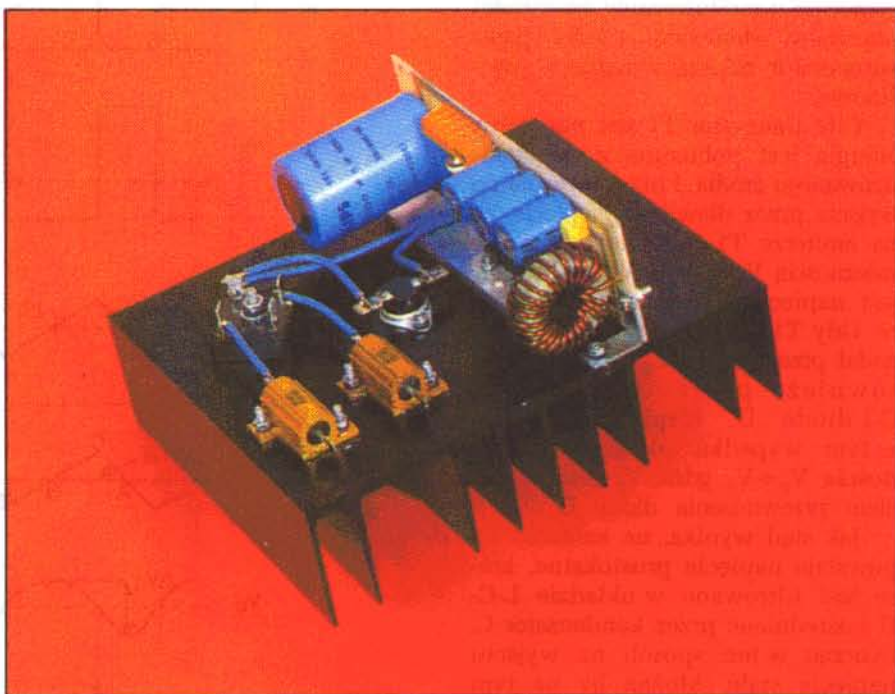


Wykonanie zwykłego zasilacza o regulowanym napięciu jest tak proste, że zasilacze z przetwornicą buduje się tylko w szczególnych przypadkach, gdy chodzi o wysoką sprawność, gdy z jednego prostownika trzeba otrzymać kilka napięć, o różnych wielkościach i polaryzacjach, lub-jak w tym przypadku - gdy jest potrzebny zasilacz dużej mocy.

Proponujemy więc wykonanie zasilacza o napięciu regulowanym od 5V do 30V, mogącego dostarczać prądu do 10A.

Zasilacz impulsowy 5V..30V, 10A

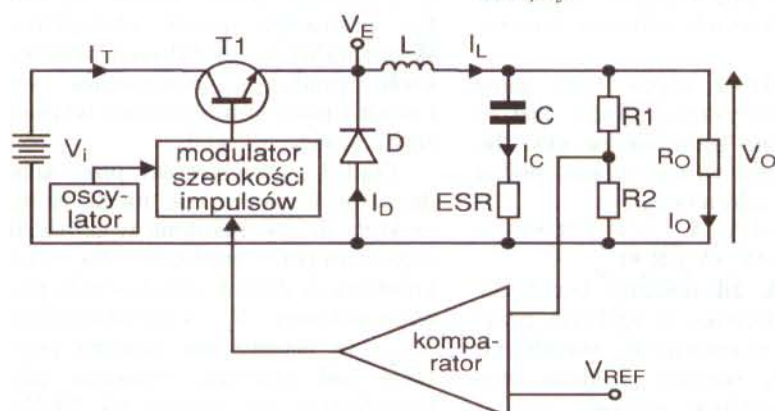


Pomimo znacznej mocy, która może przekroczyć 300W, zasilacz ten jest stosunkowo tani, a ponadto nie potrzebuje wymuszonego chłodzenia. Jedyne użyte radiator, bo jednak jakiś jest potrzebny, ma rozmiary tylko 150x180mm, ale umożliwia ciągłą pracę przy pełnej mocy. Do pracy chwilowej wystarczyłby nawet mniejszy.

