



Powolny ściemniacz 220V

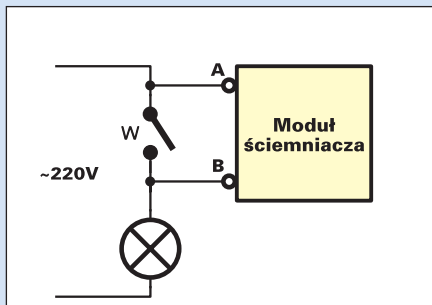


Do czego to służy?

W wcześniejszych numerach EdW przedstawione były dwa układy ściemniaczy czy też opóźniaczy wyłączenia żarówek samochodowych. Nadsyłane miniankiety wskazują, że Czytelnicy EdW są zainteresowani podobnym układem ściemniacza sieciowego, sterującego żarówkami na napięciu 220V.

Chodzi o to, by po rozwarciu styków zwykłego wyłącznika żarówka nie zgasała od razu, tylko zmniejszała swą jasność stopniowo w dłuższym czasie. Czytelnicy chcieliby zastosować taki układ na przykład w pokoju dziecinnym. Wieczorem, gdy dzieci mają iść spać, po rozwarciu styków wyłącznika opisywany układ elektroniczny stopniowo wygasi żarówkę w ciągu kilkadziesiąt sekund lub kilku minut. Układ miałby być też stosowany w wielu innych miejscach, na przykład do sterowania oświetlenia klatki schodowej czy zewnętrzne oświetlenia budynku.

Wykorzystaną ideę pokazuje **rysunek 1**. Dużą zaletą układu jest fakt, że ściemniacz jest dołączany tylko dwoma przewodami.



Rys. 1 Układ połączeń

Jak to działa?

Schemat ideowy układu pokazany jest na **rysunku 2**. Kluczową rolę pełni tu tyrystor Ty1 zasilany przez mostek D4...D7. Tyrystor ten jest sterowany fazowo.

Działanie układu może się wydać trudne do zrozumienia. W rzeczywistości jest dość proste – można je prześledzić porównując rysunki 1 i 2 z **rysunkiem 3**. Gdy wyłącznik W jest zwarty, żarówka świeci pełną jasnością. Co bardzo ważne, w tym czasie w układzie ściemniacza nie występuje żadne napięcie. Dopiero po rozwarciu wyłącznika w układzie ściemniacza pojawia się napięcie. Można się spodziewać, że po wyprostowaniu przez mostek D4...D7 na tyrystorze i układzie sterującym pojawiła się wyprostowana sinusoida (zaznaczona na rysunku 3a linią przerywaną). W rzeczywistości przebieg napięcia na tyrystorze będzie miał inny kształt. Przecież według założeń po rozwarciu wyłącznika W żarówka ma nadal świecić i pomału gasnąć. Pracą żarówki ma w tym czasie sterować tyrystor. Jeśli tyrystor zostanie otwarty, napięcie na nim spadnie (do ok. 1V), a pojawi się na żarówce.

Już tu widać, że także w pierwszej chwili po rozwarciu styku W tyrystor nie może zostać na stałe otwarty. Wtedy bowiem napięcie na przewodzącym tyrystorze byłoby rzędu 1V i zdecydowanie nie wystarczyłoby do zasilania układu wyzwalał tyrystora.

Trzeba było tak zaprojektować układ, by w pierwszej części każdego półokresu tyrystor był zatkany. Wtedy przez diodę D1 i rezystor R1 naładuje się kondensator C1. Będzie on źródłem zasilania dla obwodów sterowania z tranzystorami T1...T5. Natomiast w drugiej

części każdego półokresu tyrystor powinien zostać otwarty, by przez żarówkę popłynął prąd. Opóźnienie włączenia tyrystora powinno z czasem rosnąć, by żarówka stopniowo gasła.

