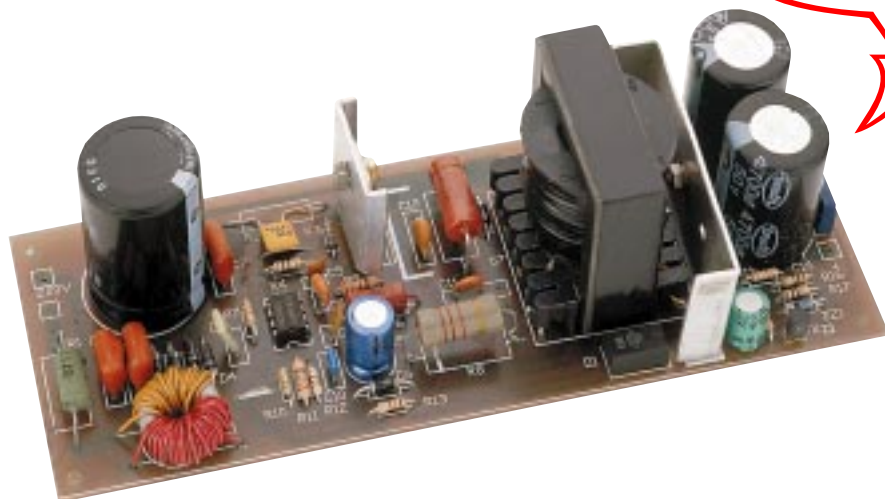


# Energooszczędny zasilacz dużej mocy

## kit AVT-334

Różnego rodzaju zasilacze są często opisywane na łamach EP. Nic w tym dziwnego, jest to przecież podstawowy blok większości urządzeń elektronicznych. W odróżnieniu od konstrukcji już opisywanych, niniejszy układ wyróżnia się dwoma istotnymi cechami. Po pierwsze nie zawiera klasycznego, ciężkiego transformatora sieciowego i dużego radiatora, po drugie jest układem o bardzo dużej sprawności.



Prezentowany układ jest klasyczną przetwornicą zaporową, pracującą z częstotliwością 36kHz, zasilaną bezpośrednio wyprostowanym napięciem sieciowym i sterowaną specjalizowanym kontrolerem z tzw. pętlą prądową. Wyjściowe parametry zasilacza, 12V przy maksymalnym prądzie obciążenia 6A, są gwarancją jego dużej uniwersalności i wielu zastosowań.

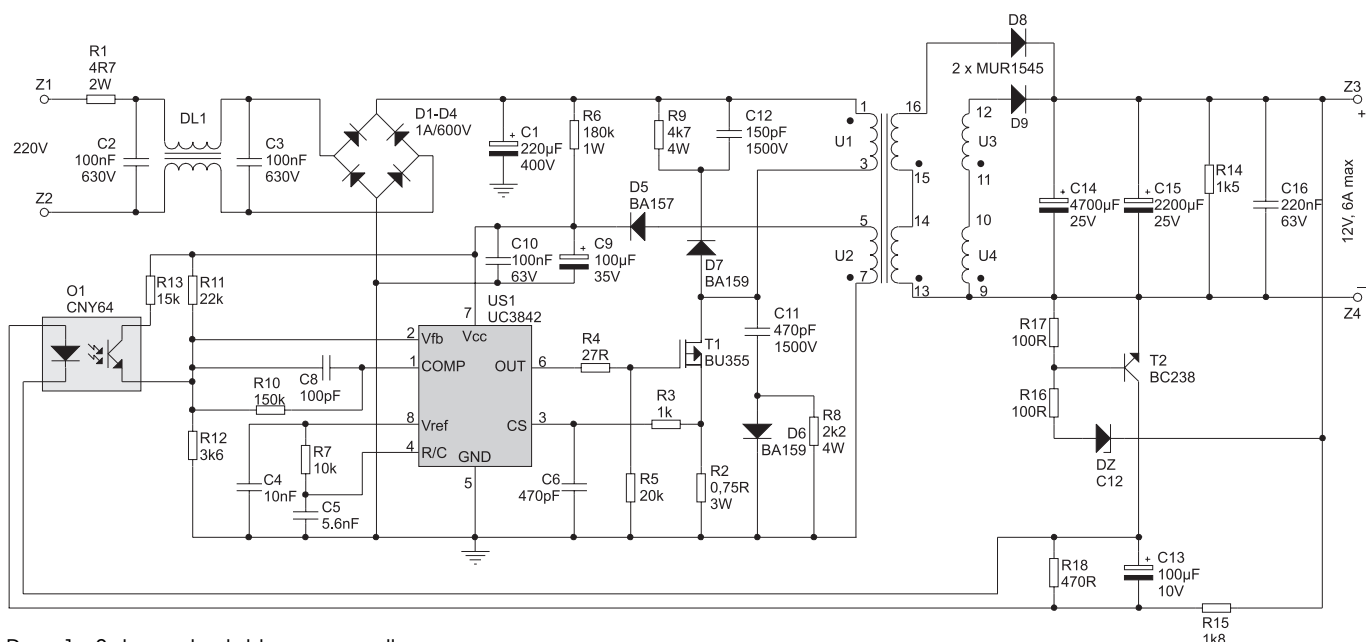
Opisy zasilaczy impulsowych tego typu rzadko pojawiają się w czasopiśmie fachowych. Przyczyną takiego stanu jest zapewne ich spora złożoność konstrukcyjna, trudniejsze projektowanie i uruchamianie. Z uwagi na to, przedstawiony układ został opracowany w taki sposób, aby był powtarzalny i łatwy w uruchomieniu. Ponadto dla tych wszystkich, którzy na bazie przedstawionego układu chcieliby wykonać przetwornicę o innych parametrach napięciowo-prądowych, podajemy przystępnie, krok po kroku, sposób projektowania żadanego układu. Elementy użyte do budowy zasilacza mają niezbędny zapas mocy, dzięki czemu wspomniane przeprojektowanie będzie dotyczyć tylko transformatora impulsowego.