Przypomnienie teorii

Zasada działania zasilacza impulsowego nie jest nowością, jest znana od ponad dwudziestu lat. Długo jednak zasilacze tego rodzaju nie cieszyły się wielką popularnością, głównie z powodu ich złożoności, gdy musiały być konstruowane z elementów dyskretnych. Uruchomienie w ostatnich latach produkcji scalonych stabilizatorów do przetwornic impulsowych, odmieniło całkowicie tę sytuację.

Niestety, przyzwyczajenia są uporczywe i wielu nawet doświadczonych elektroników boi się tych układów jak ognia. Trzeba przyznać, że stosuje się w nich takie elementy, które nie będąc niczym nadzwyczajnym, otoczone są ciągle pewną aurą tajemniczości, jak diodę odzyskującą energię, czy diodę wolnego koła, prawie zawsze będąca diodą Schottky'ego. Może tych kilka uwag teoretycznych, wraz z ich praktycznymi zastosowaniami, choć



Rys. 1. Typowy schemat zasilacza impulsowego

trochę przyczyni się do eliminacji tych mitów.

Rysunek 1 przedstawia teoretyczny schemat zasilacza impulsowego z elementami dyskretnymi i scalonymi. Tranzystor T1 jest tu przedstawiony jako bipolarny. Jednak z powodu lepszych własności komutacyjnych, zastępowany jest on coraz częściej przez tranzystor mocy MOS.

Częstotliwość przełączania tego tranzystora jest kontrolowana przez oscylator o modulowanej szerokości impulsów, sterowany z kolei przez komparator mierzący napięcie wyjściowe.

Gdy tranzystor T1 jest nasycony, energia jest pobierana z nie stabilizowanego źródła, i przekazywana do wyjścia przez dławik L. Napięcie V_E na emiterze T1 jest więc określone zależnością $V_E = V_i - V_{sat}$, gdzie V_{sat} jest napięciem nasycenia tranzystora. Gdy T1 jest zatkany, prąd płynie nadal przez dławik L, ale tym razem również przez kondensator C i diodę D. Napięcie V_E jest w tym wypadku określone zależnością $V_E = -V_F$ gdzie V_F jest napięciem przewodzenia diody D.

Jak stąd wynika, na emiterze T1 powstaje napięcie prostokątne, które jest filtrowane w układzie L-C-D i uśredniane przez kondensator C, tworząc w ten sposób na wyjściu napięcie stałe. Można by na tym poprzestać, a Czytelnik chcący jedynie wykonać ten układ, może od razu przejść do części praktycznej artykułu. Jeżeli jednak chciałby dowiedzieć się czegoś więcej, to jest zaproszony do spaceru wraz z sondą oscyloskopu po różnych punktach zasilacza impulsowego. Przebiegi ze schematu na **rys. 1** są zgrupowane na **rys. 2**. Dla uproszczenia pominięto oporność szeregową dławika, co jest usprawiedliwione w wypadku zasilacza niewielkiej mocy.