Jak pokazuje zielona linia na rysunku 3a, w pierwszej chwili po rozwarciu styku W, dzięki diodzie D1 i małemu rezystorowi ograniczającemu R1, na kondensatorze C1 pojawi się znaczne napięcie, rzędu 120...200V. Elementy R2, D8, D9 tworzą prosty stabilizator zasilający obwody sterujące napięciem około 24V. Pusty kondensator C2 zacznie się pomału ładować przez rezystor R3, R4 i obwody bazy T1. Żółta dioda świecąca D3 pracuje tu w roli diody Zenera. W pierwszej fazie ładowania C2 ogranicza ona napięcie na bazie T1. Dzięki temu tranzystor T1, pracujący jako źródło prądowe, ładuje kondensator C3 prądem wyznaczonym przez napięcie na diodzie D3 (około 2V) i wartość R5. Tranzystor T2 jest wtedy zatkany. Kondensator C3 w ciągu około 2,5...4 milisekund ładuje się do napięcia przekraczającego 12V i wyzwala impulsator zbudowany z tranzystorów T4, T5. Gdy napięcie na C3 wzrośnie powyżej 12V, w pewnej chwili zacznie się otwierać tranzystor T5. Prąd kolektora T5 popłynie częściowo przez R8, a częściowo w obwodzie bazy T4, co otworzy T4. Z kolei prąd kolektora T4 jest w całości prądem bazy T5. Wystąpi więc bardzo silne dodatnie sprzężenie zwrotne. W rezultacie przez oba tranzystory T4, T5 popłynie znaczny prąd. Kondensator C3 rozładuje się przez R7, T4, T5 i obwód bramki tyrystora Ty1. Tyrystor zostanie otwarty i zacznie przewodzić prąd. Napięcie na nim spadnie do ok. 1V, a napięcie między punktami A, B do około

2...2,5V. Dzięki diodzie D1 napięcie na kondensatorze C1 nadal będzie duże, a na diodzie D8 cały czas będzie się utrzymywać napięcie rzędu 24V. Tyrystor, jak wiadomo, będzie otwarty do czasu, gdy przestanie przezeń płynąć prąd. Nastąpi to w chwili najbliższego przejścia napięcia sieci przez zero.

Tu należy koniecznie dodać, że kondensator C3 na początku każdego półokresu sieci jest całkowicie rozładowany przez tranzystor T2. Następuje to dzięki obwodowi R10...R12. Gdy napięcie na tyrystorze spadnie (czy to wskutek jego włączenia, czy podczas przejścia, napięcia sieci przez zero), napięcie na re-

zystorze R12 staje się na tyle małe, że przestaje przewodzić tranzystor T3. Wtedy otwiera się tranzystor T2 pod wpływem prądu bazy płynącego przez R6 i następuje szybkie rozładowanie C3. Gdy na początku każdego półokresu tyrystor się wyłącza, a napięcie sieci zaczyna rosnąć, tranzystor T3 się otwiera i blokuje T2, pozwalając na ładowanie C3 prądem tranzystora T1.

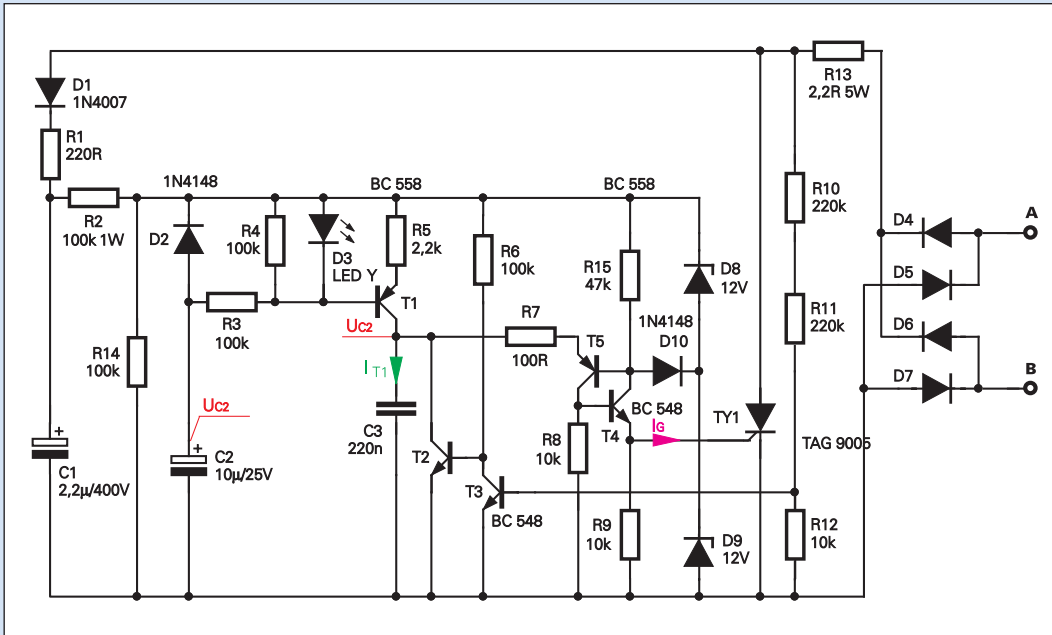
W tym czasie kondensator C2 pomału się ładuje. Z czasem napięcie na nim jest coraz większe, a napięcie na rezystorze R3, a także na R4, coraz mniejsze. Mniejsze napięcie na R4 to mniejszy prąd płynący przez T1, ładujący C3. Jeśli prąd ładowania C3 jest mniejszy, to naładowanie go do napięcia ponad 12V i wyzwolenie tyrystora będzie następować po czasie dłuższym niż wspomniane 4 milisekundy. Tyrystor będzie włączany na coraz krótszy czas. W końcu kondensator C2 będzie naładowany na tyle, że napięcie na R4 i prąd T1 nie wystarczą do naładowania C3 przed końcem danego półokresu i tyrystor nie będzie już wyzwolany. Żarówka stopniowo zgaśnie.

