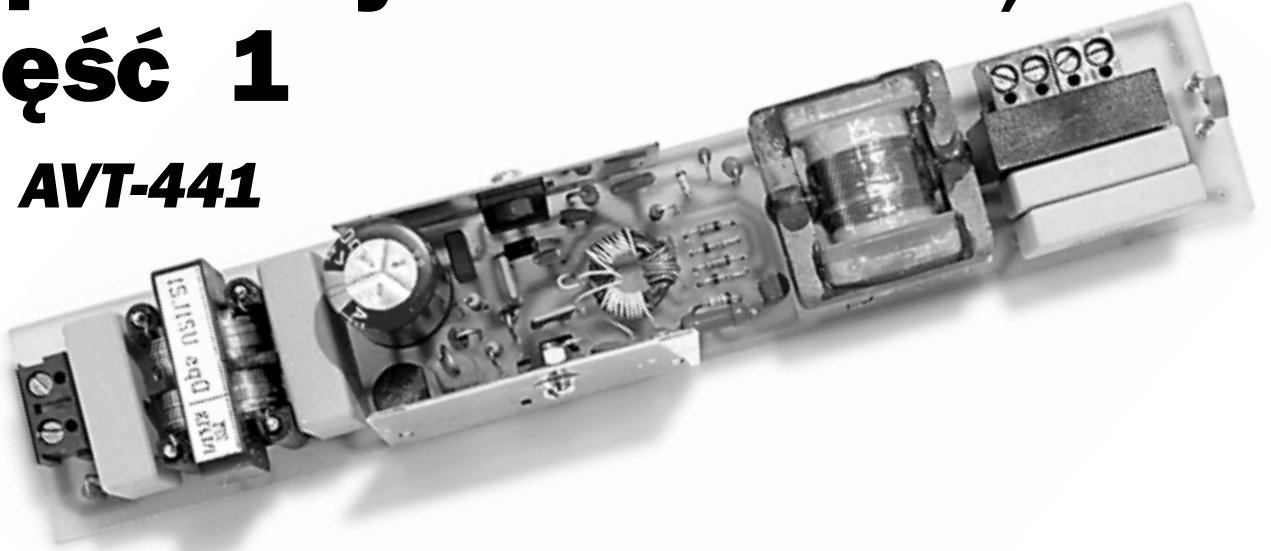


Elektroniczny układ zapłonowy świetlówki, część 1

kit AVT-441



Proponujemy wykonanie elektronicznego układu zapłonowego świetlówki, zastępującego nie tylko elektromechaniczny zapłonnik, ale co ważniejsze ciężki i nieporęczny statecznik. Mimo dużej prostoty, układ charakteryzuje się dużymi walorami użytkowymi, przede wszystkim dużą niezawodnością i sprawnością.

Koszt elementów elektronicznych jest wyższy niż cena układu klasycznego, ale taka inwestycja jest opłacalna - czas pracy lampy pod kontrolą elektroniki jest znacznie dłuższy.

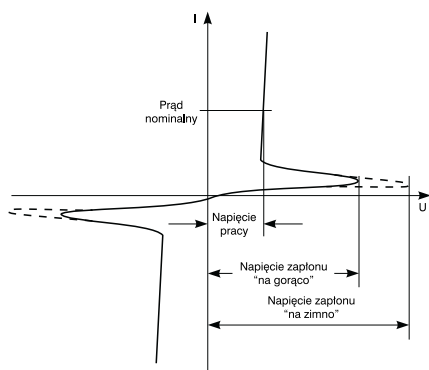
Świetlówka jest lampą wyładowczą wykonaną w postaci szklanej rurki wypełnionej parami rtęci pod niskim ciśnieniem i pokrytą wewnątrz luminoforem. Na jej końcach umieszczone są żarniki-elektrody wolframowe pokryte dodatkowo substancją zwiększającą emisję elektronów. Wyładowanie w lampie zachodzi w zakresie nadfioletu, a zadaniem luminoforu jest jego zamiana na światło widzialne.

