

# Układ przedłużający czas życia żarówki

*Odpowiedź na pytanie, jak często znajdowaliśmy się w pokoju pogrążonym nagle w ciemności - ponieważ przepaliła się żarówka - brzmi „raczej rzadko, a nawet wcale”. Jest tak dlatego, że żarówki przepalają się najczęściej w chwili zapalania światła, a nie po jakimś czasie od jego włączenia. Zjawisko to nie jest jednym z przejawów prawa Murphy’ego, a można je wyjaśnić analizując działanie włókien żarowych.*

## Gorące włókno

Jak zapewne wie większość Czytelników, głównym elementem żarówki jest włókno żarowe (najczęściej wolframowe) zamknięte w szklanej bańce. Gdy przez włókno przepływa prąd o dużym natężeniu, nagrzewa się ono do wysokiej temperatury i świeci prawie białym światłem. Niestety, wysoka temperatura powoduje także powolne odparowywanie włókna, a ponieważ proces ten nie odbywa się równomiernie na całej długości włókna, w miarę eksploatacji w pewnych miejscach staje się ono cieńsze niż w innych. W miejscach tych rezystancja włókna jest większa, czemu towarzyszy większe wydzielanie mocy, lokalnie wyższa temperatura, a więc większa intensywność parowania włókna. Pomimo to producenci zapewniają, że włókno żarowe posiada dostateczną średnicę, by mogło działać przez 1000 godzin, gwarantowane w przypadku większości żarówek używanych w gospodarstwach domowych.

## Czas życia

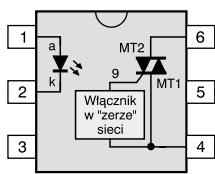
Najistotniejszym czynnikiem określającym czas życia żarówki nie jest jednak szybkość parowania włókna, a liczba włączeń zimnego włókna. Temperaturowy współczynnik rezystancji włókna żarowego jest dodatni, co oznacza, że w miarę podgrzewania się włókna jego rezystancja rośnie. Przy pierwszym włą-

czeniu włókno jest jednak zimne, a jego rezystancja jest mała. W takiej sytuacji nie jest rzadkością, że natężenie prądu płynącego przez żarówkę 10-krotnie przekracza natężenie nominalne. Włókno ma małe rozmiary i jego bezwładność cieplna jest mała, tak więc w ciągu kilku cykli napięcia sieciowego natężenie prądu spada do wartości nominalnej, niemniej jednak przez ten czas zdążą powstać uszkodzenia.

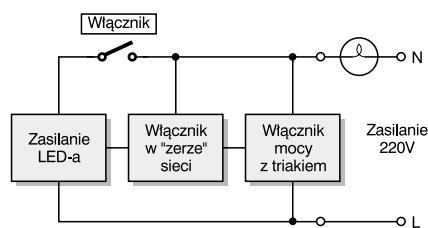
Gdy już osłabione włókno żarowe zostanie poddane silniejszemu napięciu w najslabszym punkcie, to przepływ prądu o dużym natężeniu może spowodować przerwanie włókien i przepalenie żarówki. Nie nastąpiłoby to przy natężeniu prądu przepływającego przez włókno żarowe znajdujące się w normalnej temperaturze pracy. To wyjaśnia, dlaczego żarówki najczęściej przepalają podczas włączania, nie zaś później. Jeśli więc uda się ograniczyć napięcie związane z włączaniem, można będzie przedłużyć czas życia żarówki.

## Ściemniacz

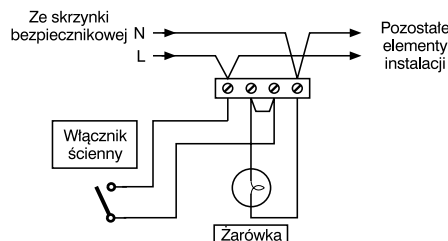
Jednym ze sposobów pozwalających wydłużyć czas życia żarówek jest podgrzanie włókna żarowego przez przepuszczanie prądu o niewielkim natężeniu w okresie, gdy żarówka jest wyłączona. Sposób ten jest często wykorzystywany w sytuacjach,



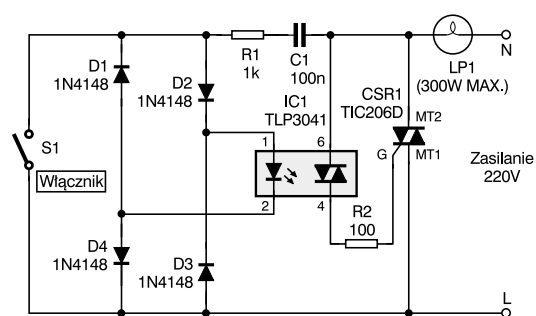
Rys. 1. Budowa optotriaka.



