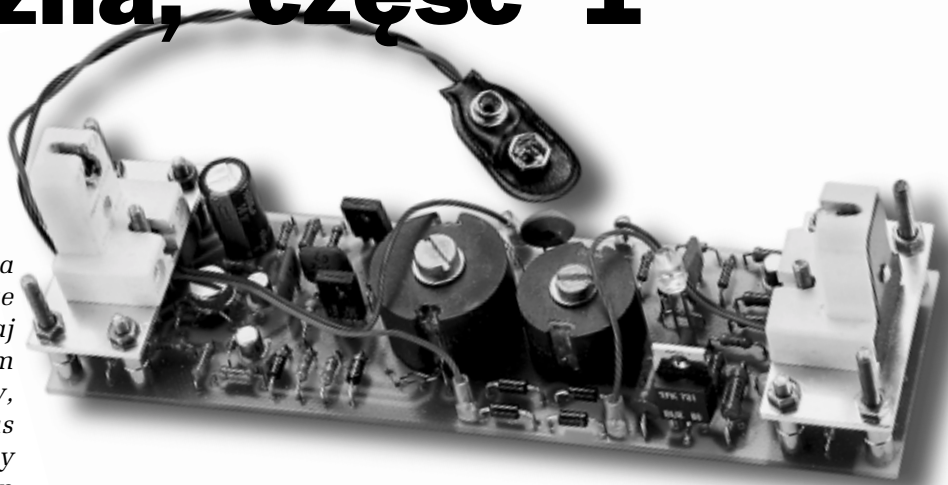


# Długowieczna świetlówka turystyczna, część 1

## kit AVT-811



*Miniaturowa świetlówka zasilana z baterii może okazać się nadzwyczaj użytecznym elementem ekwipunku turysty. Niestety, spotykane dotychczas niskonapięciowe układy zasilania lamp fluorescencyjnych powodowały szybkie ich zużycie, o czym przekonać się można obserwując stan świetlówek oświetlających wnętrza naszych niskopodłogowych autobusów. Poniżej przedstawiamy układ wolny od tej wady, oparty na całkowicie odmiennej zasadzie pracy.*

### **Działanie lamp fluorescencyjnych oraz wady dotychczasowych sposobów ich zasilania**

Powszechnie spotykane określanie świetlówki „lampą jarzeniową” jest błędne. Wyładowanie jarzeniowe występuje w lampach o zimnych elektrodach, zwanych popularnie „neonówkami”. Natomiast elektrody normalnie pracującej świetlówki rozgrzane są do temperatury umożliwiającej termoemisję elektronową. Dzięki temu napięcie pracy świetlówki jest znacznie niższe niż napięcie pracy lampy jarzeniowej identycznej pod względem wymiarów oraz ciśnienia gazu. Wyładowanie w gazach powstające w obecności termoemisji nosi nazwę wyładowania łukowego.

Nagrzewanie elektrody zasilanej w sposób standardowy, tzn. napięciem przemiennym, jest spowodowane bombardowaniem elektronami elektrody dodatniej. Po zmianie polaryzacji elektrod, rozgrzana uprzednio anoda staje się katodą emitującą elektrony chroniące ją przed bombardowaniem dodatnimi jonami rtęci o dużej energii. Bombardowanie jonowe szybko zniszczyłoby tlenkową warstwę emisyjną elektrod. Dlatego szkodliwa jest dla świetlówki zarówno asymetria prądu zasilającego, jak i „zimny” zapłon, polegający na wymuszaniu w lampie wyładowania jarzeniowego przez przyłożenie wysokiego napięcia pomiędzy zimne elektrody.

Niestety, takie właśnie warunki występują w opublikowanych dotychczas, niskonapięciowych układach zasilania świetlówek. Układy te były oparte na prostym i niezawodnie pracującym, ale zupełnie nieodpowiednim do tego celu, generatorze samodławnym. Generator taki nie może zapewnić symetrycznego przebiegu prądu zasilającego lampę, ponieważ jednemu kierunkowi odpowiada przewodzenie, drugiemu zaś - zatkanie tranzystora. Wiadomo także, iż tego rodzaju generator pracujący bez obciążenia wytwarza impulsy bardzo wysokiego napięcia. Zapewnia to wprawdzie pewny, „zimny” zapłon nawet mocno zużytej lampy, jednakże powoduje nieuchronnie jej niszczenie.

