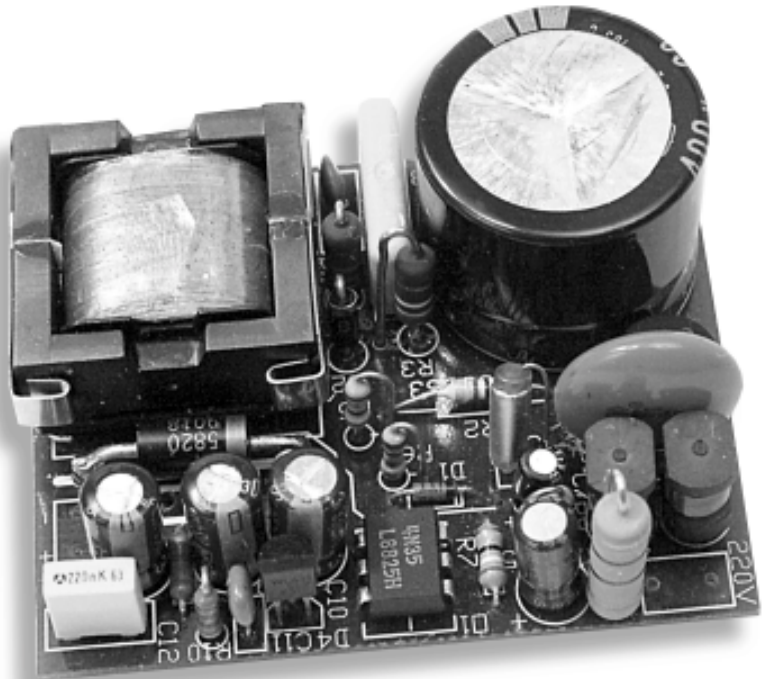


Zasilacz bez radiatorów

kit AVT-463

Układ jest miniaturowym, gotowym do wykorzystania we własnych konstrukcjach zasilaczem stabilizowanym o napięciu 5V i maksymalnej wydajności prądowej 1,5A. Całość zmontowano na płytce o wymiarach 50x50mm i ma wysokość 20mm, dzięki czemu można ten zasilacz wbudować nawet w małą obudowę w postaci wtyczki sieciowej.