Rys. 2. Schemat blokowy urządzenia przedłużającego czas życia żarówki.



Rys. 3. Domowa instalacja oświetleniowa (a) i występujące w niej rozkłady napięcia (b).



Rys. 4. Schemat układu przedłużającego czas życia żarówki.

w których żarówki są wciąż włączane i wyłączane, np. w przypadku świateł na skrzyżowaniach, gdzie koszt wymiany żarówek znacznie przewyższyłby koszt dodatkowo zużytej energii elektrycznej.

W gospodarstwach domowych, gdzie żarówki są na ogół przez większą część dnia wyłączone i zostają włączone na kilka godzin wieczorem, rozwiązanie takie byłoby trudne do przyjęcia, ponieważ koszty dodatkowo zużytej energii elektrycznej przekroczyłyby koszty wymiany żarówek.

Inny sposób polega na stopniowym doprowadzaniu żarówek do świecenia z pełną jasnością. Wymaga on zastosowania ściemniacza. Niestety, urządzenia takie generują silne zakłócenia wysokoczęstotliwościowe, których stłumienie wymaga zastosowania dość drogich dławików. Można także zastosować zwykły potencjometr, który umożliwi regulację jasności świecenia.

W wielu sytuacjach ściemniacz okazuje się rozwiązaniem niewłaściwym i zbyt kosztownym, a także niewygodnym w eksploatacji. Aby uzyskać pełne oświetlenie, zamiast prostego naciśnięcia przełącznika trzeba obrócić potencjometr, a układ elektroniczny, który mógłby tego dokonać w sposób automatyczny, jest drogi i złożony.

Oczywiście, włączanie będzie odbywać się nadal za pośrednictwem włącznika niezależnego od potencjometru, jeśli jednak ściemniacz byłby pozostawiony w pozycji maksymalnej jasności, po włączeniu także popłynie prąd o bardzo dużym natężeniu. W takiej sytuacji nie należałoby oczekiwać istotnego wydłużenia czasu życia żarówki.

### Włączanie przy przejściu przez zero

Największe natężenie prądu występuje wtedy, kiedy w momencie włączenia żarówki napięcie sieciowe przyjmuje wartość maksymalną, co przydarza się 100 razy w ciągu sekundy przy sieci 50Hz. Gdyby doprowadzić do sytuacji, w której - bez względu na moment

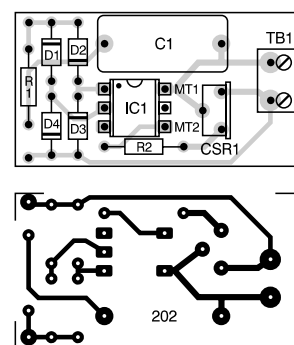
użycia włącznika - żarówka byłaby włączana wtedy, kiedy napięcie na niej byłoby zerowe lub przynajmniej bardzo małe, wtedy natężenie przepływającego po włączeniu prądu byłoby także bardzo małe. Umożliwiłoby to podgrzanie się włókna przez pierwszą jedną czwartą część okresu poprzedzającego najbliższe maksimum sieci. Mógłby wtedy nastąpić znaczący wzrost rezystancji włókna, który doprowadziłby do znacznego ograniczenia natężenia prądu, a w dalszej konsekwencji do wydłużenia czasu życia żarówki. W takim przypadku nie dochodziłoby również do generacji zakłóceń a wszystkie dławiki i kondensatory stałyby się niepotrzebne. Rozmiary układu mogłyby być zredukowane i można byłoby umieścić go w niewielkiej obudowie, wygodnej do zastosowania w gospodarstwie domowym.

### Isolacja

Przedstawiany układ wykorzystuje specjalny (choć łatwo dostępny) element - optotriak, zapewniający włączenie w momencie przejścia przemiennego napięcia zasilającego przez zero. Element ten - TLP3041 - zawiera diodę LED oraz fototriak, zamknięte w 6-nóżkowej obudowie (rys. 1).