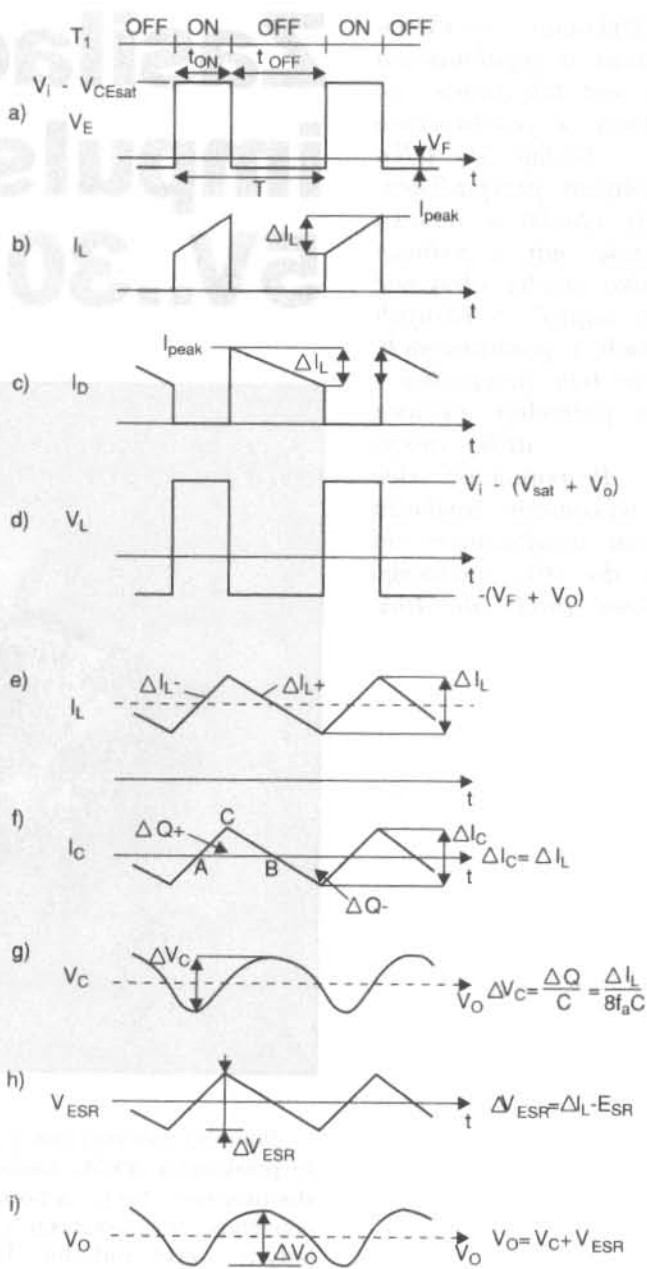
Rysunek 2a przedstawia przebieg napięcia na emiterze T1, zgodnie z uprzednim omówieniem. Napięcie wyjściowe, będące „uśrednieniem” tego przebiegu, jest określone zależnością:

$$V_o = (V_i - V_{sat})T_{on} / (T_{on} + T_{off}),$$

gdzie T_{on} i T_{off} są czasami nasycenia i zatkania tranzystora T1.

Na **rysunku 2b** jest pokazany kształt prądu płynącego przez tranzystor w ustalonym reżimie pracy zasilacza. Jak można było oczekiwać, ma on kształt trapezoidalny.

Rysunek 2c pokazuje kształt prądu



Rys. 2. Przebiegi charakterystyczne w różnych punktach układu z rys. 1

du płynącego przez diodę. Jak już poprzednio powiedziano, prąd ten płynie w okresach zatkania tranzystora T1.

Przez dławik płynie więc suma prądów tranzystora i diody. Jest to przedstawione graficznie na **rys. 2e**. Wartość liczbowa tego prądu można otrzymać z zależności:

$$I_{L+} = I_{L-} = [(V_i - V_{sat}) - V_o] / R_o \cdot T_{on} = (V_o + V_F) / R_o \cdot T_{off}$$

Rysunek 2d pokazuje kształt napięcia na dławiku w ogólnym przypadku. W normalnych, stabilnych warunkach, wartość średnia tego napięcia powinna wynosić zero.

Rysunek 2f pokazuje kształt prądu płynącego przez kondensator filtrują-

cy. Prąd ten stanowi różnicę prądu I_L płynącego przez dławik i prądu I_C , płynącego przez obciążenie. W normalnych, stabilnych warunkach, prądy te równoważą się i średni prąd kondensatora wynosi zero, a więc $I_C = I_L$.

