# Regulator oświetlenia do żarówek halogenowych

**Coraz większą popularność w naszych domach zyskuje oświetlenie z zastosowaniem żarówek halogenowych. Większość żarówek pracuje przy napięciu znamionowym 12 V. Niskie napięcie zasilania i prosta konstrukcja regulatora pozwala na wykonanie układu przez początkujących elektroników.**

Zasada działania żarówek halogenowych jest w zasadzie taka sama jak konwencjonalnych. Efekt emisji światła uzyskuje się przez podgrzanie wolframowego włókna żarówki przepływającym prądem elektrycznym. Włókno wykonane jest najczęściej w postaci podwój-

nej skrętki drutu wolframowego. Jasność świecenia dowolnej żarówki zależy w głównej mierze od wielkości i temperatury włókna. Te dwa parametry decydują o sprawności żarówki, czyli zamianie energii elektrycznej na świetlną. Zwiększenie strumienia świetlnego wysyłanego przez żarówkę uzyskuje się głównie przez zwiększenie wymiarów geometrycznych włókna. Natomiast temperatura włókna nie może być podniesiona powyżej pewnej granicy ze względu na szybki wzrost parowania rozgrzanego wolframu.

Parujące z włókna żarówki cząsteczki wolframu sublimują (przechodzą ze stanu gazowego do stanu stałego z pominięciem fazy ciekłej) na stosunkowo chłodnej powierzchni szklanej bańki żarówki. Osadzający się na bańce wolfram pogarsza odprowadzanie ciepła z włókna, a w konsekwencji wzrost temperatury. Ubytek wolframu i wzrost temperatury włókna prowadzą do przepalenia się żarówki. Z tego też względu bańka klasycznej żarówki jest dość duży, aby zmniejszyć możliwość sublimowania wolframu. W żarówkach miniaturowych stosowanych w samochodach można wyraźnie zaobserwować zjawisko osadzania się wolframu na ściankach bańki. Po długotrwałej eksploatacji bańki tych żarówek są przyciemnione.

Badania mające na celu podniesienie sprawności, poprzez zwiększenie temperatury włókna, doprowadziły do powstania żarówek halogenowych. W żarówkach tych do wolframowego włókna do dano halogeny. Halogeny lub chlorowce są to pierwiastki średnio wartościowe o charakterze typowo niemetalicznym. Zalicza się do nich fluor, chlor, brom, jod, astat. Tworzą one z metalami typowe sole, w których występują w postaci prostych jonów jednoimiennych. Do wolframowego włókna żarówki najczęściej dodawane są związki bromu $CH_2Br_2$ lub HBr, znacznie zmniejszające parowanie wolframu. Pozwala to na podniesienie temperatury włókna w stosunku do żarówki tradycyjnej. Konsekwencją tego jest wzrost wydajności świetlnej, przy zachowaniu podobnej trwałości. Dalsze zmniejszenie parowania wolframu jest możliwe przez zwiększenie ciśnienia gazowych związków bromu wypełniających bańkę żarówki. W efekcie otrzymano żarówkę o większej sprawności i bardzo małych wymiarach. Zachowana przy tym została jej żywotność.

Strumień świetlny wysyłany przez żarówkę halogenową jest około 1,5÷2 razy większy niż w przypadku żarówki klasycznej o takiej samej mocy pobieranej ze źródła prądu. Wyższa temperatura włókna żarówki i zawartość halogenów powoduje , że barwa emitowanego światła jest jaśniejsza, bardziej zbliżona do światła słonecznego. Wzrost temperatury włókna uzyskano dzięki większej "masywności". Sprawia to, że zapalanie i gaszenie żarówki jest wolniejsze, bardziej płynne. Ponadto wyższa bezwładność termiczna włókna zmniejsza pulsację 100 Hz strumienia świetlnego. Powyższe czynniki sprawiają, że światło żarówek halogenowych mniej męczy wzrok.

Wadami żarówek halogenowych jest bardzo wysoka temperatura bańki, co wymusza stosowanie specjalnych porcelanowych opraw i przewodów w izolacji silikonowej, odpornych na wysoką temperaturę. Dodatkowo dla większości żarówek o mocach ok. 20÷200 W konieczne jest stosowanie transformatorów obniżających napięcie sieci do 12 V. Żarówki o dużych mocach rzędu rzędu 300÷2000 W produkowane są na napięcie 220 V. Niestety żarówki halogenowe są droższe od klasycznych, a konieczność stosowania transformatora podnosi dodatkowo koszt ich instalacji.