### Opis układu

Schemat elektryczny układu przedstawiono na **rys.1**. Napięcie sieci, poprzez rezystor R1 ograni-

czający w chwili włączenia układu prąd ładowania kondensatora C1 do wartości bezpiecznej dla diod prostowniczych i filtr przeciwzakłóceńowy, jest prostowane za pomocą diod D1..D4. Kondensator filtrujący C1 ładuje się do napięcia szczytowego sieci, tj. około 310V. Napięciem tym jest zasilany cały układ przetwornicy znajdujący się po pierwotnej stronie uzwojenia transformatora. Przepływ prądu przez uzwojenie pierwotne U1 jest przerywany kluczem wykonanym na tranzystorze MOSFET T1. W obwodzie źródła tego tranzystora znajduje się rezystor R2, dostarczający kontrolerowi przetwornicy informacji o energii, jaka jest zgromadzona w transformatorze (energia ta jest proporcjonalna do kwadratu prądu w uzwojeniu pierwotnym). Przebiegi prądowe w uzwojeniach transformatora przedstawiono na **rys.2**.

Z pracą klucza nieodłącznie związane są elementy jego zabezpieczenia przed uszkodzeniem. Elementy C11, R8, D6 ograniczają szybkość narastania napięcia na T1. W momencie, gdy tranzystor nie przewodzi, dioda D6 jest spolaryzowana w kierunku przewodzenia i tym samym kondensator C11 zostaje podłączony między masę i dren, spalniając wzrost napięcia na tranzystorze. Włączenie tranzystora powoduje



Rys. 1. Schemat elektryczny zasilacza.

z kolei spolaryzowanie diody w kierunku zaporowym i rozładowanie C11 przez rezystor R8. Ponieważ wartość szczytowa napięcia na T1 przekracza 700V, przeładowywany taką amplitudą napięcia kondensator przy częstotliwości 36 kHz jest źródłem dość dużych strat mocy sięgających 12mW/1pF, co pogarsza nieestety sprawność zasilacza. W podobny sposób działa dwójnik R9, C12, D7, tłumiąca energię przepięć powstających w reaktancji rozproszenia transformatora.

Pole magnetyczne wytwarzane przez cewkę transformatora w zasadzie powinno w całości skupiać się tylko w rdzeniu. Tak oczywiście nie jest i zawsze niewielka jego część (nazywana polem rozproszonym) pozostaje poza rdzeniem. W polu magnetycznym rozproszonym również gromadzi się energia. Jej obecność dla układu elektronicznego objawia się w momencie wyłączenia (zatkania) tranzystora - wtedy to, zamiast być skierowaną do obciążenia (jak ta zgromadzona w rdzeniu), rozładowuje się w sposób pojemnościowy przez tranzystor. Jest to dla niego bardzo duże obciążenie - uszkodzenie któregośkolwiek z elementów obwodu zabezpieczenia, pochłaniającego część tej energii, prawie zawsze powoduje natychmiastowe uszkodzenie tranzystora kluczującego. Ponieważ nie jest on elementem tanim, radzę wszystkim, aby kilkakrotnie sprawdzili

wartości użytych elementów przed włączeniem zasilania oraz oczywiście użyli podzespołów najwyższej jakości.