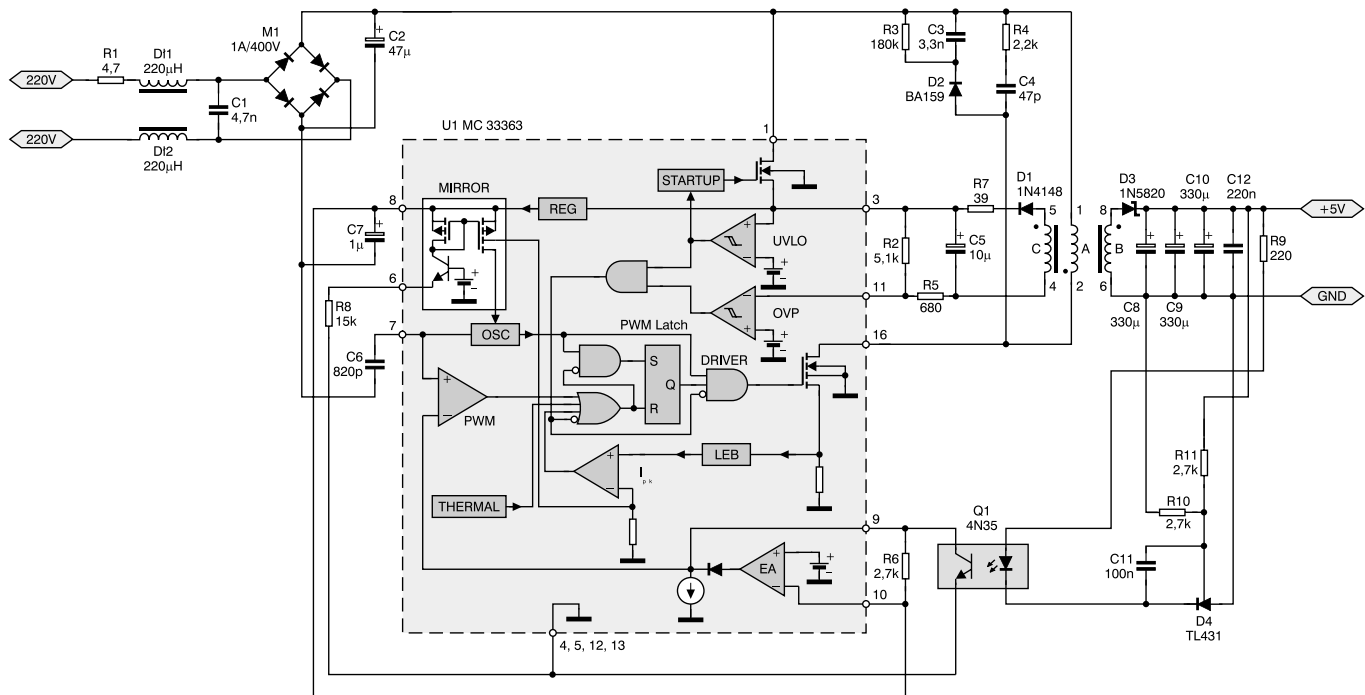
Podane wymiary, aczkolwiek i tak już niewielkie, nie są szczytem miniaturyzacji układu. Płytkę drukowaną została zaprojektowana dość luźno, aby nie było kłopotów z montażem elementów. Układ jest klasyczną przetwornicą zaporową (ang. flyback offline converter) pracującą z częstotliwością kluczowania 100kHz. „Sercem“ zasilacza jest scalony kontroler Motoroli MC33363 - zaawansowany układ o wysokich walorach użytkowych - jeden z niewielu monolitycznych układów na rynku, zawierających wysokonapięciowy MOSFET mocy o znakomitych parametrach: $U_{DSmax}=700V$ i $I_{Dmax}=1A$. Dzięki temu może on być bezpośrednio zasilany wyprostowanym napięciem sieciowym o wartości do 240V.

Dobre parametry tranzystora kluczującego oraz szereg ciekawych technik układowych, dodatkowo redukujących moc traconą w układzie scalonym, pozwoliły zamknąć strukturę układu w obudowie do montażu powierzchniowego, a do rozpraszania ciepła użyć odpowiednio powiększonej mozaiki ścieżek na płytce drukowanej. W efekcie, prezentowany układ jest w ogóle pozbawiony klasycznych radiatorów i jego sprawność przekracza 75%.

Opis układu

Schemat elektryczny zasilacza przedstawiono na rys. 1. Wejściowe napięcie sieci poprzez szeregowy rezystor R1 jest podawane na filtr przeciwzakłóceńowy. R1 pełni w zasilaczu rolę podwójną: ogranicza prąd ładowania kondensatora C3 w momencie włączenia zasilacza do sieci i jest również bezpiecznikiem, przepalającym się przy zwarcjach w układzie. Z uwagi na niedużą moc wyjściową zasilacza zrezygnowano z budowy skompensowanego prądowo dławika w filtrze przeciwzakłóceńowym. Zamiast niego użyto dwóch tanich i gotowych dławików tworzących dla zakłóceń wraz z pojemnością C1 filtr dolnoprzepustowy.

Wyprostowane w mostku M1 napięcie jest filtrowane za pomocą kondensatora C3. Układ zasilacza może pracować w szerokim przedziale napięć zasilających, bez konieczności dokonywania jakichkolwiek przełączeń. Jest możliwe zasilanie z napięcia sieci 110V..240V. Napięcie na kondensatorze C3 może więc wahać się w granicach 140V..370V! Z odfiltrowanego napięcia sieci jest zasilany od razu układ startowy kontrolera.



Rys. 1. Schemat elektryczny zasilacza.

