lampy!) - dzięki PTC narasta ono powoli, bez przepięć i gwałtownych skoków. Kolejną zaletą, szczególnie istotną przy produkcji masowej, jest niska cena tego elementu - przy zamówieniach hurtowych kosztuje on kilkanaście centów - i dalsze oszczędności związane z wielko-

ścią płytki drukowanej itp. Wadą układu podgrzewania elektrod z zastosowanym termistorem są większe straty mocy - element ten się przecież nagrzewa.

Opisywany układ wyposażono więc w kombinowany układ grzania żarnika. Po włączeniu układu do sieci kondensator C6 nie jest naładowany i tranzystor T4 zatkaany. Kondensatory obwodu oscylatora C7 i C8 są zatem połączone szeregowo i układ pracuje z częstotliwością wyższą (60kHz) od nominalnej (48kHz). Przy częstotliwości 60kHz (patrz wykres na rys. 3) obwód rezonansowy DL3, C11 jest już na tyle odstrojony od rezonansu, że napięcie na kondensatorze C11 jest małe i nie wystarcza do zapłonu świetlówki. Przez elektrody świetlówki płynie prąd, co realizuje fazę grzania żarników. Wartość tego prądu zależy od częstotliwości, im jest ona większa, tym wypadkowa impedancja obwodu DL3, C11 wraz z rezystancją żarników jest większa i prąd grzania mniejszy. Zbyt bliskie "umiejscowienie częstotliwości grzania" w stosunku do nominalnej częstotliwości pracy, tak aby prąd grzania był możliwie duży się nie udaje - napięcie na C11 jest wtedy już na tyle duże, że wystarcza do zaświecenia lam-

py na tzw. „zimno“, czyli bez podgrzewania elektrod.

Nie wolno dopuszczać do sytuacji, kiedy świetlówka zapala się natychmiast po włączeniu układu do sieci - jest to wyraźny sygnał, iż zapalana jest na zimno, a więc z poważnym uszczerbkiem dla jej trwałości.

Wybór częstotliwości grzania odbywa się więc w sposób kompromisowy i drogą eksperymentów. Podana wcześniej wartość 60kHz jest bezpieczna, jeśli chodzi o zapłon na zimno. Prąd grzania wynosi jednak tylko około 130mA, a więc połowę typowej wartości. Aby skompensować tę niedogodność, wydłużony został czas grzania do prawie dwóch sekund. Po jego upływie kondensator C6 naładuje się już do dostatecznie dużej wartości napięcia, by wymusić nasycenie T4. Zwarcie przez nasycony T4 kondensatora C8 powoduje zmniejszenie częstotliwości pracy układu do 48kHz i zapłon lampy.

Dysponując termistorem (zalecam tę konfigurację, gdyż w 100% pewnie steruje ona świetlówką), można pominąć układ sterowania częstotliwością lub też wyłączyć jego pracę np. zwierając C8.

Obwody zabezpieczeń

Układ sterownika świetlówki musi być odporny na przeciążenia i stany niestabilne pojawiające podczas pracy. W układach sterowania świetlówkami kompaktowymi, gdzie po uszkodzeniu się lampy całość wyrzuca się do śmieci, sterowniki świetlówek TL muszą być o wiele bardziej wytrzymałe. O ile z nową lampą nie ma problemów i zapala się łatwo, to jednak koniec końców może się zdarzyć, że:

- przepali się jedna z elektrod świetlówki;
- wypalone elektrody uniemożliwią zapłon lampy.

Możliwych stanów awaryjnych z pewnością może być więcej, jednak po głębszej analizie okazuje się, że z punktu widzenia układu elektronicznego daje się je podciągnąć pod jedną z dwóch wymienionych powyżej kategorii. Obie awarie są jednakowo groźne dla sterownika. Przerwa w obwodzie świetlówki, spowodowana chociażby włączeniem układu bez

lampy, powoduje pracę falownika bez obciążenia. Ponieważ klucze sterowane są falą prostokątną o współczynniku wypełnienia bliskim 50%, co jest konieczne z punktu widzenia sprawności układu, pojawiające się bez obciążenia asymetrie i opóźnienia w przełączaniu powodują przepływ niezwykle groźnego dla kluczy tzw. prądu skrośnego. Prąd ten pojawia się wtedy, gdy tranzystory mocy przewiodzą jednocześnie (a nie na przemian) i jego wartość może być na tyle duża, iż klucze ulegną natychmiastowemu uszkodzeniu, nie wspominając już o ich silnym grzaniu się w tym stanie.