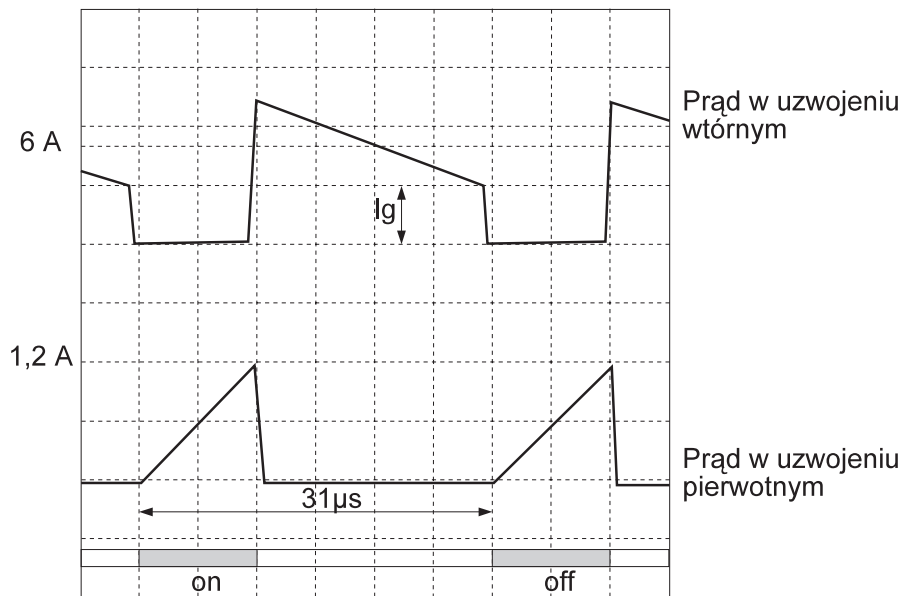
Im tranzystor ma lepsze parametry, tym wartości pojemności obwodu zabezpieczającego mogą być mniejsze. Należy pamiętać, że staranne wykonanie transformatora może zmniejszyć wielkość pola rozproszenia. Modelowy układ pracował poprawnie (w różnych warunkach obciążenia) nawet z C12=82pF i C11=270 pF. Chętni mogą zatem poeksperymentować - ryzykują zniszczenie T1, mogą natomiast zyskać większą sprawność układu.

Pracą przetwornicy steruje układ scalony UC3842 produkcji Philipsa, realizujący wszystkie potrzebne funkcje przetwornicy o stałej częstotliwości pracy i regulacji mocy przez zmianę współczynnika wypełnienia impulsu. Dużą zaletą tego układu jest możliwość bezpośredniego sterowania klucza (tranzystora MOSFET z kanałem N o pojemności bramki - źródło nie większej niż 1nF) oraz to, iż do startu układu wymagany jest jedynie prąd zasilający 1mA. Zatem nie jest potrzebny pomocniczy zasilacz oraz driver stopnia mocy.

Funkcje wyprowadzeń są następujące. Końcówka 6 jest wyjściem stopnia mocy o napięciu 12V i wydajności prądowej 200 mA, co zapewnia możliwość wysterowania praktycznie każdego FET-a mocy.

Z kolei wyprowadzenie 3 jest wejściem komparatora czujnika prądu w uzwojeniu pierwotnym. Po włączeniu tranzystora jego prąd przewodzenia narasta liniowo, aż do chwili, gdy napięcie na nóżce 3 osiągnie 1V. Jest to dla układu sygnał do wyłączenia klucza, ponieważ transformator (właściwie: dławik dwuzwojowy) zgromadził już potrzebną energię.

Zasilanie układu jest podawane na nóżkę 7. W momencie włączenia układu do sieci, napięcie na niej „bada” układ startowy. Wystarczy, by napięcie na układzie przekroczyło 10V (pobór prądu 1mA), aby układy wewnętrzne UC3842 zaczęły pracować poprawnie (m.in. źródło napięcia odniesienia). Po dalszym wzroście zasilania do poziomu 16V układ startowy odblokowuje stopień mocy i przetwornica startuje. Do prawidłowego i pewnego jej uruchomienia konieczna jest obecność kondensatora C9 o pojemności 100µF. Zgromadzona w nim energia musi wystarczyć do przełączenia klucza T. Po starcie układ jest już zasilany napięciem z uzwojenia U2, wyprostowanym przez diodę D5. Rezystor R6 zapewnia przepływ prądu startowego 1mA po załączeniu napięcia sieci. Gdy napięcie zasilania układu spadnie do 10V, np. na skutek zbyt małego napięcia w sieci lub zwarcia na wyjściu zasilacza, stopień mocy jest blokowany i cały cykl startu powtarza się. Układ jest



Rys. 2. Przebiegi prądowe w uzwojeniach transformatora impulsowego.

zabezpieczony przed nadmiernym wzrostem napięcia, jaki mógłby pojawić się przy np. uszkodzonym T1 - wewnątrz układu znajduje się dioda Zenera 34V: pomiędzy zasilaniem a masą (końcówka 5).