Gorzej, gdy układ zostanie uruchomiony bez włożonej świetlówki (lub ze świetlówką całkowicie zużytą, względnie zapowietrzoną). W takim przypadku impulsy wysokiego napięcia spowodują przebicie tranzystora. Nawet instrukcje obsługi dostępnych w sprzedaży „kompleksowych” laterek wyposażonych m.in. w świetlówkę zawierają ostrzeżenia przed próbą uruchamiania urządzenia przy wyjętej lampie.

Spotyka się także rozwiązania, w których generator samodławný dostarcza napięcia jarzeniowego (z dodatkowego uzwojenia na transformatorze) przez cały czas pracy lampy. Tak właśnie działają układy zasilania świetlówek w autobusach. W praktyce nie zapobie-

ga to „zimnemu“ zapłonowi lampy, a powoduje, oprócz oczywistego obniżenia sprawności, szybkie zużycie lampy z powodu przegrzania elektrod podczas pracy.

Niemniej istotne dla trwałości świetlówek jest zachowanie znamionowej mocy zasilania bez względu na stan baterii, czego nie może zapewnić żadne z omówionych powyżej rozwiązań. Oczywiście, przy zasilaniu bateryjnym stabilizowanie napięcia przy użyciu np. układu serii 78 byłoby nieporozumieniem. Można oczywiście użyć stabilizatora impulsowego, jednakże o wiele praktyczniej będzie uczynić stabilizatorem impulsowym sam układ zasilający świetlówkę.

**Nowy układ bateryjnego zasilania świetlówek**

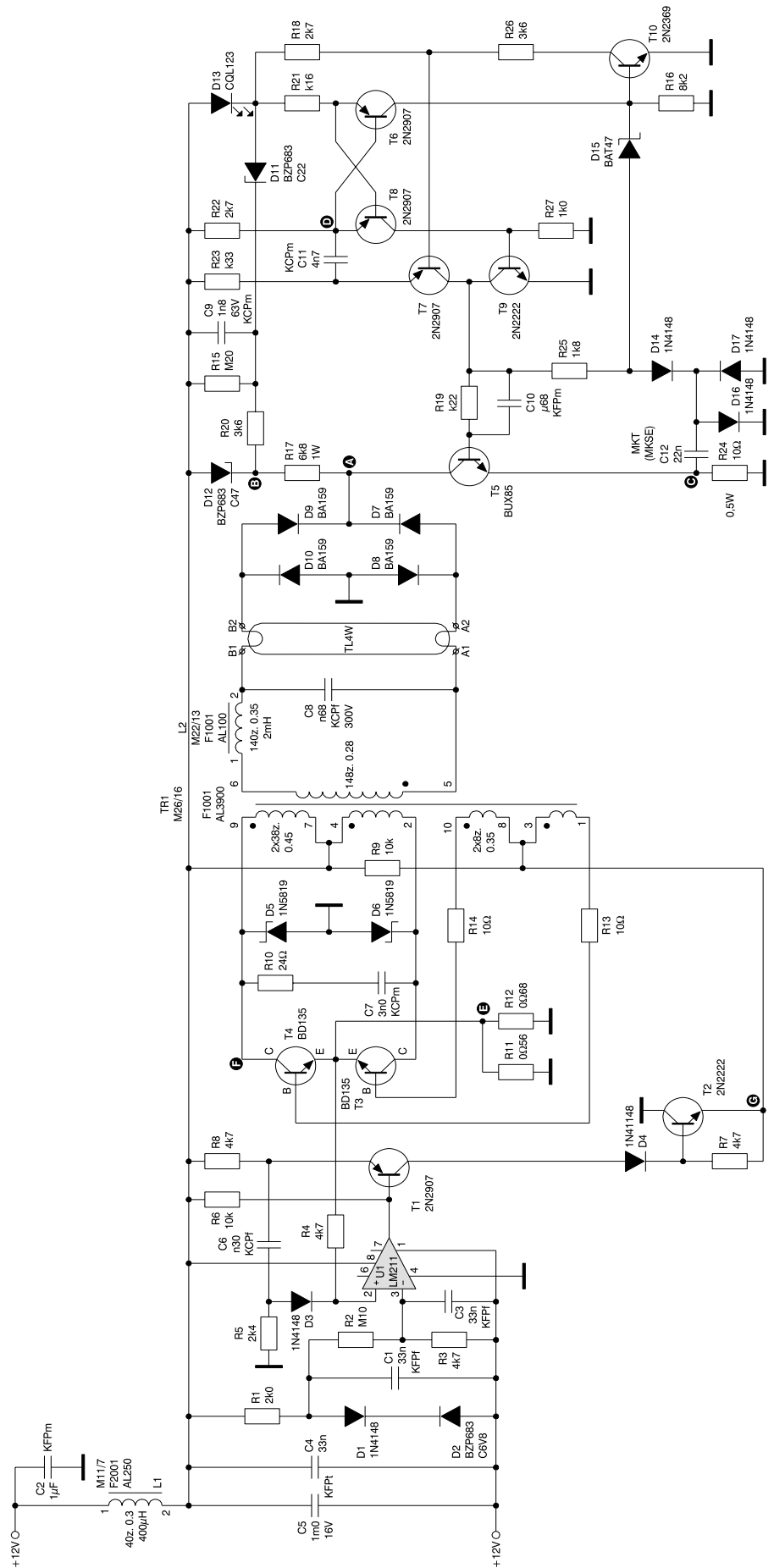
Symetrię napięcia zasilającego świetlówkę może zapewnić generator przeciwsobny. Nie może on być jednak użyty do bezpośredniego zasilania lampy, ponieważ stanowi „sztywne“ źródło napięcia o niewielkiej impedancji wewnętrznej, podczas gdy świetlówka w zakresie wyładowania łukowego cechuje się ujemną rezystancją dynamiczną (na podobieństwo termistora NTC).