Główną częścią zasilacza jest oczywiście transformator impulsowy Tr1. Zawiera on trzy uzwojenia: A - pierwotne (magnesujące), B - wtórne i C - uzwojenie pomocnicze do zasilania kontrolera podczas pracy. Z uwagi na żadaną maksymalną prostotę układu i niewielkie wymiary, przetwornica pracuje w konfiguracji zaporowej (energia do obciążenia jest przekazywana przy wyłączonym tranzystorze kluczującym). Równolegle do uzwojenia pierwotnego zostały dołączone obwody chroniące klucz przed uszkodzeniem. Tworzą je dwójnik R4-C4, tłumiący szpilkowe skoki napięcia powstające na skutek przeładowywania pasożytniczych pojemności transformatora (m.in. pojemności międzyuzwojennych), oraz R3-C3 wraz z szybką diodą D2, zamieniający w ciepło energię jaka gromadzi się w indukcyjności rozproszenia transformatora. Z uwagi na dość dużą częstotliwość pracy, opisane powyżej elementy muszą być podzespołami wysokiej jakości - uszkodzenie w tej gałęzi jest praktycznie równoznaczne z uszkodzeniem tranzystora kluczującego w kontrolerze.

Przetransformowany do uzwojenia wtórnego prąd, poprzez diodę D3 ładuje pojemności C8..C12. Przy napięciu wyjściowym układu równym 5V możliwe jest zastoso-

waniu w tym miejscu diody Schottky'ego, co radykalnie obniża straty mocy. Zastosowana popularna dioda 1N5820 przy prądzie przewodzenia 1A ma spadek napięcia tylko 0,37V, nie ma zatem potrzeby korzystania z dodatkowego radiatora, co jest z pewnością istotną zaletą upraszczającą montaż. Ponieważ tętnienia napięcia wyjściowego przede wszystkim zależą od szkodliwej rezystancji szeregowej ESR kondensatora wyjściowego, tradycyjnie już pojedyncza pojemność została rozbita na trzy mniejsze i do tego zbocznikowane dobrej jakości kondensatorem foliowym. Im lepsze, pod względem wielkości ESR, zastosujemy pojemności, tym tętnienia będą mniejsze.

Ci z Czytelników, dla których tętnienia i szумы w napięciu wyjściowym są istotnym parametrem, powinni zdobyć elementy specjalnie przeznaczone do zasilaczy impulsowych. Jest to nieco kłopotliwe, ponieważ jak dotąd nie powstał żaden jednolity system oznaczeń takich kondensatorów ani też parametry te nie są na tych elementach drukowane. Innymi słowy, bez porządnego katalogu elementów biernych ani rusz.

Szczególnie istotną rolę w zasilaczu spełnia układ TL431. Ta regulowana dioda referencyjna pełni tutaj rolę źródła napięcia

odniesienia dla wzmacniacza napięcia błędu i sterownika diody LED zawartej w transoptorze Q1. Wielkość napięcia wyjściowego jest ustalana poprzez dobór wartości rezystancji w dzielniku R10 i R11. Kondensator C11, włączony pomiędzy katodę TL-a i jego wejście sterujące, zapewnia kompensację częstotliwościową układu.

Izolację galwaniczną dla sygnału sprzężenia zwrotnego zapewnia popularny lecz szybki transoptor Q1. Cechą charakterystyczną tego elementu jest wzmocnienie zbliżone do jedności (definiuje się je jako stosunek prądu diody LED do prądu przepływającego w ustalonych warunkach przez fototranzystor), przy jednocześnie dużej szybkości działania.

Wyjściowy tranzystor steruje bezpośrednio modulatorem PWM zawartym w kontrolerze. Włączony pomiędzy wyjściem napięcia odniesienia (10) układu U1, a wejściem PWM (9) rezystor R6 ogranicza wzmocnienie całej pętli sprzężenia zwrotnego do wartości zapewniającej stabilną pracę zasilacza, jednocześnie poprawiając warunki pracy fototranzystora. Źródło prądu zawarte w kontrolerze ma wydajność jedynie 270µA - jest to trochę za mało aby fototranzystor pracował w dobrych warunkach, a zastosowanie R6 zwiększa ten prąd do około 1mA.