Wyprowadzenie 8, to wyjście źródła napięcia odniesienia 5V - jego wydajność prądowa wynosi 1mA.

Końcówka 2 jest wejściem odwracającym wzmacniacza napięcia błędów, a wejście nieodwracające jest wewnętrznie podłączone do potencjału 2,5V. Wyjście wzmacniacza błędów jest dostępne na wyprowadzeniu 1. Wykorzystuje się go do zapewnienia właściwej kompensacji częstotliwościowej układu. Elementy R7 i C5 dołączone między wyjście napięcia odniesienia a końcówkę 4, decydują o częstotliwości pracy układu.

Zadaniem transformatora jest gromadzenie energii w polu magnetycznym podczas włączenia klucza oraz jej odpowiednie przekazanie do obciążenia. W zasadzie nazwa transformator jest nie najszczęśliwsza do określania tego elementu; z uwagi na charakter pracy jest on bowiem dławikiem. Oprócz uzwojenia pierwotnego (magnesującego) U1 i dwóch uzwojeń wtórnych U3 i U4 - identycznych i nawijanych bifilarnie, na karkasie znajduje się jeszcze jedno uzwojenie U2, dostarczające napięcie 16V do zasilania kontrolera przetwornicy.

W czasie gdy T1 nie przewodzi, zgromadzona energia magnetyczna indukuje w uzwojeniu wtórnym prąd, który poprzez podwójną diodę D8, D9 jest przekazywany do obciążenia. Kondensatory C14 i C15 tłumią tętnienia napięcia wyjściowego. Należy zwrócić uwagę na kierunki nawinięcia uzwojeń (początki oznaczone są na schemacie kropką) - uzwojenia wtórne są odwrócone w stosunku do pierwotnego, gdyż indukowane w nich napięcie ma przeciwny znak.

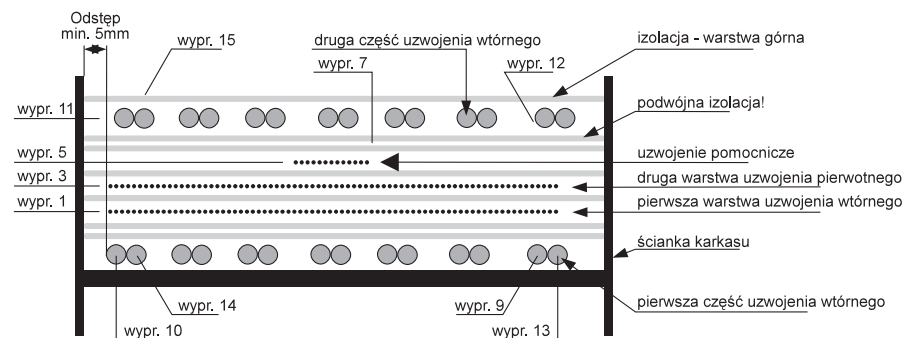
Układ stabilizacji składa się z dwóch niezależnych części. Zadaniem pierwszej jest utrzymanie napięcia zasilania układu kontrolera na poziomie 16 V. Dzielnik R11 i R12 został tak dobrany, że napięcie na końcówce 2 wynosi dokładnie 2,5V, przy napięciu zasilania 16V. Kontroler zatem tak steruje współczynnikiem wypełnienia impulsów klucza, aby napięcie na wyprowadzeniu 2 wynosiło 2,5 V, to zaś daje zasilanie

16 V. Ponieważ uzwojenie U2 jest silnie sprzężone magnetycznie z U3 i U4, napięcie wyjściowe też jest stabilizowane. Z uwagi na spadek napięcia na rezystancji uzwojenia wtórnego, stabilizacja taka nie jest najlepsza. Wprawdzie można jej jakość polepszyć stosując uzwojenie wtórne złożone z kilku przewodów, a nie tylko dwóch lub nawijając uzwojenie pomocnicze bifilarnie z wtórnym (izolacja!). Lepiej jednak zastosować dodatkowy układ z transoptorem. Dodatkowy układ stabilizacji zmienia za pomocą rezystora R13 i transoptora stosunek podziału dzielnika R11 i R12. Im LED w transoptorze jaśniej świeci, tym napięcie wyjściowe jest niższe. Jasnością LED steruje tranzystor T2, zaczyna on przewodzić przy napięciu wyjściowym ok. 12,5V, nie pozwalając na dalszy wzrost napięcia i odwrotnie.