Charakterystyka prądowo napięciowa świetlówki przedstawiona jest na **rys. 1**. Przy zwiększaniu napięcia przyłożonego do świetlówki, aż do momentu zapłonu nic w zasadzie się nie dzieje i przez lampę płynie jedynie minimalny, szczytkowy prąd. Po osiągnięciu napięcia zapłonu pary rtęci ulegają jonizacji, zaczyna płynąć prąd i napięcie na lampie gwałtownie maleje. Wartość napięcia zapłonu zależy głównie od długości świetlówki i im jest ona dłuższa tym jest ono większe, w praktyce zawiera się w granicach 600..1200V. Oczywiście dotyczy to zapłonu z uprzednio podgrzanymi elektrodami, czyli tak zwany zapłon na „gorąco”. Jeżeli elektrody nie zostaną podgrzane, zapłon również następuje, tyle tylko że wartość napięcia zapłonu jest istotnie wyższa (zaznaczono to linią przerywaną na wykresie

z **rys. 1**). Takie zapalenie nazywa się potocznie zapłonem „na zimno”.

Zapłon „na zimno” jest dla świetlówki szkodliwy i w układach praktycznych należy się go wystrzegać. Substancja czynna znajdująca się na elektrodach ulega szybkiej degradacji, szybko paruje i osadza się na końcach rury szklanej tworząc charakterystyczne ciemne plamy na luminoforze już po kilkunastu zapłonach. Trwałość świetlówki zapalanej „na zimno” jest więc niewielka. Zapłon „na zimno” często można poznać po charakterystycznych niebieskawych błyskach w okolicy elektrod powstających w momencie zapłonu.

Po zapłonie rozpoczyna się normalna praca. Charakterystycznymi i ważnymi jej parametrami jest to, iż w szerokim zakresie prądów płynących przez świetlówkę napięcie panujące na niej jest prawie stałe i zachowuje się więc tak, jak specyficzna dioda Zenera. Wartość prądu nominalnego wynika z mocy „rurki”, zaś napięcie odpowiadające prądowi nominalnemu zależy przede wszystkim od jej długości: krótkie świetlówki małej mocy pracują przy ok. 50V, na długich odkłada się nawet i 130V. Najważniejsze parametry popularnych świetlówek zostały zebrane w **tab. 1**.



Rys. 1. Charakterystyka prądowo - napięciowa typowej świetlówki.

Układ klasyczny i jego wady

Z zasady działania świetlówki wynika, że nie wolno jej zasilać bezpośrednio z sieci energetycznej. Układ sterujący lampą musi bowiem zapewnić realizację trzech faz:

- Bezpośrednio po włączeniu do sieci konieczne jest podgrzanie elektrod. Rezystancja zimnej elektrody wynosi około 2Ω i szybko rośnie przy podgrzewaniu do około 10Ω . Czas podgrzewania zależy od wartości przepływającego prądu, np. dla świetlówki o średnicy 36 mm można przyjąć parametry te jako $0,5..0,7A$ przez 1 sekundę.
- Po podgrzaniu do lampy trzeba przyłożyć wysokie napięcie, tak aby nastąpił zapłon.
- Po zapłonie wartość prądu płynącego przez lampę musi być stabilizowana (jasność świecenia zależy od wartości tego prądu).

Zadania te w układzie klasycznym realizowane są za pomocą dławika i zapłonika (neonówki z przerywaczem bimetalicznym umieszczonym w tej samej bańce) włączanego w obwód jak na rys. 2. Po włączeniu układu do sieci, całe napięcie zostaje przyłożone do zapłonika, neonówka zaczyna się świecić (przez elektrody lampy płynie już niewielki prąd), a energia cieplna tego wyładowania podgrzewa przerywacz bimetalowy (w stanie zimnym styki są otwarte). Po chwili zapłonnik zostaje zwarty, neonówka gaśnie co dodatkowo zwiększa prąd podgrzewający elektrody. Stygnący bimetal rozwiera obwód, duży prąd płynący przy podgrzewaniu przez dławik szybko zanika, co powo-

duje zaindukowanie się w tej cewce wysokiego napięcia i zapłon lampy. Po zapłonie niskie napięcie panujące na lampie nie pozwala ponownie zaświecić się neonówce zapłonika, a wartość prądu płynącego przez świetlówkę jest ograniczona przez dużą indukcyjność dławika.