Optotriak jest zazwyczaj wykorzystywany w przekaźnikach zasilających urządzenia sterowane przez komputery lub układy logiczne, w sytuacjach gdzie wymagana jest izolacja galwaniczna obwodu sieciowego i niskonapięciowego układu sterującego.

Optotriak może zostać włączony po zaświeceniu diody LED. W przypadku napięć przemiennych, z którymi zazwyczaj optotriak pracuje, zostaje on wyłączony w momencie spadku natężenia prądu przemiennego (sie-



Rys. 5. Mozaika ścieżek druku i rozmieszczenie elementów na płycie układu przedłużającego czas życia żarówki.

ciowego) do zera, co następuje pod koniec każdej połówki cyklu sieci 50Hz.

W przedstawianym zastosowaniu izolacja galwaniczna nie jest szczególnie istotna, ponieważ obie jego części są zasilane napięciem sieciowym. Element TLP3041 ma jednak jeszcze jedną cechę - bardzo cenną z punktu widzenia naszego zastosowania - a mianowicie zawiera układy, które sprawiają, że włączenie optotriaka może nastąpić tylko wtedy, kiedy wartość napięcia między jego wyprowadzeniami nie przekracza 40V, bez względu na to czy dioda LED świeci, czy też nie. Na pierwszy rzut oka wydaje się, że 40V znacznie różni się od 0, należy jednak pamiętać, że jest to wartość maksymalna i w przypadku większości elementów będzie ona mniejsza. 40V to także znacznie mniej niż 325V, a tyle wynosi amplituda napięcia sieciowego, i tak działający układ powinien zapewnić znaczne wydłużenie czasu życia żarówki.

Tak więc wystarczy użyć tego samego włącznika do sterowania działaniem diody LED, a układ TLP3041 zapewni włączenie fototriaka przy napięciu sieciowym bliskim zero, jak to pokazuje schemat blokowy widoczny na rys. 2.

### Czy zero oznacza zero

Włączenie przy zerowym napięciu byłoby możliwe, gdyby było dostępne dodatkowe napięcie stałe, sterujące działaniem diody LED, ale niestety tak nie jest. Aby układ nadawał się do praktycznego wykorzystania, do jego zasilania musi wystarczyć standardowa

sieć dostępna w gospodarstwie domowym, ponieważ nikt nie będzie jej modyfikował tylko po to, by przedłużyć czas życia żarówek.

W typowej domowej instalacji elektrycznej przewody: gorący i masy są doprowadzone do kostki lampy sufitowej, którą para przewodów łączy z włącznikiem. Jeden z kontaktów włącznika jest połączony z przewodem gorącym, drugi zaś (przez żarówkę) z masą. W ten sposób włącznik i żarówka są połączone szeregowo, a na nie jest podane napięcie sieciowe. Oznacza to, że jeśli włącznik jest otwarty, odkłada się na nim całe napięcie sieciowe. Stosując odpowiedni ogranicznik prądu napięcie to można wykorzystać do zasilania niewielkiego układu sterującego pracą diody LED.

Zastąpienie włącznika triakiem nie zmienia sytuacji. Triak powinien być wyłączony przy zerowym napięciu sieciowym. Oznacza to jednak, że nie będziemy dysponować w tym momencie napięciem (jest przecież równe zero) i trzeba pogodzić się z tym, że triak nie zostanie włączony w momencie przejścia napięcia sieciowego przez zero, a nieco później, gdy napięcie wzrośnie do wartości zapewniającej przepływ przez diodę LED prądu o wystarczająco dużym natężeniu. Optotriak zostaje włączony przy natężeniu prądu diody LED wynoszącym około 10mA, a spadek napięcia na tej diodzie jest wtedy równy około 1,5V. Oczekiwanie na włączenie triaka nie będzie więc szczególnie długie, nie można jednak włączyć diody LED równolegle z wyprowadzeniami optotriaka. Po włączeniu triaka spadek napięcia wyniesie około 1V lub 2V, co nie powinno uszkodzić diody. Jeśli jednak włącznik zostałby zamknięty w momencie gdy wartość napięcia sieciowego będzie wysoka (np. 325V), dioda LED wyparuje w obłoczku dymu, zanim zdąży zaświecić. Natężenie prądu diody LED musi zostać ograniczone do 50mA, ponieważ tyle wynosi maksymalna, dopuszczalna wartość prądu diody. Narzucającym się sposobem ograniczenia natężenia prądu jest użycie szeregowego rezystora. Rezystancja 13kΩ ograniczy przy napięciu 325V natężenie prądu do około 25mA. W ta-