Drugi typ awarii to brak zapłonu lampy, spowodowany najczęściej normalnym końcem eksploatacji świetlówki. Elektrody zostają wtedy normalnie podgrzane, później zaś układ pozostaje trwale w stanie bliskim rezonansowi w obwodzie DL3, C11. Dobroć tak odstrojonego dwójnika jest rzędu 3..4, z ale i to oznacza, że klucze będą pracować z prądem właśnie tyle razy przewyższającym wartość nominalną.

Do detekcji prądu skrośnego służy umieszczony w obwodzie źródła tranzystora T2 rezystor R18. Gdy przepływający przez niego prąd przekroczy w impulsie 1,5A (tak duża wartość nie pojawia się podczas normalnej pracy), to poprzez diodę D2 kondensator C12 zostanie naładowany do napięcia wystarczającego do otwarcia tranzystora T3. Tranzystor ten zwiera trzecie wyprowadzenie U1 do masy, blokując w ten sposób pracę oscylatora i wyłączając kluczowanie tranzystorów. Ponieważ po chwili C12 rozładowuje się poprzez

Tab. 1. Podstawowe parametry świetlówek i układu dławika

Świetlówka	Napięcie pracy	Prąd nominalny	Indukcyjność dławika	Częstotliwość rezonansowa z C=3,9nF	Typowe podgrzewanie
TL 13W	78V	0,165A	3,2mH	45kHz	0,35A/1s
TL 8W	48V	0,165A	3,6mH	42,5kHz	0,35A/1s
TL 4W	25V	0,165A	4mH	40kHz	0,35A/1s

rezystancje R16 i R17, układ U1 zostanie odblokowany i cały proces zacznie się powtarzać. Szybkość tego procesu można regulować dobierając wartość pojemności C12.

Zabezpieczenie w przypadku, gdy świetlówka się nie zaświeci, działa w identyczny sposób. Z uwagi jednak na inną wartość progową prądu do jego detekcji został wykorzystany rezystor R14. Automatycznie powtarzanie się procesu blokowania i odblokowywania oscylatora jest niewątpliwą zaletą układu, gdyż powtarza proces zapłonu, gdy brak zapłonu był przypadkowy.

Jak wykonać dławik?

Jak już wspomniano, dławik Dł3 jest jednym z najważniejszych elementów układu zapłonnika i do jego zadań należy przede wszystkim ograniczenie prądu płynącego przez lampę do wartości nominalnej. Dla konstruktora istotne jest iż w praktycznym układzie niewielki prąd płynący przez Dł3 podczas normalnej pracy, rzędu 0,16A, ulega zwielokrotnieniu trzy- lub czterokrotnemu w chwili zapłonu. Rdzeń dławika nie może się więc nasycać przy zwielokrotnionej wartości prądu. Gdy niestety to nastąpi, indukcyjność Dł3 istotnie się zmniejszy, a prąd płynący przez elektrody zwiększy się na tyle, że ze świetlówki zrobi się jednorazowa lampa błyskowa.

Powyższy akapit napisałem celowo, aby przestrzec Czytelników przed przypadkowym eksperymentowaniem. Nietrudno się bowiem domyślić, że w miejsce proponowanego przeze mnie dławika Dł3 można użyć dowolnego innego o takiej samej indukcyjności. Z uwagi na wspomniane nasycanie prawdopodobieństwo, że będzie on pasował jest niestety niewielkie.

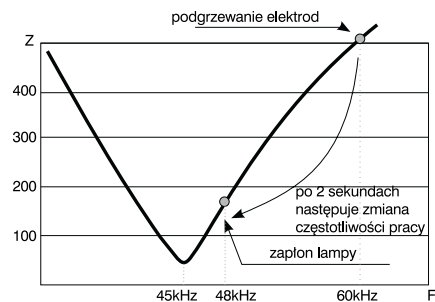
Do wykonania dławika można użyć rdzenia E20/6 produkcji Polferu lub EFD20 Philipsa. Różnice

między nimi są niewielkie i sprowadzają się do tego, że EFD20 ma znacznie mniejsze straty mocy i może pracować przy znacznie wyższych częstotliwościach.