Prąd I_C , przepływający przez kondensator C, wywołuje na wyjściu, praktycznie nieuniknione w zasilaczu impulsowym, tętnienia. Są one kombinacją dwóch składowych: pojemnościowej V_C i rezystancyjnej V_{ESR} . Ta ostatnia ma znaczną przewagę nad pierwszą, zwłaszcza gdy częstotliwość jest wyższa od 20kHz. Jest ona wywołana przez szeregową oporność kondensatora, lub kon-

densatorów filtrujących, którą dlatego powinno się zredukować do minimum. Z tego też powodu, we wszystkich zasilaczach impulsowych dobrej jakości, stosuje się na wyjściu specjalne kondensatory elektrolityczne o obniżonej oporności szeregowej (low ESR). Również dlatego chętnie stosuje się równolegle kilka kondensatorów o mniejszej pojemności, zamiast jednego dużego.

Rodzina stabilizatorów SGS-Thomson L497X

Przed kilku laty SGS, jeszcze przed mariażem z Thomsonem, wypuścił na rynek stabilizatory impulsowe L296, które, bez stosowania zewnętrznego tranzystora mocy, mogły dostarczać do 4A. Obecnie, dzięki zastosowaniu nowej technologii nazwanej Multipower BCD, SGS-Thomson potrafi umieścić w jednej strukturze półprzewodnikowej tranzystory bipolarne, logikę CMOS i izolowane tranzystory mocy MOS.

Technologię tę zastosowano po raz pierwszy w praktyce do rodziny stabilizatorów L497X. Parametry poszczególnych stabilizatorów tej rodziny są przedstawione w tabeli 1. Na pierwszy rzut oka wyróżnia się sta-

bilizator bardzo dużej mocy L4970, dostarczający ponad 10 A przy sprawności 83% i bez konieczności stosowania zewnętrznego tranzystora mocy. Zwraca też uwagę oporność szeregową $0,18\Omega$ jego tranzystora MOS. Dla porównania, oporność ta tranzystora mocy (bipolarnego), wchodzącego w skład klasycznego L296, powodowała spadek napięcia 3,2V przy 4A, co skutkowało wydzieleniem 12W, podczas gdy teraz, przy 10A, spadek wynosi tylko 1,8V!

Schemat blokowy pokazany na rys. 3 dotyczy wszystkich stabilizatorów rodziny. Różnią się one między sobą jedynie częścią mocy (tranzystorem DMOS, stopniem sterowania i ogranicznikiem prądu). Z tego powodu zasada działania ich wszystkich jest identyczna i omówienie stabilizatora L4970, który został zastosowany w przedstawianym zasilaczu, stosuje się i do pozostałych.

Schemat układu

Rysunek 4 przedstawia kompletny schemat zasilacza. Jest on bardzo prosty, pomimo zawdzięczanych SGS-Thomsonowi znakomitych parametrów. Lewa część schematu jest

klasyczna, transformator z uziemionym pośrodku uzwojeniem wtórnym i dwupołówkowym prostownikiem. Zwracają uwagę rezystory R1 i R2 o małej oporności, ograniczające początkowy prąd ładowania kondensatora elektrolitycznego C1, o pojemności $10000\mu\text{F}$. Na radiatorze, który odbiera ciepło od wszystkich elementów mocy, jest umieszczony odłącznik termiczny TH1. Odłącza on zasilanie stabilizatora, gdy jego temperatura przekroczy 80°C . Nie jest on niezbędny, ale trzeba zalecić jego zastosowanie, zwłaszcza gdy zasilacz użytkowany jest intensywnie.

Resztę schematu można łatwo zanalizować dokonując przeglądu końcówek układu L4970, zgodnie ze schematem blokowym z rys. 3.

Za pomocą końcówek 1 i 2 dobiera się częstotliwość wewnętrznego oscylatora. Dla przyjętych wartości elementów wynosi ona około 200kHz. Jest to częstotliwość stosunkowo wysoka, ale doskonale właściwości wewnętrznego tranzystora MOS mocy i jego układu sterującego pozwalają na jej zastosowanie.