Pewny zapłon świetlówki następuje tylko wtedy, gdy w momencie rozwarcia bimetalu napięcie sieci przechodzi przez zero lub jest bliskie zera - tylko wtedy przepięcie ma dostateczną wartość. W innym przypadku zapłon nie następuje, cały proces się powtarza, aż układ „trafi” w okolice zera.

Mimo prostoty układ klasyczny ma sporo wad:

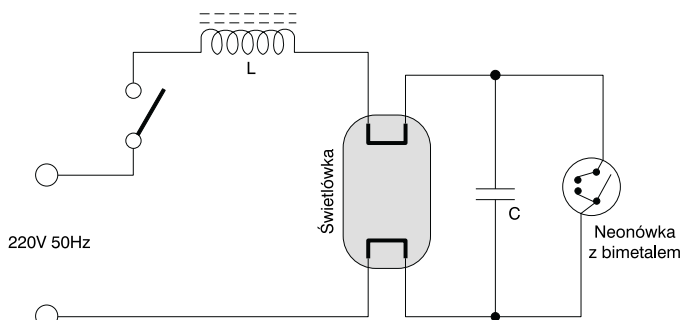
- prawie zawsze zapłon odbywa się na kilka razy, związane z tym oczekiwanie i migotanie bywa irytujące;
- elektrody są podgrzewane przez krótki moment dużym prądem, co negatywnie odbija się na trwałości świetlówki;
- podczas pracy lampa migocze w rytm napięcia sieci, co męczy wzrok;
- dławik jest elementem ciężkim, jego rdzeń często niemile brzęczy, a straty mocy w nim są dosyć duże;
- proces zapłonu jest źródłem zakłóceń radioelektrycznych.

Powyższych wad pozbawione są elektroniczne układy zapłonowe świetlówki (ang. electronic ballast). Uproszczony schemat takiego układu przedstawiony został na rys. 3. Wyprostowane i odfiltrowane napięcie sieci zamieniane w układzie falownika półmostkowego (ang. half bridge) w szybkozmienną (kilkadziesiąt kHz) fale prostokątną o współczynniku wypełnienia bliskim 50%. Napięcie to podawane jest na elektrody świetlówki poprzez dławik L, zaś kondensatory C_p zamykają drogę dla prądu zmiennego realizując pasywne elementy mostka.

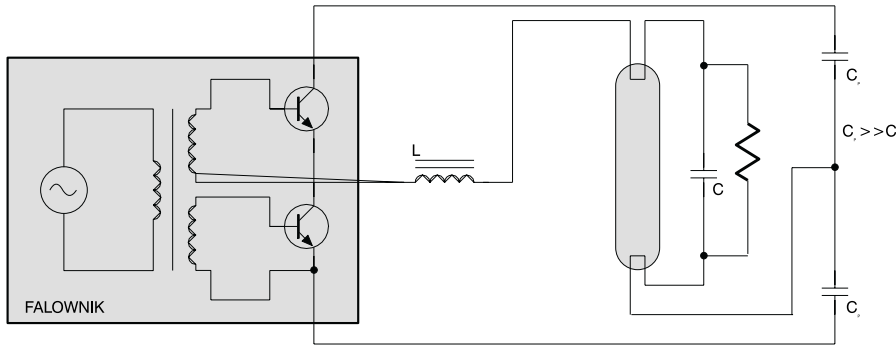
| Tabela 1. Podstawowe parametry świetlówek TL. | | | | |
|-----------------------------------------------|---------------|---------|--------------------|--------------------|
| Długość [mm] | Średnica [mm] | Moc [W] | Napięcie pracy [V] | Prąd nominalny [A] |
| 600 | 28 | 18 | 58 | 0,38 |
| 600 | 36 | 20 | 58 | 0,38 |
| 900 | 28 | 30 | 101 | 0,36 |
| 1200 | 28 | 36 | 104 | 0,42 |
| 1200 | 36 | 40 | 104 | 0,42 |
| 1500 | 28 | 58 | 113 | 0,63 |
| 1500 | 36 | 65 | 113 | 0,64 |
| 1800 | 28 | 70 | 128 | 0,7 |
| 1800 | 36 | 75 | 131 | 0,64 |
| 1800 | 36 | 85 | 123 | 0,77 |

Funkcja dławika w układzie elektronicznym jest podobna jak w układzie klasycznym i tu również ogranicza on prąd świetlówki, ponieważ częstotliwość pracy układu jest wielokrotnie większa od 50Hz, jego indukcyjność i wymiary (a co najważniejsze straty mocy w nim) są niewielkie.