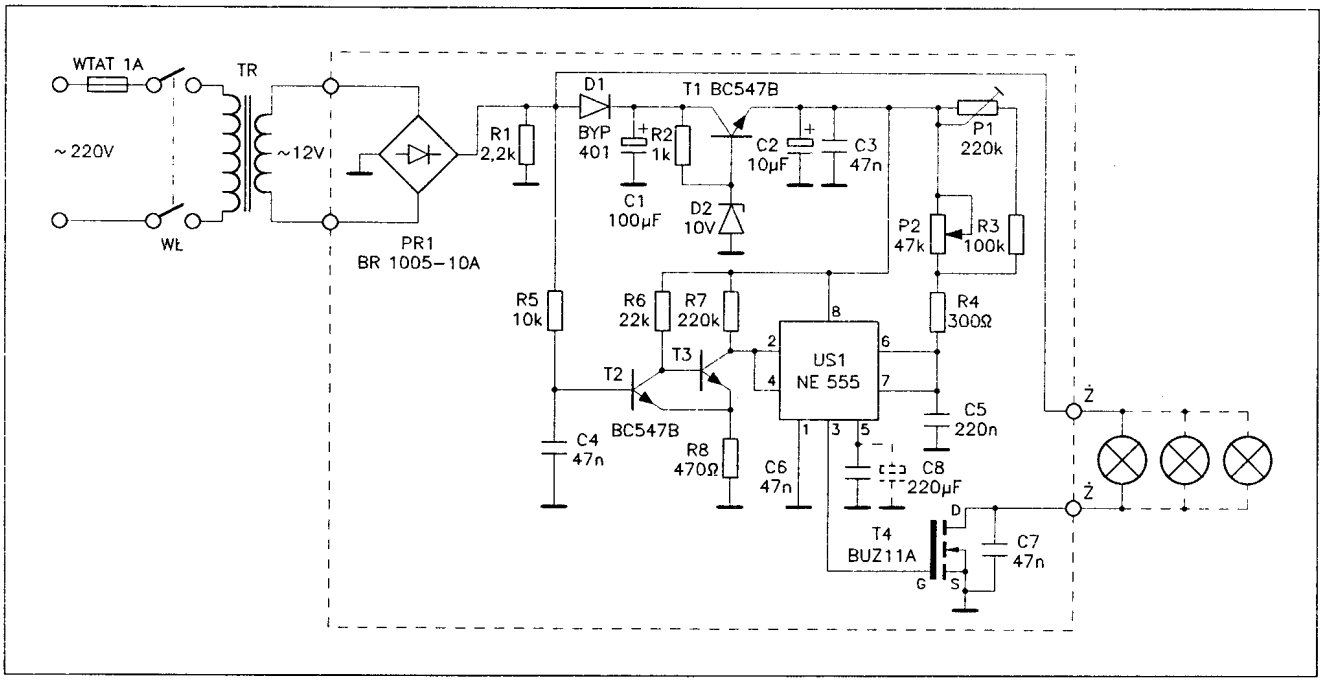
Przy omawianiu żarówek halogenowych należy zwrócić uwagę na duże prądy płynące przez włókno żarówki zarówno w chwili zapalania (kiedy włókno jest zimne), oraz podczas normalnej pracy. Dla żarówki o mocy 50 W prąd udarowy w chwili włączenia może wynosić ok. 40 A. W praktyce jest on nieco mniejszy na wskutek spadków napięcia na transformatorze, przewodach zasilających i połączeniach w oprawce. Prąd znamionowy żarówki 12 V/50 W wynosi 4,17 A. Wartość prądu 4,17 A odpowiada mocy 917 W pobieranej przez urządzenie elektryczne zasilane napięciem 220 V. Duże wartości prądów wymagają stosowania dużych średnic przewodów pomiędzy transformatorem, a żarówką (Cu min 2,5 $mm^2$). Nawet minimalny spadek napięcia na przewodach zasilających będzie powodował wyraźny spadek jasności świecenia żarówki, której włókno ma rezystancję 2,88 Ω. Włączanie zasilania powinno odbywać się po stronie pierwotnej transformatora.