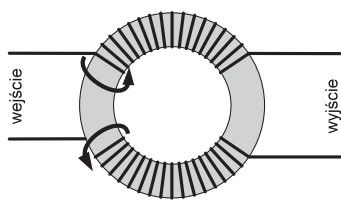
### Wykonanie transformatora i dławika

Do wykonania transformatora użyto rdzenia typu ETD44 produkcji POLFER-u, specjalnie przeznaczonego do zasilaczy impulsowych o częstotliwości pracy niższej niż 100 kHz. Na komplet składają się dwie kształtki typu „E” i karkas. Dla poprawnej pracy (brak nasycenia) i właściwych parametrów, rdzeń musi mieć szczelinę powietrzną o szerokości 2mm na środkowej kolumnie. Maksymalna moc przetwornicy zaporowej z ETD44 nie powinna przekraczać 100W.

Dla zminimalizowania niepożądanego indukcji rozproszenia i zapewnienia maksymalnie silnego sprzężenia pomiędzy uzwojeniami i co najważniejsze, dla bezpiecznej eksploatacji, nawijanie uzwojeń powinno być zrealizowane według następującego schematu:



Rys. 3. Rozkład uzwojeń transformatora impulsowego.



Rys. 4. Sposób nawinięcia dławika przeciwzakłóceńowego.

- wszystkie uzwojenia nawija się w tym samym kierunku, układając starannie zwój przy zwoju, dokładnie zaznaczając początki i podłączając do nóżek karkasu zgodnie ze schematem;
- uzwojenie wtórne nawija się dwoma przewodami jednocześnie (bifilarnie) - na schemacie dla lepszej czytelności zostało ono rozbite na dwa pojedyncze;
- nigdy nie wolno nawijać uzwojeń od ścianki do ścianki karkasu, konieczny jest odstęp 5 mm dla wyeliminowania przebiegów międzyuzwojeniowych;
- każda warstwa uzwojenia musi przed położeniem następnej zostać starannie zaizolowana taśmą styroflexową, preszpanem lub ceratką olejową - izolacja pomiędzy uzwojeniem wtórnym a pozostałymi, z uwagi na bezpieczeństwo użytkownika, powinna być podwójna;
- należy zadbać, aby końce uzwojeń były wyprowadzane do punktów lutowniczych karkasu dostatecznie daleko od siebie - korzystne jest nałożyć na nie dodatkowe koszulki izolacyjne;
- kolejność układania uzwojeń powinna być jak na rysunku 1: na samym dole nawija się połowę uzwojenia wtórnego (7 zwojów, dwoma przewodami, w jednej warstwie), następnie uzwojenie pierwotne (136 zwojów, w dwóch lub trzech warstwach), później uzwojenie pomocnicze (11 zwojów, na środku karkasu), aż w końcu drugą połowę uzwojenia wtórnego.

Po nawinięciu uzwojeń i złożeniu rdzenia warto jest skontrolować indukcyjność uzwojenia pierwotnego. Powinna ona wynosić 2,8mH z tolerancją -10% i +20%. Nieprawidłowa wartość może świadczyć na przykład o:

- pomyłce w liczeniu zwojów;
- innym typie rdzenia lub materiale, z którego jest wykonany;
- złej wartości szczeliny powiet-

rznej;

- zwarcjach w pozostałych uzwojeniach.

Pomocą w wykonaniu transformatora będzie **rys.3**.

Nie wolno korygować wielkości indukcyjności poprzez wkładanie przekładek pod kolumny boczne rdzenia. Szczelina musi być tylko na kolumnie środkowej.

O wiele prostsze jest wykonanie dławika przeciwzakłóceńowego. Na toroidalnym rdzeniu RP 18x10x6 należy nawinąć izolowanym przewodem (np. telefonicznym) dwa uzwojenia po 15 zwojów, w sposób pokazany na **rys.**

**4.** Ważne jest, aby strumienie magnetyczne wytwarzane przez te uzwojenia znosiły się (inaczej dławik nie będzie działał!). Jedno musi być zatem nawinięte w prawo, a drugie w lewo. Na dławiku występuje napięcie sieci, a napięcie na transformatorze może przewyższać 700 V. Dlatego właściwa izolacja i staranne wykonanie tych elementów jest niezwykle ważne.

### Montaż i uruchomienie

Układ należy zmontować na płytce drukowanej (jej widok znajduje się na wkładce wewnątrz numeru) według typowych zasad. Rozmieszczenie elementów przedstawiono na ry.5. Rezystory mocy powinny być umieszczone możliwie wysoko nad powierzchnią płytki, aby nie podgrzewały jej i sąsiednich elementów. Tranzystor kluczujący powinien zostać przykręcony do niewielkiego radiatora o wymiarach ok. 25x35mm. Diody wyjściowe wymagają większego radiatora, wykonanego z blachy aluminiowej 1,5mm, o wymiarach 60x40mm. Zamiast jednej podwójnej diody MUR1545 można użyć dwóch diod pojedynczych BY29/100. Płytkę drukowaną umożliwia taką zamianę bez przeróbek.