W tym czasie na tyrystorze będzie występować pełne (wyprostowane) napięcie sieci, jednak ze względu na mały (lub żaden) prąd ładowania C3, tyrystor nie będzie wyzwolany. Po naciśnięciu wyłącznika W żarówka znów zaświeci pełnym blaskiem. Wszystkie napięcia w układzie ściemniacza spadną do zera. Aby stosunkowo szybko rozładować kondensatory C1, C2 po zwarceniu wyłącznika W, przewidziano dodatkowy rezystor R14 i diodę D2. Bez nich kondensatory, zwłaszcza C2, rozładowywałyby się bardzo długo, a układ nie byłby gotowy do następnego cyklu płynnego wyłączania.

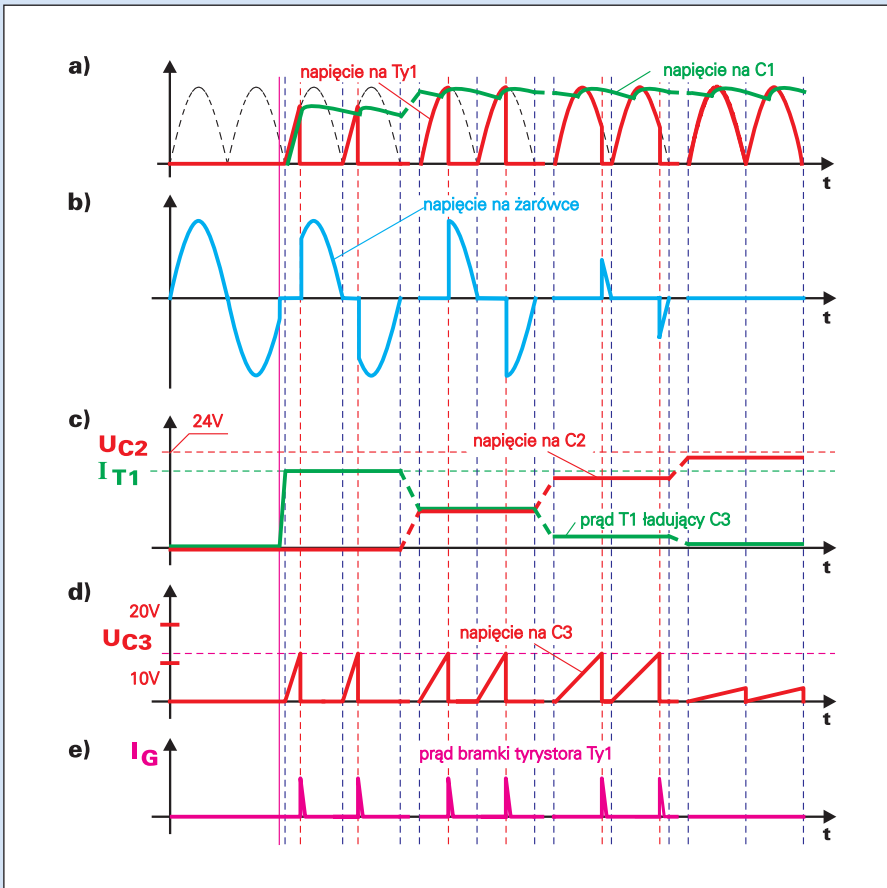
Jak wynika z podanego opisu, czas powolnego gaśnięcia żarówki wyznaczony jest głównie przez pojemność C2.