Na zakończenie jeszcze jedna, bardzo ważna uwaga. W żarówkach halogenowych nie wolno pod żadnym pozorem dotykać palcami szklanej bańki żarówki. Po dotknięciu na bańce zostaje tłuszcz, który w wysokiej temperaturze spala się. Może to doprowadzić do przepalenia żarówki, lub pęknięcia bańki. Jeżeli jednak dotknięto palcami żarówkę koniecznie trzeba ją dokładnie umyć czystym spirytusem (nie wolno stosować żadnych kosmetyków na bazie spirytusu). Dotknięcie świecącej się żarówki grozi silnym poparzeniem.

## Opis układu

Jak już wcześniej wspomniano większość żarówek halogenowych zasilana jest z transformatora napięciem 12 V. Regulacja jasności świecenia możliwa jest zatem zarówno po stronie pierwotnej jak i wtórnej transformatora. Drugie rozwiązanie jest jednak lepsze. Po pierwsze mamy do czynienia z napięciem bezpiecznym, a po drugie indukcyjność uzwojenia wtórnego transformatora jest mniejsza, dając w efekcie mniejsze zakłócenia radioelektryczne wprowadzane przez regulator. Trzecim elementem przemawiającym za regulacją po stronie wtórnej jest lepsza sprawność transformatora w takim układzie pracy.

Schemat regulatora przedstawiono na rysunku 1. W urządzeniu zastosowano fazową regulację mocy. Jako element wykonawczy (klucz) wykorzystano tranzystor mocy N-MOS typu BUZ 11A. Nadaje się on doskonale do tego celu z uwagi na bardzo niską rezystancję $R_{DS(on)}$. W tabeli 1 zestawiono najważniejsze parametry tranzystora BUZ 11A.




**Rys. 1 Schemat ideowy regulatora żarówek halogenowych**

**Tabela 1 Parametry tranzystora BUZ 11A** ($T_{case} = 25^oC$)

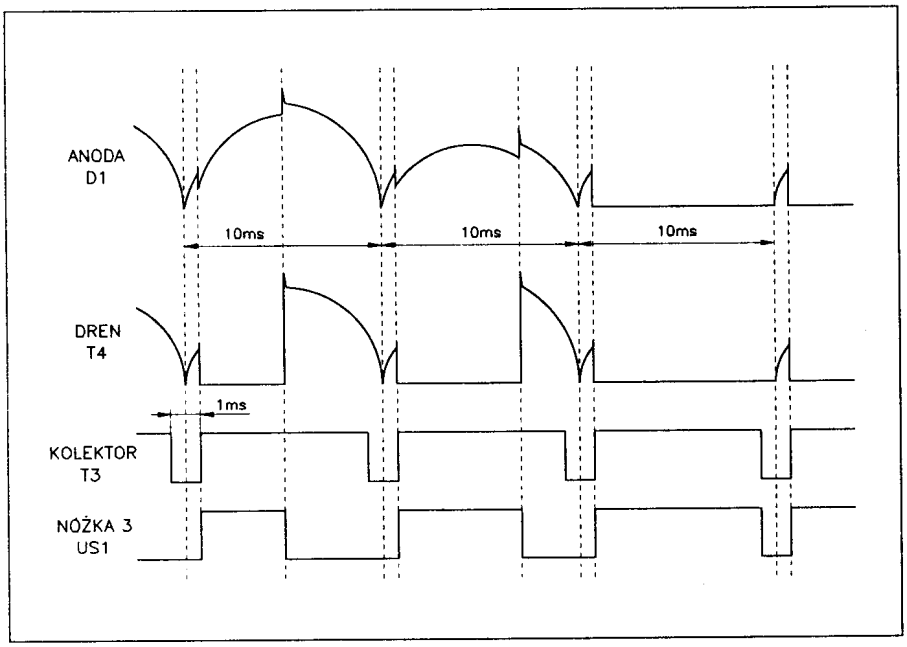
| Parametr | Oznaczenie | Wartość | Miano |
|---|---|---|---|
| Maksymalne napięcie: | | | |
| Dren-Źródło ($V_{GS} = 0$ V) | $V_{DS}$ | 50 | V |
| Bramka-Dren ($R_{GS} = 20$ kΩ) | $V_{DGR}$ | 50 | V |
| Bramka-Źródło | $V_{GS}$ | ±20 | V |
| Max. prąd drenu (ciągły) | $I_D$ | 27 | A |
| Max. prąd drenu (w impulsie) | $I_{DM}$ | 108 | A |
| Moc strat | $P_{tot}$ | 90 | W |
| Max. temperatura złącza | $T_j$ | 175 | °C |
| Prąd zerowy drenu dla $V_{DS} = 50$ V, $V_{GS} = 0$ V | $I_{DSS}$ | 250 | μA |
| Prąd upływu bramki dla $V_{GS} = \pm 20$ | $I_{GSS}$ | ±100 | nA |
| Rezystancja włączenia dla $V_{GS} = 10$ V, $I_D = 15$ A | $R_{DS(on)}$ | 0,055 | Ω |
| Pojemność wejściowa dla $V_{DS} = 25$ V, f=1 MHz, $V_{GS} = 0$ V | $C_{iss}$ | 900 | pF |
| Czas włączania* | $t_{d(on)}$ | 45 | ns |
| Czas wyłączania* | $t_{d(off)}$ | 300 | ns |