Stabilna praca układu jest możliwa pod warunkiem zasilania lampy poprzez włączoną szeregową indukcyjność. Analogiczną indukcyjność, zwaną statecznikiem, stosuje się przy zasilaniu świetlówek z sieci 220V. Aby działanie statecznika było skuteczne, spadek napięcia na nim powinien być porównywalny (lub nawet od niego większy) ze spadkiem napięcia na świetlówce.

Indukcyjność „statecznika“ w opisywanym rozwiązaniu może być niewielka dzięki pracy generatora na częstotliwości rzędu 10kHz. Dla uniezależnienia warunków pracy lampy od zmian napięcia zasilającego (w zakresie od 10,5V do 16V), wprowadzono kontrolę szczytowej wartości prądu świetlówek. Takie rozwiązanie zapewnia stabilną pracę urządzenia, nawet przy stosunkowo niewielkim spadku napięcia na „stateczniku“.

Schemat układu zasilania przedstawiono na rys. 1.

Tranzystory T3 i T4 pracują w układzie przeciwsobnego generatora o sprzężeniu indukcyjnym. Analizę pracy układu rozpocznie-



Rys. 1. Schemat układu bateryjnego zasilania świetlówek.

my w chwili, gdy tranzystor T3 znajduje się w stanie nasycenia, natomiast T4 w stanie zatkania. Przyjmijmy też, że świetlówka została już zapalona i przedstawia w tym stanie pewną rezystancję.

Dzięki obecności "statecznika" L2 w obwodzie wtórnym transformatora Tr1, prąd emitera tranzystora T3 narasta płynnie. Spadek napięcia na rezystorach emiterowych R11 i R12 nie przekracza początkowo napięcia doprowadzonego do wejścia odwracającego komparatora U1. Na wyjściu komparatora panuje stan niski. Tranzystory T1 oraz T2 znajdują się w stanie nasycenia. Prąd bazy tranzystora T3 powstaje dzięki napięciu indukowanemu w uzwojeniu sprzęgającym transformatora Tr1 i zamyka się do masy poprzez nasycony tranzystor T2, nie obciążając bezpośrednio źródła zasilania. Dzięki obniżającej przekładni uzwojenia sprzęgającego transformatora Tr1, straty mocy na wysterowanie baz tranzystorów generatora są niewielkie.