kiej sytuacji jednak natężenie prądu osiągnęłoby wartość 10mA, napięcie na diodzie i rezystorze musiałyby wzrosnąć do 130V. Do tego momentu oczywiście działa układ blokujący włączenie triaka poza obszarem bliskim 0V, a cały włącznik nigdy nie zostałby włączony. Nawet jeśli zaakceptujemy maksymalną wartość natężenia prądu 50mA i rezystancja szeregowego rezystora wyniesie ok. 6,8kΩ, natężenie prądu diody 10mA zostanie osiągnięte dopiero dla napięcia 68V, co oznacza, że natężenie prądu diody powodujące włączenie fototriaka pojawi się za późno - napięcie sieciowe znajdzie się już poza obszarem dopuszczalnego okienka wokół zera.

### Ograniczanie pojemnościowe

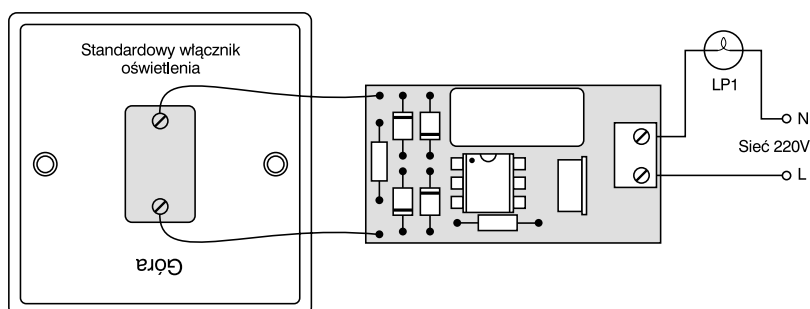
Na szczęście w przypadku zasilania napięciem przemiennym można do ograniczania natężenia prądu wykorzystać także kondensator. Kondensator posiada reaktancję  $1/(2\pi fC)$ , co w przypadku pojemności 100nF i częstotliwości 50Hz daje około 32kΩ i ogranicza natężenie prądu do około 10mA. Ten rezultat wydaje się na pierwszy rzut oka gorszy niż uzyskiwany w przypadku rezystora, należy jednak pamiętać, że kondensator - oprócz ograniczania natężenia prądu - wprowadza także przesunięcie fazowe 90°, o które prąd płynący przez pojemność wyprzedza powstające na niej napięcie. Gdy napięcie sieciowe przekracza zero, natężenie prądu będzie miało maksymalną wartość, czego właśnie potrzebujemy, by spowodować włączenie triaka. To jednak jeszcze nie wszystko - dioda LED świeci przecież tylko wtedy, gdy przyłożone do niej napięcie ma odpowiednią polaryzację, a więc dioda będzie świecić

tylko przez połowę cyklu. Trudność tę można pokonać wprowadzając do układu prostownik mostkowy, dzięki któremu dioda LED będzie zawsze przewodzić, bez względu na kierunek przepływu prądu przez kondensator. Użyte mogą zostać dowolne krzemowe diody sygnałowe - maksymalne natężenie prądu wyniesie przecież tylko około 10mA, a maksymalne napięcie wsteczne będzie równe napięciu przewodzenia diody LED, a więc około 2V.

### Rozwiązanie praktyczne

Rozwiązanie przedstawione na rys. 4 pozwoli na włączenie triaka, gdy napięcie na nim wyniesie około 40V. Przy takim napięciu energia zgromadzona w kondensatorze C1 jest wystarczająca, by doprowadzić do uszkodzenia optotriaka (układu IC1) po jego włączeniu, ponieważ nastąpi wówczas zwarcie kondensatora przez optotriak. Do układu dodano więc rezystor R1, którego zadaniem jest ograniczenie natężenia prądu płynącego przez optotriak. Rezystancja R1 jest znacznie mniejsza od reaktancji kondensatora C1, tak więc nie wpływa on na natężenie prądu płynącego przez diodę LED.

Maksymalne dopuszczalne natężenie prądu optotriaka (układu IC1) wynosi 100mA, co nie jest wartością wystarczającą w przypadku domowych urządzeń elektrycznych - odpowiada mocy tylko 25W. Optotriak został więc wykorzystany do włączania triaka mocy CSR1, włączającego żarówkę. Maksymalne natężenie prądu zastosowanego triaka wynosi 3A (jeśli jest on wyposażony w odpowiedni radiator), co odpowiada mocy 750W, i powinno być wystarczające do zasilania wszystkich domowych urządzeń oświetleniowych.