* – dla $V_{DD} = 30$ V, $I_D = 3$ A, $R_{GS} = 50$ Ω, $V_{GS} = 10$ V

W tranzystorze BUZ 11A umieszczona jest dioda zwrotna której katoda połączona jest z drenem, a anoda ze źródłem. Parametry diody są identyczne jak tranzystora $I_{Dmax} = 27$ A dla pracy ciągłej, $I_{Dmax} = 108$ A w impulsie. Spadek napięcia na diodzie w kierunku przewodzenia wynosi 2,5 V przy prądzie 54 A.

Napięcie zmienne 12 V z transformatora doprowadzone zostaje do prostownika Graetza PR1. Na wyjściu prostownika otrzymuje się połówki sinusoidy o częstotliwości 100 Hz. Przebieg ten zostaje doprowadzony do przerzutnika Schmitta zbudowanego na tranzystorach T2 i T3. Zadaniem tego układu jest wytworzenie ujemnych szpilek (rys. 2) pojawiających się na kolektorze T3 synchronicznie z przejściami napięcia zmiennego przez zero. Konieczność zastosowania przerzutnika Schmitta wynika z małej, wynoszącej tylko 17 V, amplitudy przebiegu. Ponadto przerzutnik poprawia kształt szpilek synchronizujących układ. Rezystor R1 umieszczony pomiędzy wyjściem prostownika PR1, a masą zapewnia "zejście" napięcia zmiennego do zera, co jest niezbędne dla prawidłowej pracy przerzutnika. Rezystor R5 wraz z kondensatorem C4 tworzą filtr dolnoprzepustowy poprawiający stabilność położenia impulsu synchronizującego względem zera sieci.

Ujemne szpilki synchronizujące wyzwalają tajmer 555 (US1), który generuje impulsy włączające tranzystor T4. Szerokość impulsów, a wiec i czas włączenia tranzystora T4 regulowana jest potencjometrem P2. Zakres regulacji pokrywa cały okres przebiegu tj. od 0 do 9 ms, umożliwiając pełne wygaszenie i zapalenie żarówki, ze wszystkimi stanami pośrednimi. Dodatkowe połączenie wejścia wyzwalającego (nóżka 2 US1) z wejściem zerującym (nóżka 4 US1) zapobiega niekontrolowanemu włączeniu tranzystora T4 na czas dłuższy niż okres napięcia na wyjściu prostownika. Potencjometr P1 przeznaczony jest do ustawienia szerokości impulsu wyjściowego na 9 ms, przy maksymalnym skręceniu potencjometru P2 w prawo (odpowiada to maksymalnej rezystancji P2).