W chwili, gdy spadek napięcia na rezystorach emiterowych przekroczy napięcie na wejściu odwracającym komparatora U1, na jego wyjściu pojawia się stan wysoki. Dodatkowo sprzężenie zwrotne przez kondensator C6 powoduje wygenerowanie impulsu zatykającego tranzystory T1 oraz T2. W tych warunkach, niewielki prąd bazy dopływający przez „rozruchowy“ rezystor R9 nie wystarcza do utrzymania tranzystora T3 w stanie nasycenia. Po wyjściu tego tranzystora z nasycenia, napięcie na jego kolektorze gwałtownie rośnie. Nie może ono jednak rosnać nieograniczenie, gdyż jednocześnie maleje napięcie na katodzie diody D5. Z chwilą gdy dioda D5 zostanie spolaryzowana w kierunku przewodzenia, napięcie na kolektorze T3 zostaje ograniczone do wartości równej podwójnej wartości napięcia zasilania bez względu na obecność lub brak obciążenia po stronie wtórnej.

Przewodząca dioda D5 zwraca do źródła zasilającego energię zgromadzoną w indukcyjności „statecznika“. Tymczasem kończy się impuls wygenerowany przez przerzutnik monostabilny z komparatorem U1. Tranzystory T1 oraz T2 ponownie wchodzi w nasycenie, a napięcie indukowane

w uzwojeniu sprzęgającym transformatora Tr1 utrzymuje tranzystor T4 w stanie nasycenia. Prąd w „stateczniku“ oraz świetlówce zmienia kierunek, natomiast napięcie na rezystorach emiterowych ponownie zaczyna rosnać. Następuje wówczas ponowne wygenerowanie impulsu przez komparator, zatkanie tranzystorów T1 oraz T2, zatkanie tranzystora T4 oraz nasycenie tranzystora T3. W ten sposób zamyka się cykl pracy przetwornicy. Nietrudno zauważyć, że jej stopień mocy wykazuje własności dzielnika częstotliwości impulsów z komparatora.

Dużą zaletą zastosowanego rozwiązania jest brak niebezpieczeństwa wystąpienia jednoczesnego (skrośnego) przewodzenia tranzystorów mocy, co groziłoby ich uszkodzeniem. Do otwarcia jednego z tranzystorów mocy konieczne jest uprzednie wyjście z nasycenia drugiego tranzystora.

Omówienia wymaga jeszcze rola diody D4. Wydaje się zbyteczna, jednak w przypadku jej braku przetwornica nie mogłaby wystartować. Resztkowe napięcie (ok. 0,2V) występujące bezpośrednio po włączeniu zasilania na wyjściu komparatora, zsumowane z napięciem nasycenia kolektor - baza tranzystora T1, wystarczyłoby do spolaryzowania złącza kolektor - baza tranzystora T2 w kierunku przewodzenia. Tranzystor ten znalazłby się w stanie inwersyjnego nasycenia, zwierając do masy cały prąd „rozruchowy“ z rezystora R9. Obydwa tranzystory mocy pozostałyby zatem trwale w stanie zatkania. Dioda D4 zapobiega takiej ewentualności za cenę powiększenia napięcia na przewodzącym kluczu z tranzystorem T2 o kilkaset mV.