Za prawidłową realizację faz grzania elektrod i zapłonu odpowiedzialny jest kondensator C i termistor PTC, którego rezystancja rośnie z temperaturą. Po włączeniu układu do sieci rezystancja termistora jest niewielka (ok. 150Ω) i dlatego przez żarniki płynie prąd i podgrzewa je. Nagrzewa się również termistor i jego rezystancja stopniowo rośnie. W miarę wzrostu rezystancji termistora rośnie również napięcie na kondensatorze C. Dzieje się tak dlatego, że jego pojemność jest tak dobrana, aby tworzył on szeregowy układ rezonansowy na częstotliwości nieco większej od częstotliwości pracy układu. Oczywiście termistor silnie tłumí ten obwód rezonansowy, ale właśnie o to chodzi. W miarę upływu czasu i wzrostu rezystancji termistora dobroć obwodu rezonansowego rośnie. Powiększa się więc napięcie na kondensatorze C. W pew-



Rys. 2. Klasyczny układ zapłonowy świetlówki ze starterem.



Rys. 3. Schemat blokowy elektronicznego układu zapłonowego.

nym momencie jest ono wystarczająco duże, aby nastąpił zapłon.

Maksymalna wartość napięcia zapłonu zależy od wielu czynników, między innymi rezystancji termistora po nagraniu i odstepie częstotliwości rezonansowej obwodu dławik i kondensator od częstotliwości pracy falownika. Oczywiście, jeśli zależy nam na dużym napięciu zapłonu, do układu powinien być montowany termistor o jak największej rezystancji „na ciepło“, zaś rezonans obwodu LC powinien leżeć dokładnie na częstotliwości pracy falownika. W układach praktycznych obu takich działań się nie stosuje i wręcz są one uważane za niepożądane. Ustawienie rezonansu dławik - kondensator na częstotliwości falownika lub bardzo blisko niej powoduje silne prądowe obciążenie elementów falownika. Z uwagi iż jest to rezonans szeregowy, prąd płynący w rezonansie jest w przybliżeniu większy od tego, jaki płynie przy normalnej pracy o wielokrotność wartości dobroci. Potrzebne wtedy będą silniejsze elementy mocy, co niepotrzebnie podroży konstrukcję. Wyszukiwanie specjalnych typów termistora również mija się z celem. Na szczęście do pewnego zapalenia nawet starej, długiej świetłówki wystarczy, jeśli dobroć układu rezonansowego będzie rzędu 3..4, co uzyskuje się z zapasem nawet przy ustawieniu rezonansu LC na półtorej częstotliwości falownika.

Zapłon świetłówki i związany z nim dramatyczny spadek jej impedancji powoduje silne stłumienie obwodu rezonansowego i wygaszenie napięcia zapłonowego. W stosunku do układu klasycznego, układ powyższy ma szereg zalet:

- świetłówka podczas pracy nie migocze z uwagi na dużą częstotliwość pracy układu;
- sprawność pracy świetłówki jest istotnie wyższa (rys. 4), układ pobiera zatem mniej mocy z sieci;
- projektant ma możliwość kontroli prądu podgrzewającego elektrody poprzez dobór rezystancji PTC, nie ma tutaj szkodliwych skoków prądu wpływających na trwałość lampy;
- zapłon świetłówki jest szybki (1 sekunda) i pewny, nie ma migotania;
- napięcie zapłonu narasta płynnie aż do wartości koniecznej do jonizacji gazu, świetłówka nie jest „atakowana“ impulsami zapłonowymi o przypadkowej (niekiedy bardzo wysokiej) wartości.

Ceną za te wszystkie dobrodziejstwa jest oczywiście spora komplikacja układu oraz wyższy poziom zakłóceń radioelektrycznych podczas pracy, zmuszający do stosowania dodatkowych filtrów na wejściu.