Rys. 6. Sposób podłączenia układu przedłużającego czas życia żarówki do instalacji oświetleniowej.

Układ jest połączony z przełącznikiem S1 sterującym pracą diody LED przez prostownik mostkowy z diodami D1..D4. Dioda LED będzie świecić, gdy przełącznik będzie otwarty, gdy zaś będzie zamknięty, dioda będzie wyłączona. Rozwiązanie takie zastosowano chcąc zapobiec impulsowi prądu o dużym natężeniu, który popłynąłby przez kondensator C1, gdyby włącznik umieszczony był szeregowo z kondensatorem i został zamknięty przy kondensatorze rozładowanym lub naładowanym do napięcia o polaryzacji przeciwnej do chwilowej fazy przyłożonego napięcia sieciowego.

Kondensator i rezystor, ponieważ są połączone z końcówkami triaka, eliminują także wszelkie impulsy mogące wystąpić w napięciu sieciowym. Impulsy napięciowe mogą spowodować przewodzenie triaka albo przez przebicie, albo dzięki obecności pojemności między bramką i anodą. Nie doprowadzi to do uszkodzenia triaka, może jednak oznaczać jego włączenie w momencie cyklu różnym od przejścia przez zero, a tego właśnie chcemy uniknąć stosując omawiany układ.

Przez układ cały czas płynie prąd o niewielkim natężeniu (nawet gdy jest wyłączony), jednak moc tracona w ten sposób jest znikoma, podobnie jak związany z tym koszt.

Jak już wspomniano, przy zastosowaniu układu włącznik oświetlenia pracuje odwrotnie, tj. włącza światło w pozycji „wyłączone“ i vice versa. Włącznik ten można zamontować odwrotnie i wszystko wróci do normy.

## Wykonanie

Ponieważ liczba użytych elementów jest niewielka, wykonanie układu nie powinno nastęrczać żadnych trudności. Aby układ można było łatwo zamontować w obudowie włącznika oświetlenia, jego rozmiary winny być niewielkie, a więc zalecane jest użycie płytki drukowanej, przedstawionej na rys. 5.

Wykorzystanie płytki uniwersalnej być może byłoby tańsze, ale wstawienie takiej płytki do obudowy włącznika mogłoby sprawiać trudności. Zmontowany na proponowanej płytce układ wraz

ze złączką przewodową ma wymiary 4x2x2 cm i może zostać umieszczony w obudowie dowolnego włącznika oświetlenia.

Parametry diod i rezystorów nie są krytyczne, natomiast kondensator i triak pracują pod napięciem sieciowym i muszą mieć odpowiednie parametry. Można użyć dowolnego triaka o napięciu 400V, a zaproponowany w wykazie elementów jest chyba najtańszy i najszerzej stosowany. Posiada drobną wadę, to jest brak izolacji radiatora, który trzeba zaizolować tak, by nie dotykał żadnych metalowych elementów wewnątrz obudowy włącznika. Można także zastosować triak z izolowanym radiatorem, zwłaszcza jeśli przewiduje się zastosowanie dodatkowego radiatora.

Triak bez radiatora powinien przełączać moc do około 300W, co powinno wystarczyć do większości zastosowań. Jeśli potrzebne są wyższe moce, należy zastosować triak o maksymalnym prądzie 8A, wyposażony w niewielki radiator.

Kondensator C1 musi być dostosowany do pracy z przemiennym napięciem sieciowym 250V. Większość kondensatorów ma podane parametry dla napięcia stałego, w związku z czym zwykły kondensator o maksymalnym napięciu 250V nie może być użyty, ponieważ napięcie sieciowe osiąga wartość 370V, a mogą się w nim pojawić impulsy znacznie wyższe. Nie należy używać nawet kondensatorów do pracy z napięciem stałym 400V.

Układ IC1 należy zamontować na podstawce, obcinając nie wykorzystywane wyprowadzenie 5.

## Optotriak

Typ użytego optotriaka jest bardzo ważny i można użyć tylko podanych w wykazie elementów, tj. TLP3041 lub MOC3041, włączanych przy przejściu przez zero napięcia. Na rynku dostępnych jest wiele transoptorów, wszystkie w 5 lub 6-nóżkowych obudowach, posiadające jako element wyjściowy tranzystor lub tyristor - wszystkie takie podzespoły ulegną zniszczeniu, jeśli zostaną użyte w omawianym układzie.