### Działanie układu zapłonowego

Osobnej analizy wymaga praca urządzenia przed zapłonem lampy. Rezystancja pomiędzy elektrodami lampy jest w tych warunkach praktycznie nieskończenie wielka. Napięcie wtórne transformatora Tr1, poprzez „statecznik“ oraz elektrody świetlówki, zostaje doprowadzone na „przemienno-prądową“ przekątną mostka Graetza (D7..D10). W przekątną „stałoprądową“ jest włączony wysokonapięciowy tranzystor T5. Zadanie jego

polega na zamknięciu obwodu dla prądu przez elektrody lampy w celu ich nagrzania. Gdy to nastąpi, impuls samoindukcji powstający w „stateczniku“ z chwilą zatkania tranzystora T5 spowoduje zapłon świetlówki. Odtąd układ zapłonowy staje się zbędny i nie powinien zakłócać pracy lampy.

Przeanalizujmy pracę układu zapłonowego. Na wstępie zauważmy, że przy dostatecznie niskim napięciu na kolektorze tranzystora T5 wszystkie tranzystory w układzie zapłonowym pozostają w stanie zatkania. Stan taki jest po zapłonie lampy, kiedy to występuje znaczny spadek napięcia na indukcyjności „statecznika“.

Natomiast przed zapłonem pełne napięcie wtórne transformatora Tr1 pojawia się na kolektorze T5. Kondensator C9 ładuje się poprzez rezystory R17 oraz R20. Z chwilą przebicia diody Zenera D11 pojawia się prąd w emiterze tranzystora T6. Z kolei nasycy się tranzystor T10. Powoduje to spadek napięcia na emiterze T7. Ten skok napięcia przenosi się następnie przez kondensator C11 na bazę T6, podtrzymując jego przewodzenie. Towarzyszy temu świecenie diody LED (D13) na podobieństwo klasycznego zapłonika jarzeniowego. Całość stanowi zatem przerzutnik monostabilny, którego wszystkie tranzystory powinny podtrzymać się w stanie przewodzenia do chwili naładowania kondensatora C11. Zanim to jednak nastąpi, wzrost napięcia na kolektorze T7, wywołany jego przewodzeniem przenosi się poprzez rezystor R25 oraz diodę D15 na bazę T10 podtrzymując tranzystory T7 i T10 w stanie przewodzenia nawet po zaniku prądu w tranzystorze T6. Tranzystory T7 i T10 stanowią zatem przerzutnik bistabilny. Zadaniem omówionego poprzednio przerzutnika monostabilnego jest zapewnienie niezawodnego załączenia się przerzutnika bistabilnego mimo obciążającego wpływu bazy tranzystora T5.

Przewodzący tranzystor T7 dostarcza prądu bazie tranzystora T5. Tranzystor T5 ulega nasyceniu, zamykając obwód prądu nagrzewającego elektrody lampy. Dzięki obecności statecznika L2 prąd ten narasta płynnie. Z chwilą zmiany znaku napięcia w uzwojeniu wtórnym transformatora

Tr1 zaczyna maleć prąd „statecznika“, a tym samym prąd emitera tranzystora T5. W następstwie obniżania się napięcia emitera T5, a na katodzie diody D14 pojawia się ujemne napięcie. To z kolei powoduje zatkanie tranzystorów T10 i T7. Dodatni skok napięcia na emiterze T7 wywołany jego zatkaniami przenosi się przez kondensator C11 na emiter T8, otwierając go. Tranzystor T9 wchodzi w nasycenie, co w połączeniu z zatkaniami T7 forsuje szybkie wyłączenie tranzystora T5. Ponieważ następuje to wkrótce po zmianie znaku napięcia w uzwojeniu wtórnym transformatora Tr1, prąd w „stateczniku“ w chwili wyłączenia tranzystora T5 ma znaczną wartość. Na indukcyjności „statecznika“ pojawia się impuls napięcia znacznie przewyższającego napięcie wtórne transformatora Tr1. Pojemność kondensatora C8 jest tak dobrana, aby impuls ten nie osiągnął wartości zdolnej do wywołania „zimnego“ zapłonu lampy. Dlatego też niezwłocznie

po zakończeniu impulsu rozpoczyna się nowy cykl pracy układu zapłonowego. Warto zauważyć, że na każde dwa cykle pracy układu zapłonowego przypada jeden pełny cykl pracy przetwornicy.