Nieco o kontrolerze

Układ MC33363 jest nowym opracowaniem kontrolera przetwornicy impulsowej typu off-line, o wysokich walorach użytkowych i przeznaczonym do budowy miniaturowych i tanich zasilaczy o mocy do 20W. W strukturze półprzewodnikowej oprócz kontrolera umieszczone zostały dwa tranzystory MOS. Jeden kluczujący i drugi startowy o $U_{dsmax}=450V$, a całość może pracować przy zasilaniu bezpośrednio z sieci energetycznej 220V i to przy minimalnej liczbie zewnętrznych elementów. Szeroki zakres częstotliwości pracy, miniaturowa obudowa typu SOP16L i wysokie walory użytkowe sprawiają, że MC33363 jest wprost wymarzoną układem do budowy superminiaturowych zasilaczy małej mocy.

Wyprostowane napięcie sieci jest podawane na wyprowadzenie 1 kontrolera. Jest to wejście obwodu startowego. Ponieważ zawarty w strukturze tranzystor MOS ma kanał typu P, w miarę jak rośnie napięcie na C3, ładuje się również kondensator C5 dając w ten sposób zasilanie wewnętrznych obwodów kontrolera. Gdy napięcie na C5 przekroczy 15V, odpowiedni komparator wyłącza klucz startowy i obwód startu pozostaje nieaktywny.

To skomplikowane rozwiązanie pozwala uniknąć stosowania zewnętrznego rezystora startowego, charakterystycznego dla układów starszej generacji, jak na przykład znana już czytelnikom popularna rodzina UC384X, a przede wszystkim ograniczyć związane z nim straty mocy.

Na końcówkę 3 jest podawane zasilanie kontrolera podczas normalnej pracy układu. Uzyskuje się je z dodatkowego, pomocniczego uzwojenia na transformatorze. Bardzo ważną rolę w układzie pełni kondensator C5. Przy starcie przetwornicy jest on ładowany z obwodu startowego i wykorzystywany jako źródło energii dla układu podczas procesu uruchamiania, później filtruje prąd dostarczany przez uzwojenie pomocnicze.

Wyprowadzenie 11 jest wejściem obwodu zabezpieczającego przed zbyt dużym napięciem na wyjściu przetwornicy. Ponieważ uzwojenie wtórne (B) i pomocni-

cze (C) są silnie ze sobą sprzężone magnetycznie, wzrost napięcia na wyjściu powoduje proporcjonalny wzrost napięcia na końcówce 3. Dzielnik R2-R5 ustala próg zadziałania zabezpieczenia. Wartość progowa wyłączająca przetwornicę wynosi 2,6V. Zabezpieczenie przed zbyt dużym napięciem na wyjściu jest funkcją ochronną, zabezpieczającą przede wszystkim obciążenie zasilacza. Oprócz tego trzeba chronić kontroler przed próbą pracy ze zbyt niskim napięciem sieci - jest to realizowane wewnątrz kontrolera za pomocą dodatkowego komparatora kontrolującego napięcie na kondensatorze C5.