Wielu producentów oferuje optotriak MOC3020 w takiej samej

## WYKAZ ELEMENTÓW

### Rezystory

(0,25W, węglowe warstwowe)

R1: 1kΩ

R2: 100Ω

### Kondensatory

C1: 100nF/250V, poliestrowy, X-rated

### Półprzewodniki

D1..D4: 1N4148

CSR1: TIC206D

IC1: TLP3041 lub MOC3041

### Różne

Płytką drukowaną, złączka przewodowa podwójna, podstawka 6-nóżkowa, małe pudełko z tworzywa lub koszulka termokurczliwa (patrz tekst)

obudowie, ale element ten nie posiada układu zapewniającego włączanie przy zerowym napięciu zasilającym, w związku z czym nie nadaje się do przedstawianego zastosowania.

Należy także pamiętać, że oznaczenie MOC stosowane jest przez głównego producenta układu, natomiast te same elementy oferowane przez innych producentów mogą nosić inne oznaczenie. Układ MOC3040 jest niemal identyczny z MOC3041, jednak jego optotriak jest włączany przy nieco wyższym prądzie diody LED - podzespół ten może nadawać się do użycia w omawianym urządzeniu, ale nie zostało to sprawdzone.

Złączka przewodowa służy do połączenia płytki z żarówką (czyli dwoma przewodami wyprowadzonymi ze ściany). Włącznik należy połączyć z płytką lutując dwa przewody do punktów zaznaczonych na płytce (rys. 6). Może to być oryginalny włącznik lub każdy inny, ponieważ będzie przezeń płynął tylko prąd diody LED o niewielkim natężeniu. Włącznik ten powinien jednak zapewniać izolację.

## Instalacja

Po zakończeniu montażu układ należy dokładnie sprawdzić. Pamiętajmy o tym, że układ działa pod napięciem sieciowym 220V i wszelkie pomyłki mogą spowodować zniszczenie właśnie zbudowanego urządzenia!

**Układ pracuje pod napięciem sieci i nie wolno przeprowadzać**

na nim żadnych czynności, gdy jest pod napięciem. Przed przystąpieniem do montażu lub usuwania usterek należy wyłączyć odpowiedni bezpiecznik w skrzynce.

Po przetestowaniu i stwierdzeniu poprawnego działania układ należy zaizolować, by nie dotykał metalowych części obudowy włącznika. Najlepiej byłoby umieścić go w niewielkim pudełku z tworzywa sztucznego lub zalać żywicą (z wyjątkiem złączki przewodowej), można także umieścić go w kawałku termokurczliwej koszulki lub użyć zwykłej taśmy izolacyjnej.

Po zakończeniu powyższych czynności należy przystąpić do zainstalowania urządzenia. Dla zapewnienia bezpieczeństwa należy postępować zgodnie z następującymi zaleceniami:

1. Wybrać element oświetleniowy, z którym ma współpracować zainstalowane urządzenie.
2. Wyłączyć sieć w skrzynce bezpiecznikowej, wyjąć odpowiedni bezpiecznik i włożyć go do kieszeni.
3. Upewnić się, że wybrany element oświetlenia nie świeci.
4. Zdjąć włącznik.
5. Podłączyć dwa wyprowadzone ze ściany przewody do złączki przewodowej płytki (sposób podłączenia nie jest istotny).
6. Połączyć oba wolne przewody wychodzące z płytki z kontaktami włącznika i ponownie go zainstalować.
7. Wstawić bezpiecznik w gniazdo i włączyć sieć.

### Testowanie

Stosunkowo niewiele jest do sprawdzenia w zakresie funkcjonowania urządzenia oprócz tego, czy można włącznikiem włączyć oświetlenie czy nie, ponieważ wszystkie bardziej złożone operacje realizuje układ IC1. Jeśli oświetlenia nie można wyłączyć, oznacza to, że kontakty wyjściowe zostały zwarte lub że triak CSR1 jest uszkodzony.