Słowo o termistorze

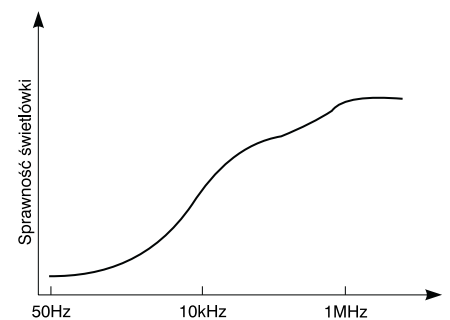
Termistor przeznaczony do układów zapłonowych świetłówek musi spełniać kilka istotnych parametrów. Aby proces podgrzewania elektrod był możliwie równomierny, jego rezystancja w stanie zimnym powinna rosnać początkowo powoli, aż do temperatury 50..60°C (rys. 5). Dalszy wzrost temperatury powinien charakteryzować się szybkim wzrostem rezystancji, z początkowych 150Ω, przy temperaturze 80°C opór wynosi już około 1kΩ.

W typowej temperaturze pracy 120°C rezystancja elementu przekracza 20kΩ, a w nowych konstrukcjach specjalnie przygotowy-

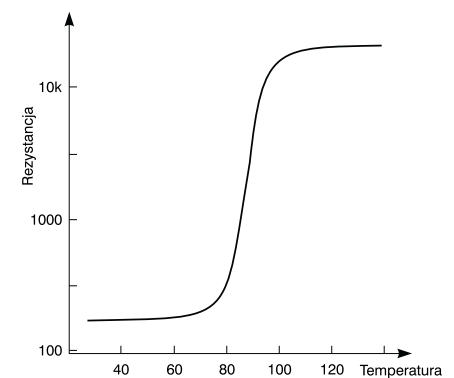
wanych do pracy w tym charakterze nawet 100kΩ.

Tak duże zmiany są potrzebne, aby wartość napięcia zapłonowego mogła być dostatecznie duża i, co ważniejsze, podczas normalnej pracy straty mocy w tym elemencie były jak najmniejsze. Trzeba bowiem pamiętać, że podczas pracy na świetłówce panuje napięcie rzędu 60..100V i pod tym napięciem element będzie znajdował się cały czas podczas pracy. Musi także być zdolnym wytrzymać krótkotrwałe impulsy zapłonowe o dużej wartości napięcia.

Na szczęście, dla produkowanych specjalnie do tego celu elementów straty mocy są na poziomie 0,5W, co jest wartością do przyjęcia. Termistory PTC do zapłonu świetłówek produkują wiele firm, z uwagi na ogromną wielkość rynku powstały ostatnio nawet takie (np. CERA-MITE w USA), dla których są to wyroby główne. Podobny w działaniu jest termistor służący do rozmagnesowywania kineskopu w telewizorach, tak zwany pozystor, jednak do tych celów ma on za małą rezystancję (15Ω).



Rys. 4. Sprawność typowej świetłówki w funkcji częstotliwości.



Rys. 5. Charakterystyka typowego termistora PTC do opisywanych zastosowań.

Opis układu

Schemat elektryczny urządzenia przedstawiono na **rys. 6**. Aby zakłócenia wytwarzane przez układ w jak najmniejszym stopniu przedostawały się do sieci energetycznej, na wejściu układu zastosowany został „porządny” filtr składający się ze skompensowanego prądowo dławika DL1 i dwóch kondensatorów C1 i C2. Rezystor R1 zapobiega możliwości porażenia od naładowanych pojemności filtru. Dalej napięcie sieci jest prostowane i filtrowane za pomocą kondensatora C3. Rezystor R2 ogranicza impuls prądu w momencie włączenia do sieci do wartości bezpiecznej dla diod mostka.

Falownik wykonany został w postaci oscylatora samowzbudnego i pracuje na częstotliwości 20 kHz. Jego głównymi elementami są tranzystory T1 i T2 oraz transformator TR1. Dodatkowe elementy R7, C6 i R8, C7 tworzą znane z techniki impulsowej układy polepszające komutację tranzystorów, zaś kondensatory C5 i C8 dopasowują tranzystory do transformatora. Z kolei rezystory R10 i R9 umieszczone w emiterach niwelują rozrzut parametrów pomiędzy T1 i T2. Szybkie diody D6 i D7 zabezpieczają klucze przed odwrotną polaryzacją.