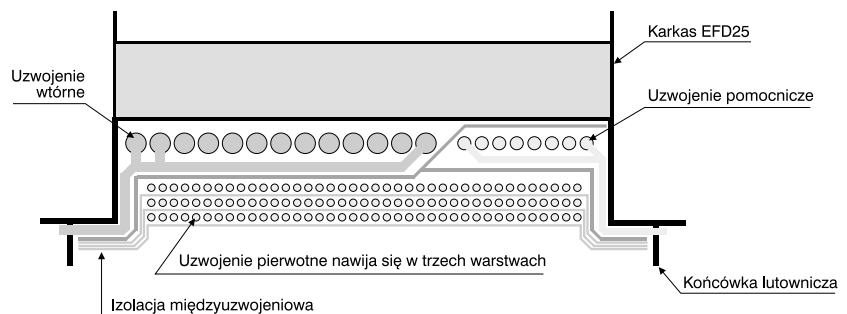
Końcówka 16 jest drenem tranzystora kluczującego N-MOS. Zdziwiająco dobre parametry elektryczne tego elementu osiągnięto poprzez wykonanie go w postaci 1780 równoległe połączonych tranzystorów! Ponieważ do poprawnej pracy kontrolera jest potrzebna informacja o tym jaki prąd płynie poprzez tranzystor (tj. przez uzwojenie pierwotne), to źródła 46 tranzystorów podłączone zostały do masy poprzez 9Ω rezystor. Zmniejszyło to istotnie straty mocy jakie wprowadzał ten rezystor pomiarowy, o obniżce kosztów i miniaturyzacji nie wspominając. Kolejne oszczędności przyniosło zintegrowanie w strukturze układu eliminatora zakłóceń związanych z przednim zboczem impulsu prądu. W momencie gdy tranzystor kluczujący zaczyna przewodzić, narastaniu prądu towarzyszy szereg zakłóceń wynikających na przykład z istnienia indukcyjności rozproszenia uzwojenia pierwotnego, istnienia pojemności międzyuzwojeniowych w transformatorze i wielu innych czynników.

W dotychczas spotykanych układach, napięcie pobierane

z umieszczonego w źródle klucza rezystora zanim trafiło do komparatora sprawdzającego jego poziom, przechodziło przez dodatkowy filtr dolnoprzepustowy RC eliminujący wspomniane zakłócenia. Nie zawsze był on dostatecznie skuteczny, co zmuszało konstruktora do bardzo starannego projektowania transformatora. Za małą stałą czasową objawiała się przeczesaniem układu oraz podwzbudzeniami, a przy dużej stałej czasu łatwo było uszkodzić tranzystor kluczujący, gdyż reakcja obwodów zabezpieczeń na sytuację alarmową następowała z opóźnieniem.

W układzie MC33363 problem ten został rozwiązany w sposób nietypowy i nowatorski, a kontrola wartości prądu następuje dopiero po określonym czasie zwłoki od momentu włączenia klucza, co daje gwarancję, iż pomiar odbywa się już w stanie ustalonym. Czas ten (typowo 230ns) jest na tyle krótki, że można się nie obawiać, że kontroler „przegapi” sytuację awaryjną.

Maksymalna wartość prądu, jaka może popłynąć przez klucz, w układzie klasycznym była dobierana poprzez wybór wartości rezystora źródłowego. W opisywanym układzie jest ona programowana za pomocą wartości rezystancji R8 dołączonej do końcówki 6. Wartość R8 steruje źródłem prądowym w taki sposób, że prąd płynący przez R6 wywołuje dokładnie 2,25 raza większy prąd płynący przez rezystor 450Ω ustalający maksymalną wartość prądu przepływającego przez tranzystor kluczujący. Jednocześnie poprzez wyjście źródła o począzwrnej wydajności prądowej, wartość R6 wpływa na prąd ładowania dołączonego do końcówki 7 kondensatora C6. Jest to wejście oscy-



Rys. 2. Sposób nawinięcia transformatora.

latora. Tak więc rezystorem R6 ustala się i maksymalną wartość prądu płynącego przez klucz i częstotliwość pracy układu.

Na wyprowadzeniu 8 jest dostępne wewnętrzne napięcie odniesienia układu o wartości 6,5V i maksymalnej obciążalności 10mA. W typowych zastosowaniach jest ono używane do realizacji pętli sprzężenia zwrotnego. Dla poprawnej pracy kontrolera wyjście napięcia odniesienia powinno być zablokowane dobrej jakości kondensatorem. Wewnątrz struktury został również umieszczony wzmacniacz napięcia błędu. Na zewnątrz układu zostało wyprowadzone jego wejście odwracające (końcówka 10) oraz wyjście (końcówka 9) pozwalające skompensować pętlę sprzężenia zwrotnego. Wejście nieodwracające zostało podłączone do źródła napięcia o wartości 2,6V. Dodatkowa dioda na wyjściu wzmacniacza napięcia błędu oraz źródło prądowe 270µA pozwalają na wyłączenie i ominięcie wewnętrznego wzmacniacza błędu, co pozwala bezpośrednio sterować modulatorem szerokości impulsów kluczujących, na przykład za pomocą tranzystora zawartego w transoptorze.