Nie użyta końcówka 3 jest wejściem sterującym wewnętrznego układu RESET. Układ L4970 po

Tabela 1. Podstawowe parametry układów scalonych rodziny L497X (dokumentacja firmy SGS-Thomson)

	L497X FAMILY					
	L4970	L4977	L4975	L4974	L4972	L4972D Surface Mounting
Max Input Operating Voltage	50V	50V	50V	50V	50V	50V
Output Voltage Range	5,1V to 40V $\pm 2\%$ (Internal Ref)					
Max Output Current	10A	7A	5A	3,5A	2A	2A
Max Output Power	400W	280W	200W	140W	80W	80W
Power Switch	DMOS RDSON 0,18ohm					
Switching Mode Control System	Continuous Mode, Direct Duty Cycle Control with Feed Forward (Improved Transient Response)					
Chopping Frequency	500kHz	500kHz	500kHz	200kHz	200kHz	200kHz
Efficiency VINP=35V VOUT=5,1V 100kHz	10A 83%	7A 84%	5A 84%	3,5A 84%	2A 83%	2A 83%
Current Limiting	True Current Generator					
Soft Start	Yes					
Reset and Power Fail	Yes					
Crowbar	No					
Package Max Rthj-case(PIN)	Multiwatt15 1°C/W	Multiwatt15 1°C/W	Multiwatt15 1°C/W	Powerdip16+2+2 12°C/W	Powerdip16+2+2 12°C/W	S020L 15°C/W

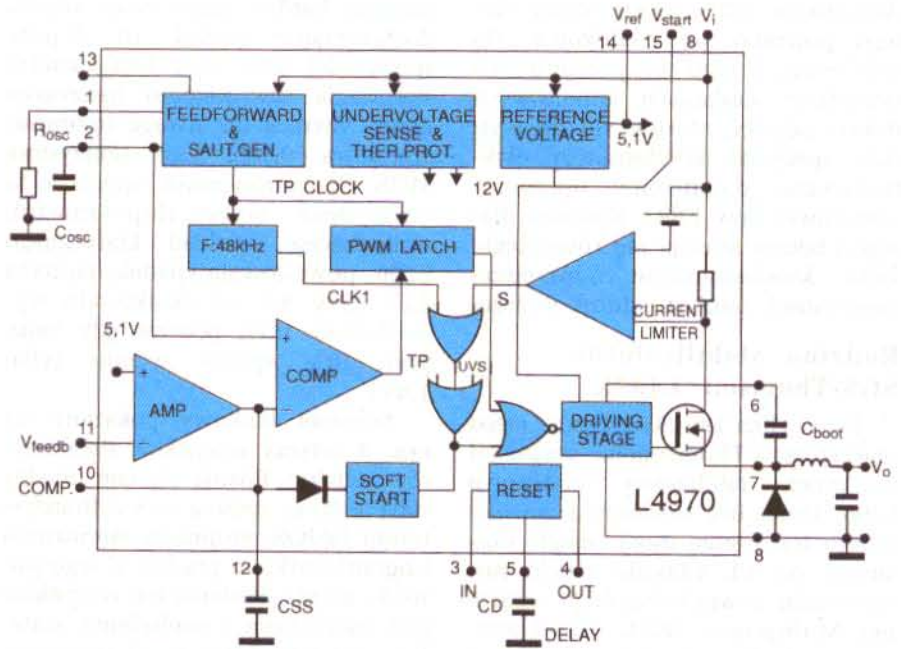
włączeniu napięcia, lub gdy wykryje nienormalne obniżenie napięcia wejściowego, może generować sygnał RESET dla mikroprocesora. Możliwość ta nie została wykorzystana w proponowanym układzie, jest on bowiem przeznaczony do użytku ogólnego. Końcówka 5 stanowi wejście układu opóźniającego obwodu RESET. Wielkość opóźnienia jest ustalana przez dobór pojemności kondensatora.

Końcówka 6 jest wejściem startowym (bootstrap). Dzięki zewnętrznemu kondensatorowi, w tym wypadku C9, bramka tranzystora MOS zawsze zostaje poprawnieysterowana, przez dostarczenie prądu o wartości szczytowej 0,5A, co pozwala przewyżczyć wpływ pojemności pasożytniczych i osiągnąć czas przełączania 50ns.

Końcówka 7 to wyjście stabilizatora, czyli po prostu źródło tranzystora MOS.