Częstotliwość pracy 20kHz została wybrana na tyle duża, aby elementy indukcyjne mogły mieć małe wymiary i układ nie generował szumów w paśmie akustycznym. Jest jednocześnie na tyle niska, iż straty mocy w dławiku i pojemnościach są jeszcze małe.

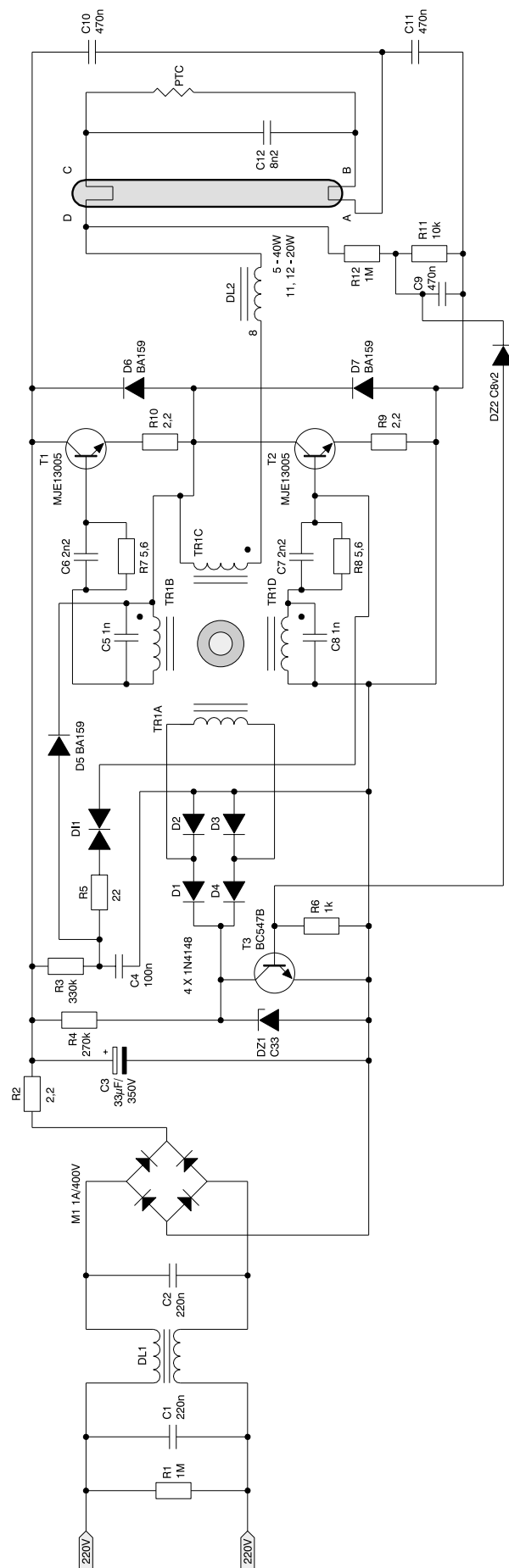
Aby zrozumieć działanie układu falownika (oczywiście w sposób mocno uproszczony i skrótowy), trzeba założyć, że np. tranzystor T2 właśnie zaczął przewodzić i jego napięcie na kolektorze jest bliskie zera. Od plusa zasilania, przez C10 i uzwojenie TR1C płynie więc prąd. Jego wartość narasta, rośnie też wartość strumienia magnetycznego w rdzeniu TR1. Uzwojenia TR1 są włączone w takim porządku, że w takiej chwili prąd indukowany w części TR1D podtrzymuje przewodzenie T2 i jednocześnie w sposób pewny blokuje T1. Stan taki trwa do momentu, aż prąd narosnie do

takiej wartości, że rdzeń transformatora się nasyci. W tej chwili zmieniają znak prądu płynące w uzwojeniach „D” i „B”, T2 zatyka się i zaczyna przewodzić T1. Prąd płynący przez uzwojenie TR1C znów zaczyna (płynąc tym razem w gałęzi od plusa poprzez T1 i TR1C i C11 do masy) aż do momentu nasycenia rdzenia. I w taki sposób proces ten się powtarza.

Należy koniecznie zapamiętać, że parametry TR1, a więc typ i materiał z jakiego został wykonany rdzeń, liczby zwojów (szczególnie w sekcji „C”) decydują w głównej mierze o częstotliwości pracy układu. Uzyskanie dużych częstotliwości wymaga użycia łatwo nasycających się ferrytów, a zatem o dużej przenikalności magnetycznej (nawet 6000!).