Nawijanie dławika jest łatwe i nie powinno przysporzyć nikomu kłopotów. Do nawinięcia potrzebny będzie drut o średnicy około 0,3mm. Drutem tym nawijamy 100 zwojów. W zależności od średnicy drutu lub wybranej kształtki, uzwojenie będzie się składało z trzech do pięciu warstw. Ponieważ w momencie zapalania świetlówki, a więc pracy dławika prawie rezonansowej, indukowane w nim napięcie może przekraczać 800V, konieczne jest staranne izolowanie poszczególnych warstw uzwojenia, tak aby uniemożliwić przebicia między nimi. Z tego też powodu korzystniejsze jest nawijanie w większej liczbie warstw. Nie wolno również nawijać drutu od jednego brzegu karkasu do drugiego - konieczne jest pozostawienie choćby minimalnego odstępu ochronnego.

Po nawinięciu uzwojenia trzeba sprawdzić indukcyjność. Skoro jest to dławik, to użyty rdzeń musi mieć szczelinę powietrzną, tak aby wypadkowa stała A1 była około 300. Niestety jednak, dostępne w handlu rdzenie praktycznie nigdy nie mają żadnej szczeliny powietrznej. Co zatem robić?

Wyjścia są dwa: osoby uzdolnione manualnie i niezwykle cierpliwe mogą zeszlifować (np. na osełce) środkową kolumnę rdzenia (w trakcie szlifowania co pewien czas trzeba montować rdzeń i kontrolować indukcyjność), natomiast pozostałe osoby (ale za to w znakomitej większości) szczerze wykonają na kolumnach bocznych, przekładając je izolacją o grubości około 0,1mm. Takie obejście problemu możliwe jest przy niewielkich mocach przenoszonych przez element - w naszym przypadku na



Rys. 3. Przebieg zmian impedancji obwodu Dł3-C11 w funkcji częstotliwości z zaznaczeniem punktów pracy dla grzania elektrod i normalnej pracy.

szczęście ma to miejsce. Do dokładnego dobrania grubości szczeliny potrzebny jest miernik indukcyjności. Szerokość szczeliny dobiera się tak, by po prostu indukcyjność dławika była równa 3,2mH.

W przypadku, gdy układ ma współpracować ze świetlówką 8W lub nawet 4W, indukcyjność dławika powinna być nieco większa, to jest 3,6mH. Dla takiej wartości liczba zwojów powinna wynieść 110.

Montaż i uruchomienie

Układ sterownika został zmontowany na jednostronnej płytce drukowanej o wymiarach 105x32mm. Widok mozaiki ścieżek przedstawiono na wkładce wewnątrz numeru, a rozmieszczenie elementów na rys. 4.

Przy lutowaniu elementów korzystamy z typowych reguł kolejności montażu. Układ scalony sterownika wygodnie jest umieścić w podstawce. Z uwagi na niewielką moc sterowanych świetlówek i wysoką sprawność sterownika, dla tranzystorów kluczujących T1 i T2 nie są wymagane radiatory. Posiadacze termistora PTC nie muszą montować elementów C6, C8, T4 oraz R3..R5. Zamiast tego montują zworę w miejscu kondensatora C8 i oczywiście termistor. Ponieważ element ten się nagrzewa, lutuje się go na długich wyprowadzeniach, tj. bez ich skracania i wygina w sposób pokazany na fotografii, tak aby znalazł się on nad dławikiem Dł3 i z dala od innych elementów.

Do uruchomienia sterownika wystarczy miernik uniwersalny (z pomiarem częstotliwości) i zasilacz warsztatowy. Pierwszym krokiem jest sprawdzenie pracy układu scalonego. W tym celu podajemy z zasilacza warsztatowego napięcie 15V podłączając zaciski równolegle do kondensatora C4.

Sprawdzamy obecność napięcia zmiennego na wyprowadzeniach 5,7 i mierzymy na nich częstotliwość kluczowania układu. Przełączenie pomiędzy fazą grzania i normalnej pracy najłatwiej jest zrealizować poprzez zwarcie kondensatora C6.