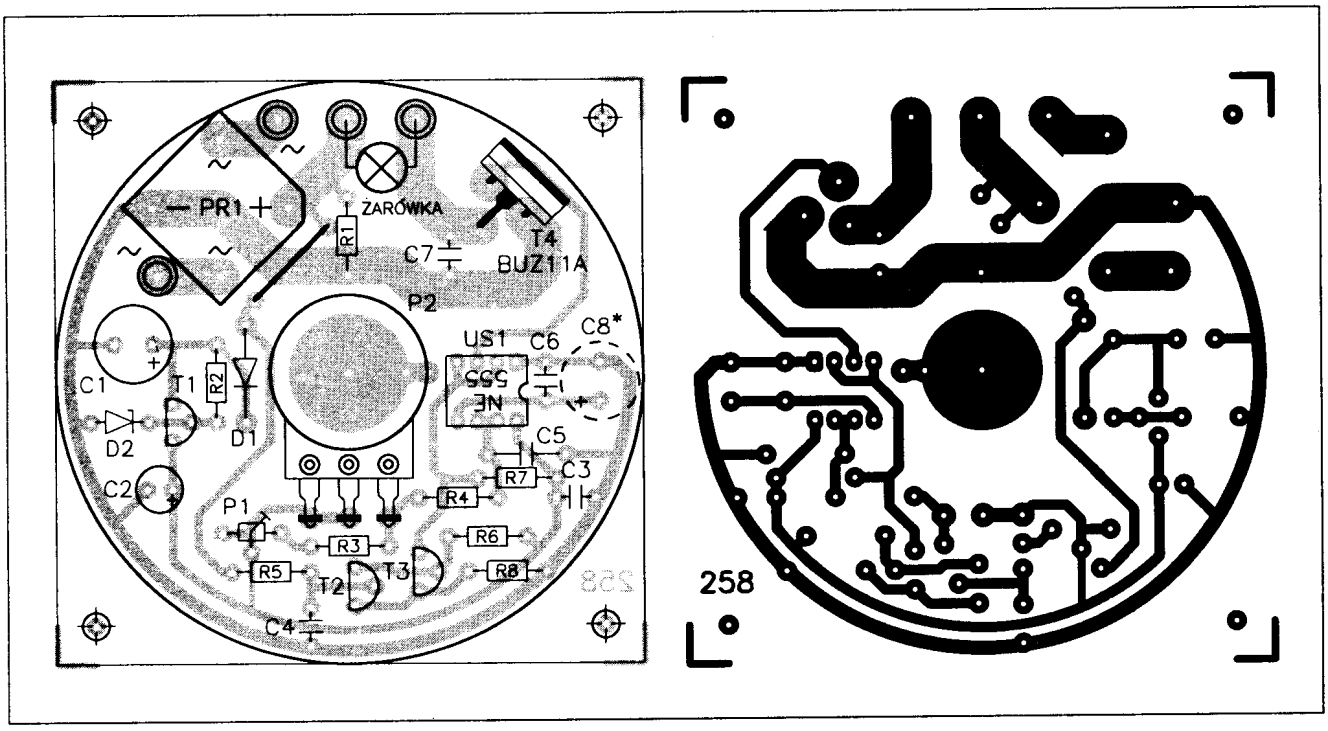

**Rys. 2 Przebiegi w punktach układu**

Czasy włączania i wyłączania tranzystora T4 są bardzo krótkie (patrz tabela 1), co wraz z małą rezystancją włączenia sprawia, że straty mocy w tranzystorze są minimalne i nie wymaga on stosowania radiatora. Warunkiem krótkiego czasu włączania i wyłączania T4 jest jednak szybkie przeładowywanie dużej (rzędu 900 pF) pojemności wejściowej bramki tego tranzystora. Wymóg taki spełnia układ tajmera 555, który posiada wyjście przeciwsobne. Warto o tym pamiętać przy konstruowaniu przetwornic, lub innych układów impulsowych w których stosuje się tranzystor BUZ 11A lub typ podobny.

W układzie przewidziano możliwość płynnego włączania żarówki. W tym celu równolegle z kondensatorem C6 włącza się dodatkowy kondensator C8 o pojemności 220÷2200 $\mu$F/16 V. W przypadku zamontowania kondensatora C8, po włączeniu zasilania żarówka zapali się płynnie, aż do osiągnięcia jasności ustawionej potencjometrem P2. Czas rozświetlania się żarówki będzie tym dłuższy im większa jest pojemność kondensatora C8.