Jeśli oświetlenia nie można włączyć, oznacza to, że prawdopodobnie błędnie wlutowano podzespoły, najpewniej diody D1 lub D4. Znacznie mniej prawdopodobne jest uszkodzenie elementu IC1 lub CSR1. Układ IC1 można

sprawdzić wyjmując z układu kondensator C1 i podłączając 9V baterię PP3 dodatnim biegunem do wolnego wyprowadzenia rezystora R1, ujemnym zaś do punktu L. Sposób doprowadzenia napięcia nie powinien mieć znaczenia, a zamiana końcówek pozwoli przekonać się, że diody D1 i D4 działają poprawnie.

Podczas tych prób włącznik powinien zostać odłączony lub pozostawiony w pozycji „wyłączone”. Po połączeniu urządzenia z instalacją oświetleniową należy pamiętać, że znajduje się ono pod napięciem sieciowym i nie wolno dotykać żadnych części układu.

Triak CSR1 można sprawdzić włączając przełącznik między wyprowadzenia 4 i 6 układu IC1 (optotriak). Zamykaniu przełącznika powinno towarzyszyć zapalanie światła, otwieraniu - jego gaśnięcie.

Stosunkowo trudno jest stwierdzić, czy układ poprawnie przełącza w chwili, gdy napięcie sieciowe przechodzi przez zero, ponieważ wymagałoby to przyłożenia napięcia sieciowego z inną fazą, np. odpowiadającą wartości maksymalnej. Ponieważ nie można tego dokonać manualnie, należałoby zbudować specjalny układ, a koszt i wysiłek włożone w jego budowę byłyby niewspółmiernie wysokie w porównaniu do korzyści, zważywszy że układ byłby wykorzystany tylko raz. Można jednak w inny sposób przekonać się, że układ włącza żarówkę przy przejściu przez zero napięcia sieciowego, opierając się na fakcie, że przełączanie w takich warunkach powoduje bardzo niewielkie zakłócenia wysokoczęstotliwościowe. Większość naszych Czytelników zapewne zauważyła, że włączeniu oświetlenia w pomieszczeniu, w którym pracuje odbiornik radiowy, towarzyszy słyszalny trzask w głośniku. Jest to spowodowane przełączeniem prądu, z czego wynika powstanie wielu harmonicznyc, sięgających zakresu MHz, które mogą zostać odebrane przez odbiornik. Ponieważ nasz układ przełącza przy przejściu napięcia sieciowego przez zero, przebieg prądu będzie jedynie zmieniał się sinusoidalnie wraz z napięciem, czemu nie będzie towarzyszyły

generacja harmonicznyc i nie będzie słycać trzasków w głośniku. Ponieważ w rzeczywistości układ przełącza przy napięciu nieco wyższym od zera, powstaną pewne zakłócenia, jednak o poziomie znacznie niższym niż przy włączaniu przypadkowym. Ponieważ połowa cyklu napięcia sieciowego trwa znacznie dłużej niż okres, w którym napięcie to jest bliskie zeru, prawdopodobieństwo włączenia żarówki w innym momencie niż przekraczanie przez napięcie wartości zerowej jest duże, tak więc po zamontowaniu włącznika bezpośrednio z triakiem, przy włączeniu powinny być słyszane głośne trzaski w głośniku. Można je porównać z efektami słyszalnymi przy włączaniu żarówki przy pomocy naszego układu - powinny być one znacznie, znacznie cichsze, jeśli w ogóle słyszalne.

### Długie fale, długi czas eksploatacji

Należy pamiętać, by podczas właśnie opisanego eksperymentu odbiornik radiowy włączony był na zakres fal długich, ponieważ wtedy właśnie jest najbardziej wrażliwy na zakłócenia o częstotliwościach radiowych. Nasz układ może generować w sposób ciągły zakłócenia o niskim poziomie, ponieważ w rzeczywistości przełącza nieco powyżej przejścia napięcia sieciowego przez zero, jednak efekty tego powinny być znacznie słabsze. Test ten nie jest oczywiście równoważny dokładnemu pomiarowi, może jednak pozwolić zorientować się, że układ przełącza w okolicy przejścia napięcia sieciowego przez zero i że natężenie prądu płynącego tuż po włączeniu jest dość małe.

Najlepsza jest jednak weryfikacja praktyczna. Przeprowadzenie dokładnego pomiaru zabrałoby zapewne bardzo wiele czasu, szybciej zaś zdamy sobie sprawę, że już od długiego czasu nie musimy wymieniać żarówki w lampie!

**Bart Trepak, EPE**

*Artykuł publikujemy na podstawie umowy z redakcją miesięcznika "Everyday Practical Electronics".*