W następnym kroku podłączamy ten sam zasilacz do zacisków sieciowych i kontrolujemy polaryzację i obecność napięcia na kondensatorze filtrującym C3. Później podłączamy świetlówkę i włączamy układ do sieci - po krótkiej zwłoce świetlówka powinna się zaświecić. Gdy zapłon następuje natychmiast, można próbować zmniejszyć wartość kondensatora C8 do 4,7nF, co zwiększy częstotliwość grzania do 62kHz.

Ci z Czytelników, którzy dysponują multimetrem zdolnym do pomiaru przebiegów zmiennych w pasmie przekraczającym 60kHz mogą pokusić się o sprawdzenie i ewentualną korektę prądu płynącego przez lampę. Amperomierz należy włączyć szeregowo z dławikiem Dł3, a korekty można dokonać poprzez zmianę indukcyjności dławika bądź zmianę częstotliwości pracy układu za pomocą rezystora R7.

Przed zmianami warto się upewnić, czy napięcie sieci wynosi 220V - regulacja w przypadku gdy tak nie jest nie ma oczywiście sensu. Po zakończeniu uruchamiania pozostaje tylko porządnie skleić rdzeń dławika i zamknąć układ w obudowie

Świetlówki o większej mocy

Opisany układ sterownika można z powodzeniem wykorzystać do sterowania innymi świetlówkami o mocy nie przekraczającej 18W. Elementami podlegającymi zmianie będzie przede wszystkim wartość indukcyjności dławika Dł3. Wylicza się ją z dwóch pro-

WYKAZ ELEMENTÓW:

Rezystory

R1: 2,2Ω/2W drutowy lub termistor NTC 5Ω/1W
R2: 180kΩ/1W
R3: 24kΩ
R4: 3kΩ
R5: 5,6kΩ
R6: 33Ω/0,25W
R7, R10: 10kΩ
R9, R11: 22Ω/0,25W
R12, R13: 180kΩ/0,5W
R14: 4,7Ω/0,5W
R15: 100Ω
R16: 1kΩ
R17: 33kΩ
R18: 2,2Ω/0,5W

Kondensatory

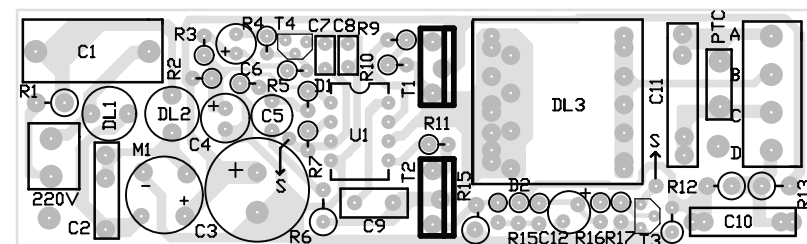
C1: 100nF/250V_{AC}
C2: 2,2nF/400V ceramiczny
C3: 10μF/350V
C4: 4,7μF/25V
C5: 470pF/630V
C6: 330μF/6,3V
C7: 1,5nF/63V foliowy
C8: 5,6nF/63V foliowy
C9: 100nF/63V
C10: 100nF/250V
C11: 3,9nF/1000V
C12: 2,2μF/25V

Półprzewodniki

D1, D2, D3: 1N4148
DZ1: BZY80C18
M1: okrągły 1A/400V
T1, T2: IRFIBC30, IRF820, IRF840
T3, T4: BC548
U1: L6569 (STMicroelectronics)

Różne

DL1, DL2: dławiki gotowe 100μH np. Polfer DSp70.10-101K
DL3: dławik 3,2mH/0,5A, rdzeń i karkas E20/6 — F807 (Polfer) lub EFD20 - 3F3 (Philips), uzwojenia i wykonanie według opisu w tekście
PTC: termistor PTC 150Ω, np. Cera-Mite 307C1407BHAB, SIEMENS B59150-J120-A20
Złącza ARK-5mm, trzy sztuki - podwójne, podstawka DIP-8 pod U1



Rys. 4. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej.

tych zależności. Na początku liczymy wartość potrzebnej reaktancji dławika:

$$XL = (310V - U_L) / (1,41 \cdot I_L)$$

$$L = XL / (2 \cdot \pi \cdot F)$$

gdzie U_L i I_L to nominalne napięcie i prąd świetlówki, a F to częstotliwość pracy.

Robert Magdziak, AVT