Do uruchomienia zasilacza wystarczy dwie żarówki samochodowe: 21W/12V i halogenowa 55W/12V, rezystor 100Ω/2W (zamiast bezpiecznika) i miernik uniwersalny. Należy pamiętać, że strona pierwotna układu jest pod napięciem sieci energetycznej. Konieczne jest zatem zachowanie daleko idącej ostrożności! Do wyjścia układu podłączamy żarówkę 21W, wylutowujemy jednym końcem re-

### WYKAZ ELEMENTÓW

#### Rezystory

(jeśli nie podano mocy, wynosi ona 0,125W)

- R1: 4,7Ω min. 2W drutowy
- R2: 0,75Ω/2W nie używać drutowych
- R3: 1kΩ
- R4: 27Ω
- R5: 20kΩ
- R6: 180kΩ/1W
- R7: 10kΩ
- R8: 2,2kΩ/2W
- R9: 4,7kΩ/4W
- R10: 150kΩ
- R11: 22kΩ
- R12: 3,6kΩ
- R13: 15kΩ
- R14: 1,5kΩ/0,5W
- R15: 1,8kΩ
- R16, R17: 100Ω
- R18: 470Ω

#### Kondensatory

- C1: 220μF/400V
- C2, C3: 100nF/400V
- C4: 10nF/63V
- C5: 5,6nF/63V
- C6: 470pF/63V
- C8: 100pF/63V
- C9: 100μF/35V
- C10: 100nF/63V
- C11: 470pF/1,5kV
- C12: 150pF/1,5kV
- C13: 100μF/10V
- C14, C15: 4700μF/35V
- C16: 220nF/63V

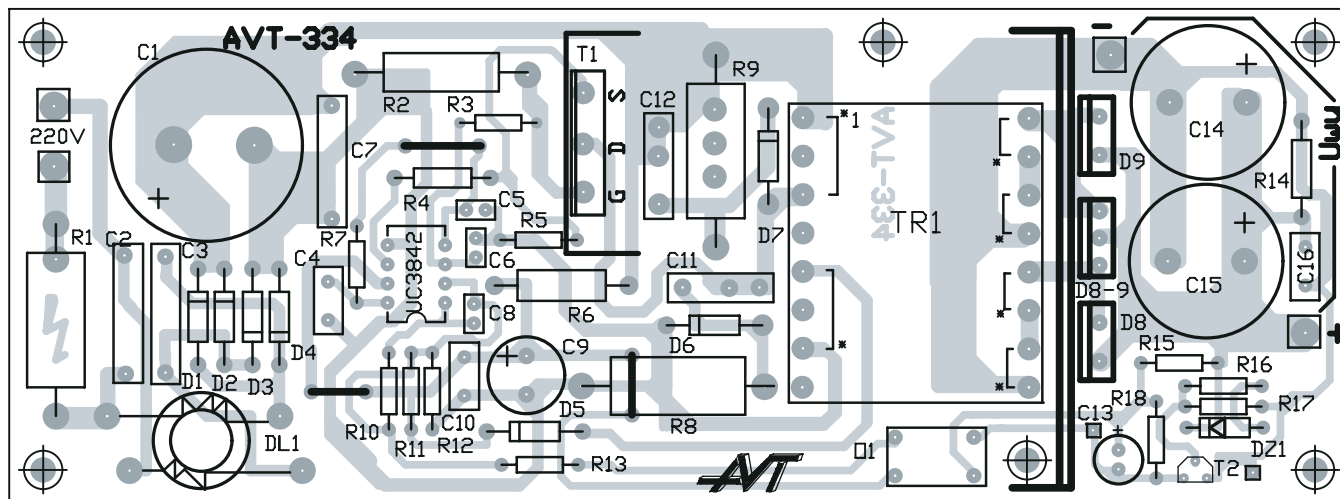
#### Półprzewodniki

- D1..D4: 1N4006
- D5: BA157 lub BA159
- D6, D7: BA159
- D8..D9: MUR1545 lub 2 szt. BY29/100
- DZ1: BZY55C12
- O1: CNY64
- T1: BUZ355 lub odpowiednik BUZ80
- T2: BC238
- U1: UC3842

#### Różne

TR1: transformator wg opisu na rdzeniu i karkasie ETD44 Polfer, szczelina 2 mm, uzwojenie pierwotne 136 zwojów DNE 0,28 mm w dwóch lub trzech warstwach, uzwojenie wtórne 14 zwojów dwoma przewodami DNE 1,5, uzwojenie pomocnicze 11 zwojów DNE 0,28 mm. Uzwojenie wtórne dzielone na dwie połowy po 7 zwojów.  
DŁ1: dławik wg opisu na rdzeniu RP 18x10x6 F1001 Polfer lub podobny (2 razy 15 zwojów DNE 0,5 w izolacji polietylenowej)

W skład kitu wchodzi gotowy TR1 oraz DŁ1.