Drugą, równie ważną, rzeczą jest to, że częstotliwość pracy układu nie jest stała. Nie wdając się w szczegóły dlaczego tak się dzieje, można jedynie powiedzieć, że częstotliwość pracy rośnie przy wzroście obciążenia (np. przy rezonansie w momencie zapalania lampy). Na szczęście w przypadku opisywanego układu jest to zjawisko korzystne i pozwalające z większym marginesem dobierać elementy układu współpracującego ze świełówką.

Po włączeniu do sieci praca oscylatora wymaga zainicjowania za pomocą specjalnego układu startowego, gdyż zarówno tranzys-



Rys. 6. Schemat elektryczny układu.

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

(o mocy 0,25W o ile nie podano inaczej)

R1, R12: 1M Ω

R2: 2,2 Ω /5W

R3: 330k Ω /0,5W

R4: 270k Ω /0,5W

R5: 22 Ω

R6: 1k Ω

R7, R8: 5,6 Ω

R9, R10: 2,2 Ω /0,5W

R11: 10k Ω

Kondensatory

C1, C2: 220nF/250V_{AC} (400V_{DC}) — KMP-10

C3: 33 μ F/350V (16 mm x 30 mm)

C4: 100nF/63V

C5, C8: 1nF/63V

C6, C7: 2,2 nF/63V

C9: 470nF/63V

C10, C11: 470nF/250V — KMP-30

C12: 8,2 nF/1200V (najlepiej KFMP) dla 20W, lub 10nF/1000V

Półprzewodniki

M1: mostek okrągły 1A/250V_{AC}, np. B250C1000

DZ1: BZY 79C33 (33V Zener)

DZ2: BZY 79C8V2 (8,2V Zener)

D1, D2, D3, D4: 1N4148

D5, D6, D7: BA159

T1, T2: MJE 13005

T3: BC547B

DI1: diak lub dynistor na napięcie z zakresu 30..40V, np. KR106, DB3C548 (SGS)

Różne

DI1: dławik przeciwzakłóceńowy Dps U21L21 (Polfer)

TR1: oscylator - uzwojenia wg opisu w tekście (EP7/98), rdzeń pierścieniowy RP12.5x7.5x4.8 z materiału F2001

DI2: dławik wg opisu w tekście (EP7/98), rdzeń E30/7 z materiału F807 i karkas E30/2010

PTC: termistor PTC o rezystancji ok. 150 Ω w temperaturze 25°C, np.

CERA-MITE nr 307C1306, Philips 2322-66193114 lub 2322-661-93102, SIEMENS B59150-J120-A20 lub B59200-J120-A20

Złącza ARK: jedno czterogniazdowe o rastrze 5 mm i jedno dwugniazdowe o rastrze 7,5 mm.

Radiatory dla T1 i T2: blaszka aluminiowa lub miedziana o grubości ok. 1 mm i o wymiarach 40 x 28 mm: 2 sztuki, żarówka 220V/100W do uruchomienia

tor T1, jak i T2 nie przewodzą. Tworzą go rezystory R3 i R5, kondensator C4 oraz diak i dioda D5. W momencie włączenia układu do sieci rozpoczyna się ładowanie kondensatora C4 poprzez rezystor R3. W momencie, gdy napięcie na C4 przekroczy wartość progową, przełączenia diaka (30..40V w zależności od typu), kondensator ten zostaje elektrycznie dołączony przez zwarty diak do bazy T2 wprowadzając go na krótką chwilę w stan przewodzenia i falownik startuje. Rezystor R5 ogranicza impuls prądu startowego do wartości bezpiecznej dla złącza BE T2.

Aby impuls startowy był tylko jeden, konieczne jest uniemożliwienie procesu ponownego ładowania kondensatora C4. Realizuje to dioda D5. W chwili, gdy napięcie na kolektorze spada do wartości bliskich zero, D5 przewodzi i C4 zostaje rozładowany. Ponieważ stała czasowa R3, C4 jest wielokrotnie większa od okresu drgań falownika, średnie napięcie na C4 podczas pracy jest bliskie zera.

Robert Magdziak, AVT