W pewnej chwili emisja ze stopniowo rozgrzewających się elektrod lampy stanie się tak intensywna, że kolejny impuls wysokiego napięcia zapoczątkuje wyładowanie w lampie. Wyprostowane przez mostek D7..D10 napięcie okazuje się wówczas niewystarczające do przebicia diody Zenera D11. Nie zostaną więc otwarte tranzystory T6, T7 i T10, natomiast tranzystory T8 i T9 zostaną zatkane z chwilą rozładowania się kondensatora C11. Cały układ zapłonowy znajdzie się w stanie bezprądowym, jeśli nie liczyć znikomo małego prądu w „upływowym“ rezystorze R15. Oznacza to, że układ zapłonowy, mimo niewątpliwie znacznego stopnia złożoności, nie stanowi dodatkowego obciążenia dla baterii zasilającej.

**Tomasz Janiszewski**

### WYKAZ ELEMENTÓW

#### Rezystory

o tolerancji  $\pm 5\%$ , o mocy (z wyjątkiem R17 i R24) - 0,125W lub 0,5W

R1: 2,0k $\Omega$   
 R2: 0,10M $\Omega$   
 R3, R4, R7, R8: 4,7k $\Omega$   
 R5: 2,4k $\Omega$   
 R6, R9: 10k $\Omega$   
 R10: 24 $\Omega$   
 R11: 0,56 $\Omega$   
 R12: 0,68 $\Omega$   
 R13, R14: 10 $\Omega$   
 R15: 200k $\Omega$   
 R16: 8,2k $\Omega$   
 R17: 6,8k $\Omega$ /1W  
 R18, R22: 2,7k $\Omega$   
 R19: 0,22k $\Omega$   
 R20, R26: 3,6k $\Omega$   
 R21: 0,16k $\Omega$   
 R23: 0,33k $\Omega$   
 R24: 10 $\Omega$ /0,5W  
 R25: 1,8k $\Omega$   
 R27: 1,0k $\Omega$

#### Kondensatory

C1, C3, C4: 33nF, typ KFPm, tolerancja  $\pm 20\%$ , napięcie 63V  
 C2: 1,0 $\mu$ F, typ KFPm, tolerancja  $\pm 20\%$ , napięcie 63V  
 C5: 1,0mF/16V  $\phi$ 10mm  
 C6: 0,30nF, typ KCPm, tolerancja  $\pm 5\%$ , napięcie 63V  
 C7: 3,0nF, typ KCPm, tolerancja  $\pm 5\%$ , napięcie 63V  
 C8: 0,68nF, typ KFP2B, tolerancja  $\pm 20\%$ , napięcie 500V  
 C9: 1,8nF, typ KCPm, tolerancja  $\pm 5\%$ , napięcie 63V  
 C10: 0,68 $\mu$ F, typ KFPm, tolerancja  $\pm 20\%$ , napięcie 63V  
 C11: 4,7nF, typ KCPm, tolerancja  $\pm 5\%$ , napięcie 63V  
 C12: 22nF, typ MKSE20, tolerancja  $\pm 20\%$ , napięcie 100V

#### Półprzewodniki

U1: LM311N (lub LM211H)  
 T1, T6, T7, T8: 2N2907 (2N2906)  
 T2, T9: 2N2222 (2N2221)  
 T3, T4: BD135 (BD137, BD139)  
 T5: BUX85  
 T10: 2N2369  
 D1, D3, D4, D14, D16, D17: 1N4148  
 D2: C6V8, 0,4W  
 D5, D6: 1N5819  
 D7..D10: BA159  
 D11: C22V, 0,4W  
 D12: C47V, 0,4W  
 D13: dowolna dioda LED  $\phi$ 5mm z GaAlAs („H-RED“) o napięciu przewodzenia 1,8V, np. CQL123  
 D15: BAT47

#### Różne

Elementy indukcyjne wykonane wg opisu na rdzeniach kubkowych firmy POLFER:

L1: M11/7, F2001, AL250  
 L2: M22/13, F1001, AL100:  
 Tr1: M26/16, F1001, AL3900:  
 Świetlówka miniaturowa TL4W/33 (PHILIPS) lub L4W/20 (OSRAM)