Rys. 5. Rozmieszczenie elementów na płycie drukowanej.

zystor R6 i podajemy napięcie sieci poprzez wymieniony powyżej rezystor 100Ω. Jeśli po włączeniu do sieci rezystor ten natychmiast się spali, oznacza to, że uszkodzone są obwody zabezpieczeń tranzystora, sam tranzystor, elementy przeciwzakłóceń i prostujące. Przy poprawnym działaniu nic złego nie powinno się stać, a napięcie na kondensatorze filtrującym powinno być równe około 310 V.

Do następnej próby wlotowujemy R6 i wylutowujemy R13 oraz R16. Po włączeniu napięcia sieci przetwornica powinna wystartować po około dwusekundowej zwłóce, a podłączona do wyjścia żarówka powinna się jasno świecić. Start przetwornicy można również poznać po cichym, krótkim pisku. Najgorzej, gdy spali się rezystor bezpiecznikowy. Oznaczać to może, iż tranzystor T1 uległ uszkodzeniu. Sytuacja taka może się zdarzyć przede wszystkim przy niestarannym wykonaniu transformatora lub zastosowaniu innego tranzystora, nie figurującego na liście odpowiedników.

„Milczenie“ przetwornicy może być spowodowane najprawdopodobniej: zwarcie na wyjściu transformatora (uszkodzone diody lub kondensator filtrujący), pomyłone końcówki początku i końca uzwojeń lub utratą pojemności kondensatora C9.

Na koniec wlotowujemy rezystory R13, R16 i sprawdzamy napięcie na wyjściu przetwornicy (powinno ono zmaleć w stosunku do stanu poprzedniego). Pomiar

należy powtórzyć bez obciążenia i z obciążeniem 55W, aby przekonać się czy układ stabilizacji działa poprawnie. Na tym uruchomienie można uznać za zakończone. Gdy układ podczas pracy z pełnym obciążeniem źle stabilizuje lub nawet „szumi“ transformator, można zwiększyć wartość pojemności C6 do 1nF.

Przetwornicy nie należy używać bez obciążenia. Nie grozi to wprowadzie jej uszkodzeniem, ale może powodować jej niestabilną pracę.

### Proces projektowania

Jak już wspomniano na wstępie, poprawne obliczenie zasilacza impulsowego jest zadaniem dość trudnym. Oprócz znajomości metodologii trzeba dysponować dokładnymi katalogami elementów, z czym nieraz bywa duży kłopot. W konstrukcji amatorskiej można jednak pozwolić sobie na szereg uproszczeń sprowadzających proces projektowy do prostych wzorów znanych z fizyki. Istota takiego uproszczenia polega głównie na nadmiarowości projektu. Na przykład w niniejszym projekcie wykorzystano rdzeń transformatora „o numer większy“ niż trzeba, aby nie martwić się, czy będzie się on nasycał. Takie uproszczenia nie mają oczywiście miejsca w procesach produkcyjnych, gdzie nadmiarowość każdego elementu ma realny wymiar kosztowy. Ale do rzeczy.

Załóżmy, że chcemy zaprojektować, w oparciu o opisany powyżej układ, zasilacz impulsowy o następujących parametrach: na-

pięcie wyjściowe 12V i maksymalny prąd obciążenia 6A (moc 72W). Na początku wyznaczmy moc, jaką musi przenieść transformator. Będzie ona większa od mocy dostarczanej do obciążenia, z uwagi na straty mocy w elementach prostownika wyjściowego oraz samym transformatorze. Należy więc zacząć od oszacowania mocy strat w tych elementach:

- transformator - 4W w rdzeniu (według danych katalogowych) i 1W w uzwojeniach,
- diody prostownicze - 3,6W (6A prąd 0,6V spadku napięcia),
- przewody, kondensatory filtru, układ stabilizacji - 1W.

Zatem sprawność układu wyjściowego:

$$\eta = \frac{P_{wy}}{P_{wy} + P_s} = \frac{72W}{72W + 9,6W} = 88\%$$

(wyniki zaokrąglamy).

Można zatem obliczyć moc doprowadzoną do transformatora. Warto zwiększyć ją o np. 5%, aby układ miał choć minimalną rezerwę. Tak więc moc układu powinna wynosić około:

$$P = \frac{P_{wy}}{\eta} \cdot 1,05 = 86W$$

Z kolei należy oszacować maksymalną wartość współczynnika wypełnienia klucza.