Można śmiało zmieniać wartość pojemności C2, by uzyskać potrzebny czas gaszenia. Trzeba tylko pamiętać, że przy dużych pojemnościach C2 układ powróci do stanu gotowości dopiero po dłuższym czasie, gdy C2 i C1 rozładują się przez R14.

Przedstawiany projekt nie jest przeznaczony dla początkujących. W układzie występują napięcia groźne dla życia i zdrowia. Osoby niepełnoletnie mogą go wykonać i uruchomić jedynie pod opieką wykwalifikowanych osób dorosłych.



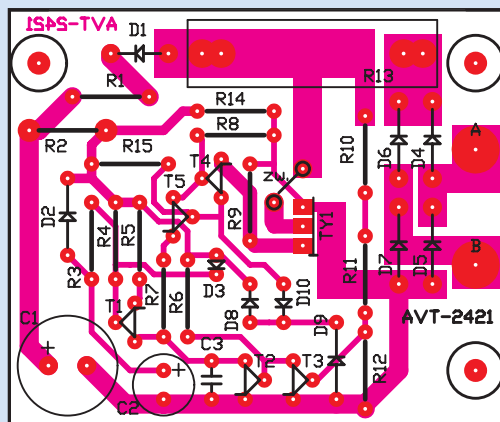
Rys. 2 Schemat ideowy



Rys. 3 Przebiegi w układzie

Montaż i uruchomienie

Układ można zmontować na płycie drukowanej, pokazanej na **rysunku 4**. Tym razem fotografia modelu nie będzie specjalnie użyteczna, ponieważ po serii testów układ został zmodyfikowany, a płytka w istotnej mierze zmieniona w stosunku do prototypu. Jednak montaż nie powinien nikomu sprawić trudności. Układ nie zawiera żadnych szczególnie wrażliwych elementów – mogą one być montowane w dowolnej kolejności. Praktyka pokazuje, że montaż warto zacząć od zwory i najmniejszych elementów: rezystorów i diod.



Rys. 4 Schemat montażowy

Układ zmontowany ze sprawnych elementów nie wymaga uruchamiania i od razu powinien poprawnie pracować (o ile tylko kondensator C2 nie jest nadmiernie rozformowany – zaformuje się pozostając jakiś czas pod napięciem). Urządzenie nie powinno sprawić żadnych kłopotów podczas montażu – pod tym względem zasługuje na co najwyżej jedną gwiazdkę. Stopień trudności został wyceniony na dwie gwiazdki z zupełnie innego powodu.

Po pierwsze taki układ połączony jest bezpośrednio z siecią energetyczną, i ze względu na ryzyko porażenia nie jest przeznaczony dla najmłodszych i początkujących. Po drugie jest to jedynie układ eksperymentalny o interesującej funkcji, a nie finalny produkt rynkowy. Układ umieszczony jest na dużej płytce, która nie jest przewidziana do jakiejś konkretnej obudowy. W układzie finalnym należałoby dodać ultraszybki bezpiecznik (taki z piaskiem) oraz filtr przeciwzakłóceńowy. Co prawda bezpiecznik, nawet bardzo szybki (z piaskiem w rurce) nie gwarantuje pełnej ochrony tyrystora, jednak w układach fabrycznych zwykle bywa stosowany.

Przeprowadzone próby wykazały, że przy niewielkiej mocy żarówki wytwarzane zakłócenia nie dają o sobie znać. Mimo wszystko, w układach sterowanych fazowo z zasady stosuje się takie filtry, choćby w postaci dławika i kondensatora.

Kto zechce prezentowany układ wykorzystać nie tylko do eksperymentów (np. w ramach szkolnej pracowni elektronicznej), powinien we własnym zakresie postarać się o zrealizowanie powyższych zaleceń, a także obowiążujących przepisów bezpieczeństwa.

Moduł ściemniacza należy włączać według rysunku 1 – inny sposób spowoduje uszkodzenie tyrystora i diod prostowniczych. Pierwsze próby należy przeprowadzić z kondensatorem C2 o pojemności 10µF. Potem można zwiększyć wartość tego kondensatora według potrzeb. W zestawie AVT-2421 przewidziano na ten cel dwa dodatkowe "elektrolity" o pojemności 47µF i 220µF.