Tajmer 555 i przerzutnika Schmitta zasilane są z prostego stabilizatora parametrycznego, dostarczającego napięcia 9,5 V. Dioda D1 zapobiega rozładowywaniu się kondensatora C1 podczas zmniejszania się napięcia na wyjściu prostownika PR1.

Na rysunku 2 zamieszczono przebiegi w różnych punktach układu. Stanowi wysokiemu na nóżce 3 US1 odpowiada włączenie tranzystora T4. W czasie kiedy tranzystor jest włączony napięcie na wyjściu prostownika PR1 nieznacznie spada. Spowodowane to jest wzrostem spadku napięcia na diodach prostownika i niewielkim spadkiem napięcia na wyjściu transformatora w czasie kiedy żarówka pobiera prąd. Przebiegi narysowano dla kilku różnych jasności świecenia żarówki. Pierwszy z nich odpowiada około połowie jasności maksymalnej, drugi ok. 1/4 jasności maksymalnej, a trzeci pełnemu włączeniu żarówki.




**Rys. 3 Płytka drukowana i rozmieszczenie elementów**

Przy zastosowanych elementach układ pozwala na regulację jasności świecenia jednej, lub kilku żarówek o łącznej mocy 100 W. Po zastosowaniu prostownika PR1 o większym prądzie znamionowym moc żarówek może zostać zwiększona do 200 W.

## Montaż i uruchomienie

Płytkę drukowaną zaprojektowano w kształcie koła, umożliwiając zamontowanie jej nad transformatorem zasilającym np. w podstawie lampy. Potencjometr P1 montowany jest po stronie elementów płytki, tak aby oś wychodziła od strony druku. Pozwala do na zmniejszenie wysokości całego urządzenia.

Grube ścieżki doprowadzające napięcie do prostownika PR1 i tranzystora T4 należy dodatkowo pokryć warstwą cyny, lub przylutować na nich kawałki srebrzanki o średnicy $\phi$0,8 mm. Zmniejszy to rezystancję doprowadzeń. Do połączenia płytki z transformatorem i żarówką należy zastosować przewody o miedziane o dostatecznie dużym przekroju min 2,5 mm$^2$.

Urządzenie nie wymaga specjalnego uruchamiania. Potencjometr montażowy P1 ustawia się w takiej pozycji, aby maksymalne rozjaśnienie żarówki występowało w chwili gdy potencjometr P2 skręcony jest w prawo do oporu. Jeżeli przy skręconym w prawo do oporu potencjometrze P2 żarówka nie świeci pełną jasnością, oznacza to, że wartość rezystancji potencjometru P1 jest zbyt mała. Natomiast w przypadku osiągania maksymalnej jasności przed maksymalnym skręceniem potencjometru P2 należy zwiększyć wartość rezystancji P1.

**Wykaz elementów**

| | |
|---|---|
| US1 | – NE 555 (LM 555) |
| T1÷T3 | – BC 547B (BC 238B) |
| T4 | – BUZ 11A |
| D1 | – BYP 401-50÷1000 (1N4001÷4007) |
| PR1 | – BR 1005 (50 V/10 A) |
| R4 | – 300 Ω/0,125 W |
| R2 | – 1 kΩ/0,125 W |
| R1 | – 2,2 kΩ/0,125 W |
| R5 | – 10 kΩ/0,125 W |
| R6 | – 22 kΩ/0,125 W |
| R3 | – 100 kΩ/0,125 W |
| R7 | – 220 kΩ/0,125 W |
| P1 | – 220 kΩ TVP 1232 |
| P2 | – 47 kΩ-A PR 185 lub podobny |
| C3, C4, C6, C7 | – 47 nF/50 V ceramiczny |
| C5 | – 220 nF/100 V MKSE-018-02 |
| C2 | – 10 $\mu$F/25 V 04/U |
| C1 | – 100 $\mu$F/16 V 04/U |
| C8 | – 220÷2200 $\mu$F/16 V 04/U |

płytka drukowana **numer 258**

Płytki drukowane wysyłane są za zaliczeniem pocztowym. Płytki można zamawiać w redakcji PE. Cena: 2,55 zł (25.500 zł) + koszty wysyłki. Podzespoły elektroniczne można zamawiać w firmie LARO – patrz IV strona okładki.

◇ mgr inż. Dariusz Cichoński