Chłodzenie kontrolera

W opisywanym zasilaczu wykorzystano układ MC33363 w obudowie typu SOP-16L, przeznaczoną do montażu powierzchniowego. Z uwagi, że układ jest zasilany z napięcia przekraczającego 300V, a na drenie tranzystora kluczującego pojawiają się impulsy napięcia o wartościach szczytowych bliskich 700V, w obudowie usunięto trzy końcówki, aby powiększyć odstęp pomiędzy „wysokonapięciowymi” wyprowadzeniami, a resztą układu. Głównym elementem transportującym ciepło od struktury układu są środkowe wyprowadzenia masy 4,5 oraz 12 i 13, a rolę radiatora pełni odpowiednio duża powierzchnia miedzi na płytce drukowanej - układ MC33363 jako jedyny element zasilacza jest montowany od strony ścieżek. Nad prawidłowym rozpraszaniem ciepła czuwa zawarty w układzie wyłącznik termiczny blokujący klucz po przekroczeniu 155°C temperatury półprzewodnika.

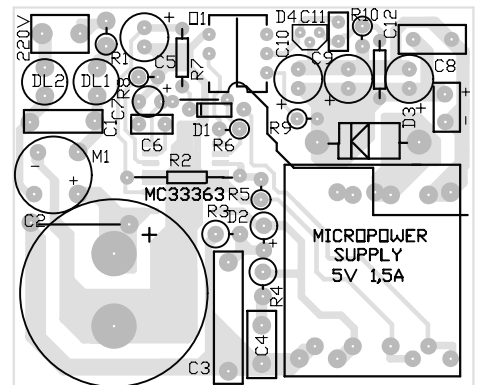
Transformator

Dobre parametry zasilacza, przy jednocześnie niewielkich wymiarach, wymagają pracy z dość dużymi częstotliwościami kluczkowania - opisywany zasilacz pracuje na 100kHz. Przy takiej częstotliwości nie można już użyć popularnych i łatwych do kupienia kształtek ferrytowych z materiału F807 Polferu. Pracowałyby one na granicy swych fizycznych możliwości i poza rekomendowanym przez producenta zakresem częstotliwości (10..80kHz).

Dlatego też, tym razem, do wykonania transformatora użyty został popularny rdzeń EFD25 z materiału 3F3 produkcji Philipsa. Zakres częstotliwościowy tego gatunku ferrytu leży w granicach 50..500 kHz, przy jednocześnie niewielkich stratach i zwartej płaskiej konstrukcji kształtki EFD (ang. Economic Flat Design). Jest to idealne rozwiązanie dla nowoczesnych konstrukcji. Materiał 3F3 ma dla konstruktora jeszcze dodatkową zaletę, a straty mocy w nim są prawie dwukrotnie mniejsze od „zwykłego” ferrytu F807, przy bardzo podobnych parametrach.

Nawijanie transformatora rozpoczyna się od uzwojenia wtórnego (B). Dla ograniczenia efektu naskórkowego oraz mając na uwadze to, że cieńszy drut łatwiej jest ułożyć i wymodelować na karkasie, uzwojenie to nawija się bifilarnie dwoma przewodami o średnicy 0,7mm jednocześnie. Początek drutu mocuje się do końcówki 8 karkasu i nawija ściśle 5 zwojów, podłączając koniec do końcówki 6 (patrz rys. 2).