Ogólnie, w każdych warunkach pracy przetwornicy, nawet przy pracy z mocą maksymalną, czas włączenia tranzystora kluczującego powinien być mniejszy od czasu, w którym tranzystor jest wyłączony. W zasadzie, im krótszy jest czas włączenia tranzystora, tym lepiej, gdyż tętnienia

napięcia wyjściowego są mniejsze. Dobrym oszacowaniem jest przyjęcie np.  $\gamma=0,35$ .

Napięcie wyjściowe jest określone zależnością:

$$U_{wy} = \frac{U_i \cdot \gamma}{n \cdot (1-\gamma)}$$

gdzie  $U_i$  jest napięciem wejściowym (300V po uwzględnieniu spadków napięć na diodach prostowniczych i rezystorze R1), a  $n$  przekładnią transformatora.  $U_{wy}$  należy przyjąć o 1..2 V większe od założonego napięcia wyjściowego ze względu na spadek napięcia na diodach prostowniczych. Tak więc  $U_{wy} = 14V$ . Po przekształceniu powyższego wzoru i podstawieniu danych otrzymujemy wartość przekładni transformatora  $n=11,5$ . Częstotliwość pracy przetwornicy wynosi ok. 36kHz, co daje okres drgań  $T=28\mu s$ . Minimalna wartość indukcyjności uzwojenia pierwotnego jest określona zależnością:

$$L_{min} = \frac{nU_{wy}U_{we}}{nU_{wy}+U_{we}} \cdot \frac{T}{2P}$$

Po podstawieniu wartości otrzymujemy  $L_{min} = 2$  mH. Do dalszych obliczeń wartość tę należy zwiększyć, co da niezbędny zapas, aby przetwornica pracowała zawsze z tzw. energią w indukcyjności większą od zera. Przyjmujemy zatem np.  $L=2,8$ mH. Fizycznie sens minimalnej indukcyjności sprowa-

dza się do tego, że w czasie wyłączenia tranzystora kluczującego prąd płynący przez diody D8 i D9 nie powinien spaść do zera. Zostało to pokazane na rys. 2 -  $I_g$  musi być większe od zera.

Rdzeń ETD44, jaki został użyty do wykonania transformatora, ma stałą  $A_1=150$  (przy szczelinie 2 mm). Stała ta określa indukcyjność w nanohenrach jednego zwoju drutu nawiniętego na karkasie. Łatwo zatem jest obliczyć, ile zwojów ma mieć uzwojenie pierwotne:

$$Z_p = \sqrt{\frac{L}{A_1}}$$

Po podstawieniu danych otrzymujemy  $Z_p = 136$  zwojów. Liczba zwojów na wolt powinna mieścić się optymalnie w zakresie 2..3. W omawianym przypadku zależność ta jest spełniona. Pozostaje wyliczyć uzwojenie wtórne i pomocnicze. Liczbę zwojów uzwojenia wtórnego wyznacza się dzieląc liczbę zwojów uzwojenia pierwotnego przez przekładnię i dodając ok. 15%, aby skompensować spadek napięcia na rezystancji przewodu:

$$Z_w = \frac{Z_p}{n} \cdot 1,15 = 14 \text{ zwojów}$$

zaś liczbę zwojów uzwojenia pomocniczego wyznacza się analogicznie dla napięcia wyjściowego 16V. Wyliczamy przekładnię dla

16 V, a później liczbę zwojów, jak we wzorze powyżej, i odejmujemy 15% na spadki napięć.

$$Z_{pom} = 11 \text{ zwojów}$$

Na koniec pozostało oszacować wartość rezystora R2. Spadek napięcia uaktywniający komparator UC3842 wynosi 1V. Wartość prądu, jaki popłynie przez cewkę w tym momencie, będzie wynosiła:

$$I_p = \frac{U_{we} \cdot \gamma \cdot T}{L}$$

Do obliczeń warto podać minimalną wartość indukcyjności jaka może się zdarzyć, a więc 2,8 mH - 10% = 2,5 mH. Stąd  $I_p = 1,2A$

$$R2 = \frac{1V}{I_p} = 0,82\Omega$$

(zaokr. w dół do wartości z szeregu 0,75 $\Omega$ ).

Minimalne napięcie zaporowe diod prostowniczych wynosi:

$$U_d = \frac{U_i}{n} + U_{wy} = 34V$$

Obliczenie grubości przewodów nawojowych pozostawiam Czytelnikom. Wystarczy wzorować się na wartościach podanych dla niniejszej aplikacji, przyjmując jako stałą gęstość prądu w miedzi min. 2,5 A/mm<sup>2</sup>. Należy również zmienić wartość napięcia diody Zenera na odpowiednio do projektowanego napięcia wyjściowego.

**Robert Magdziak, AVT**