Tylko dla dociekliwych i zaawansowanych

W zamieszczonym wcześniej opisie podano tylko podstawowe informacje na temat działania układu. Jak wspomniano, z podanymi wartościami elementów układ nie wymaga żadnej regulacji i od razu powinien pracować. Niecodzienna zasada działania związana z dołączeniem modułu tylko za pomocą dwóch przewodów powoduje, że w układzie występują interesujące zależności, charakterystyczne dla techniki tyrystorowej.

Warto polecić ten układ do prób na zajęciach pracowni elektronicznej w szkołach średnich i na uczelniach.

Pożyteczne okaże się zbadanie możliwości zmniejszania czasu ładowania C2 przez zmniejszanie rezystancji R5. Wystąpi tu istotne ograniczenie – czas ten nie może być zbyt krótki, bo napięcie sieci i napięcie na C1 nie zdąży wzrosnąć do poziomu gwarantującego utrzymanie na diodach D8, D9 napięcia około 24V. W praktyce oznacza to także, że po rozwarciu wyłącznika W żarówka na pewno nie może świecić pełnym blaskiem, tylko nieco przygaśnie. Na ile przygaśnie? Jak jasność świecenia zależy od kąta zapłonu? Warto sprawdzić (przy zachowaniu odpowiednich środków bezpieczeństwa), na ile zmieni się napięcie na żarówce i na diodach D8, D9 przy zastosowaniu różnych wartości R5 w różnych fazach ściemniania. Czy rzeczywiście tuż po rozwarciu wyłącznika W na diodach D8, D9 pojawia się napięcie zbliżone do 24V? A może jest znacząco mniejsze? Jak na to wpływa wartość R2? Czy ma to wpływ na czas ładowania C3 i jasność żarówki?

Układ jest też dobrym przykładem wykorzystania zastępczej struktury tyrystorowej z tranzystorami T4, T5. Można badać właściwości takiego obwodu przy różnych wartościach R7, R8, R9. Można spróbować zmienić diodę D10 na rezystor. Można sprawdzić, czy oba rezystory R8, R15 są konieczne i w jakich granicach można zmieniać ich

wartość. Można zmniejszać pojemność C2 i sprawdzić, przy jakiej wartości minimalnej tyrystor jest jeszcze wyzwolany (bez zewnętrznego filtra przeciwzakłóceńowego LC). Można też sprawdzić wpływ dołączonego, zewnętrznego filtra przeciwzakłóceńowego LC, a właściwie indukcyjności, na minimalny czas trwania impulsu wyzwolającego tyrystora (zależny od R7, C3), zapewniający stabilną pracę. Można też zmieniać czas ściemniania przez modyfikację wartości R3 (22kΩ...1MΩ) oraz przebieg ściemniania przez modyfikację wartości R4 (10kΩ...1MΩ).

Szczegółowa analiza układu, badanie poszczególnych przebiegów i ewentualne zmiany wartości elementów mogą dostarczyć wielu doświadczeń. Oczywiście takie próby można przeprowadzać tylko przy zachowaniu szczególnych środków bezpieczeństwa i pod opieką nauczyciela.

Piotr Górecki
Zbigniew Orłowski

Wykaz elementów

Kondensatory

C1	.....	2,2µF/400V
C2	.....	10µF/25V
C3	.....	220nF
Dodatkowo jako C2		.... 47µF/25V oraz 220µF/25V

Rezystory

R1	.....	220Ω
R2	.....	100kΩ 1W
R3, R4, R6, R14	.....	100kΩ
R5	.....	2,2kΩ
R7	.....	100Ω
R8, R9, R12	.....	10kΩ
R10, R11	.....	220kΩ
R13	.....	2,2Ω 5W
R15	.....	47kΩ

Półprzewodniki

D1, D4-D7	.....	1N4007
D2, D10	.....	1N4148
D3	.....	LED żółta 3mm
D8, D9	.....	dioda Zenera 12V
T1, T5	.....	dowolny, np. BC558
T2-T4	.....	dowolny, np. BC548
Ty1	.....	tyrystor min. 2A 400V np. T0510NH (TAG9005), (BT 151 /500)

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2421