Ułożony drut trzeba starannie zaizolować taśmą styroflexową lub innym dielektrykiem odpornym na wysoką temperaturę, zwracając szczególną uwagę na dobre przykrycie brzegów. Aby mieć gwarancję bezpieczeństwa pracy układu, powinno się położyć trzy warstwy folii. Podczas nawijania objawia się chyba jedyna wada rdzenia EFD - jest on na tyle zwarty, że na uzwojenie jest niewiele miejsca i trzeba się pilnować, aby nawijać i izolować w ciasnych warstwach. Z tego też powodu nawijane następne w kolejności uzwojenie pomocnicze



Rys. 3. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej.

(C) trzeba nawinać obok wtórnego, dodając pod uzwojeniem dodatkowy pasek izolujący. Początek mocuje się do końcówki 5, a koniec do 4. Nawijamy tu 13 zwojów drutu o średnicy około 0,2..0,3mm. Gotowe uzwojenie przykrywa się pojedynczą warstwą izolacji, po czym pozostaje nawinać uzwojenie pierwotne (A). Nawijanie rozpoczyna się od końcówki 2, a kończy na 1. Uzwojenie liczy sobie 75 zwojów drutu o średnicy 0,3mm, w trzech warstwach przełożonych cienką izolacją. Na koniec trzeba wyciąć nie wykorzystane nóżki karkasu i zmontować rdzeń przedzielając jego boczne kolumny przekładkami izolacyjnymi o grubości około 0,15mm, tak aby indukcyjność uzwojenia pierwotnego była równa 1,1mH!

Gdyby w oknie rdzenia zabrakło miejsca, transformator trzeba niestety przewinać - jednym z praktycznych sposobów na ściśle nawijanie jest pewne unieruchomienie karkasu, np. w małym imadle.

Montaż i uruchomienie

Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej zasilacza przedstawiono na rys. 3. Mozaikę ścieżek przedstawiono na wkładce wewnątrz numeru.

Podczas montowania zasilacza należy kierować się ogólnie przyjętymi zasadami kolejności lutowania elementów. Jedynym problemem może być poprawne zamontowanie kontrolera. Ponieważ jest to układ typu SMD, to trzeba go przylutować od strony ścieżek. Na niektórych końcówkach układu występuje wysokie napięcie, inne z kolei odprowadzają ciepło

WYKAZ ELEMENTÓW**Rezystory**

R1: 4,7Ω/2W drutowy
 R2: 5,1kΩ/0,125W
 R3: 180kΩ/1W miniaturowy
 R4: 2,2kΩ/1W miniaturowy
 R5: 680Ω/0,125W
 R6, R10, R11: 2,7kΩ/0,125W
 R7: 39Ω/0,125W
 R8: 15kΩ/0,125W
 R9: 220Ω/0,125W

Kondensatory

C1: 4,7nF 400V ceramiczny
 C2: 47μF/400V średnica 25mm
 wysokość maks. 20mm
 C3: 3,3nF/1kV - foliowy,
 4x17x10mm, raster 15mm
 C4: 47pF/1kV - ceramiczny
 C5: 10μF/25V
 C6: 820pF/63V styroflexowy lub
 foliowy
 C7: 1μF/10V tantalowy
 C8, C9, C10: 330μF/6,3V -
 średnica 6mm, wysokość 10 mm,
 niski ESR
 C11: 100nF/63V - foliowy
 C12: 220 nF/63V

Półprzewodniki

U1: MC33363DW, obudowa
 SOP16L
 M1: mostek okrągły 1A/400V
 D1: 1N4148
 D2: BA159
 D3: 1N5820
 D4: TL431 (obudowa TO-92)
 O1: 4N35

Różne

Dł1, Dł2: dławiki 220μH/0,3A, np.
 DSP DSp70.10-221K
 TR1: transformator impulsowy
 według opisu w tekście rdzeń
 EFD25 z materiału 3F3 (Philips) +
 karkas + dwie zapinki

ze struktury. Montaż powinien być zatem szczególnie precyzyjny i staranny.

Uruchomienie zasilacza rozpoczynamy od strony wtórnej. Do zacisków wyjściowych podłączamy regulowany zasilacz warsztatowy, a szeregowo z rezystorem R9 włączamy czerwoną diodę LED. Gdy napięcie z zasilacza będzie mniejsze od około 5V, LED powinien świecić tylko minimalnie. Gdy po przekroczeniu napięcia 5V jasność świecenia diody gwałtownie wzrośnie, uruchamianie strony wtórnej zasilacza można uznać za zakończone.

Nieco gorzej będzie ze stroną pierwotną, gdyż z uwagi na wysoki stopień zintegrowania funkcji przetwornicy w kontrolerze, układ trudno jest uruchamiać krokowo. Pozostaje więc obciążyć zasilacz żarówką 6,3V/2W lub podobną i włączyć go do sieci poprzez dodatkowy rezystor bezpiecznikowy (30..100Ω/2W).

Przed próbą generalną można nieco uspokoić się podłączając zasilacz warsztatowy do zacisków sieciowych. Wprawdzie jedyna rzecz jaką da się zmierzyć, to napięcie na C2, ale to też jest coś.

Zmontowany z dobrych elementów zasilacz startuje od pierwszego włączenia. Próbkowanie, praca przerywana są objawami niesprawności w układzie zasilania pomocniczego - sprawdzić uzwojenie „C” (kierunek!) oraz elementy R7, C5. Niskie napięcie wyjściowe (poniżej 3V), połączone z grzaniem się kontrolera, wskazuje na błędne podłączenie uzwojenia B, niesprawną diodę D3 lub uszkodzone kondensatory C8..C12.

Powodem niepokojących szumów w transformatorze, szczególnie, gdy połączone są one z nieprawidłową wartością napięcia wyjściowego, może być uszkodzenie któregoś z elementów toru sprzężenia zwrotnego, przede wszystkim transoptora. Konieczne trzeba wtedy skontrolować poprawność napięcia odniesienia na końcówce 8.

Analizę dziwnego zachowania się układu może czasem utrudniać uaktywniające się zabezpieczenie przed nadmiernym wzrostem napięcia wyjściowego. Sytuacja taka może mieć miejsce przy np. wyjątkowo niestarannym montażu transformatora lub też grubej pomyłce w liczeniu zwojów. Gdy napięcie na końcówce 11 przekracza 2V, warto jest dla pewności zewrzeć R5, co całkowicie wyłączy pracę tego zabezpieczenia.

Jak już wspomniałem, jedną z przyczyn niepoprawnego działania może być pomyłka w jednokierunkowym nawijaniu transformatora i związany z tym bałagan w początkach i końcach. Prawidłowość kierunków można w prosty sposób sprawdzić za pomocą miernika indukcyjności. Uzwojenie pierwotne łączy się szeregowo

z pozostałymi (koniec pierwszego z początkiem drugiego). Za każdym razem, po dołączeniu dodatkowego uzwojenia, indukcyjność powinna wzrastać.

A inne napięcia?

Modelowy zasilacz został wykonany w wersji pięciowoltowej, gdyż zamierzeniem autora było wykorzystanie go do zasilania układów cyfrowych. Oczywiście w układzie tym można uzyskać inne napięcia, wymaga to jednak przeprojektowania transformatora, obwodu stabilizacji napięcia i kompensacji. Bez efektów ubocznych, jak np. konieczność wymiany diody D3 na inną o większym dopuszczalnym napięciu zaporowym, przy napięciach wyjściowych rzędu 12V, można wykonać zasilacz w wersji 9V/1A. Uzwojenie wtórne powinno mieć 9 zwojów drutu 0,7mm (tym razem nawija się je jednym przewodem), kondensatory C8..C10 należy zmienić na 220μF/10V (nieco mniejsza pojemność ma już pewien wpływ na układ kontroli napięcia i dlatego C11 powinien być rzędu 68nF). Na koniec pozostało tylko ustalić R11=7kΩ.

Robert Magdziak, AVT