Końcówka 8 jest wspólną masą stabilizatora. Trzeba zwrócić uwagę na fakt, że nie jest to masa mocy, z którą jest połączona za pośrednictwem rezystora R7. Pozwala to na wydzielenie punktów A i B, służących do pomiaru napięcia wyjściowego na właściwym obciążeniu, z pominięciem pasożytniczych spadków napięcia na przewodach połączeniowych. W ten sposób zostaje zapewniona doskonała stabilizacja i poprawne napięcie wyjściowe. Taka procedura jest zazwyczaj stosowana przy zasilaczach dużej mocy.

Końcówka 9 stanowi wejście stabilizatora, z którego są zasilane wszystkie stopnie układu, oraz poprzez układ ogranicznika prądu - dren tranzystora mocy MOS. W przypadku układu L4970 ograniczenie działa poczynając od 12A.



Rys. 3. Wewnętrzny schemat blokowy stabilizatorów rodziny L497X (dokumentacja firmy SGS-Thomson)

Końcówka 10 służy do częstotliwościowej kompensacji wewnętrznej pętli stabilizatora.

Końcówka 11 jest wejściem pomiarowym pętli stabilizacji. Jest ona połączona z dzielnikiem przyłączonym do wejścia i złożonym z potencjometru P1 i rezystora R8.

Końcówka 12 zapewnia „łagodny rozruch” zasilacza. Przyłączony do niej kondensator ustala czas narastania napięcia wyjściowego, umożliwiając w ten sposób uniknięcie gwałtownego uderzenia prądu w momencie włączania.

Do końcówki 14 przyłącza się kondensator filtrujący wewnętrzne źródło odniesienia 5,1V.

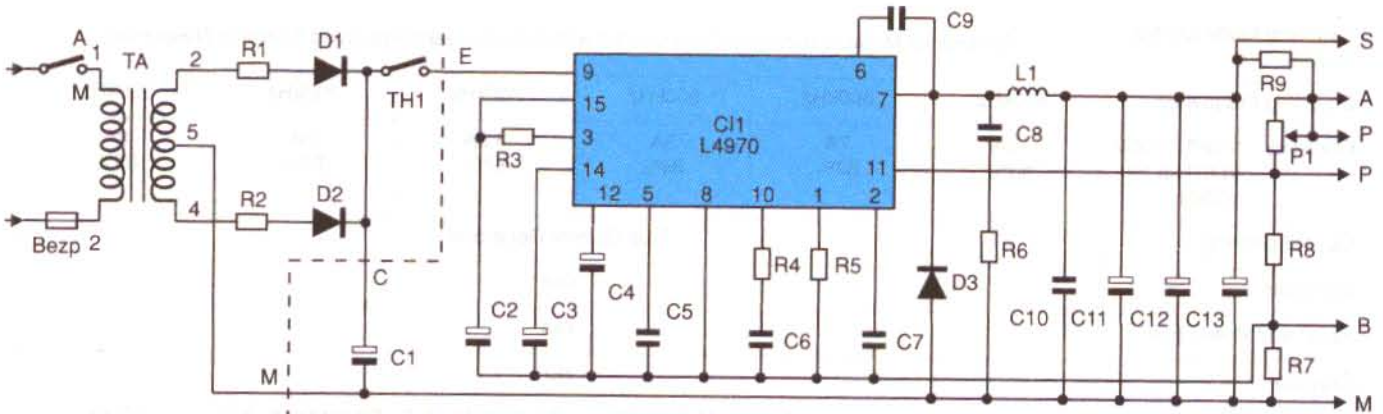
Końcówka 15 wreszcie, jest końcówką startową układu sterującego wewnętrznego tranzystora mocy.

Nieliczne pozostałe elementy zewnętrzne są klasyczne. W odniesieniu do rys. 1 odnajduje się diodę wolnego koła D3, ultra szybką do dużych prądów, dławik L1 i trzy kondensatory C10, C11 i C12 o obniżonej oporności szeregowej, połączone równolegle, aby jeszcze zmniejszyć tę oporność.

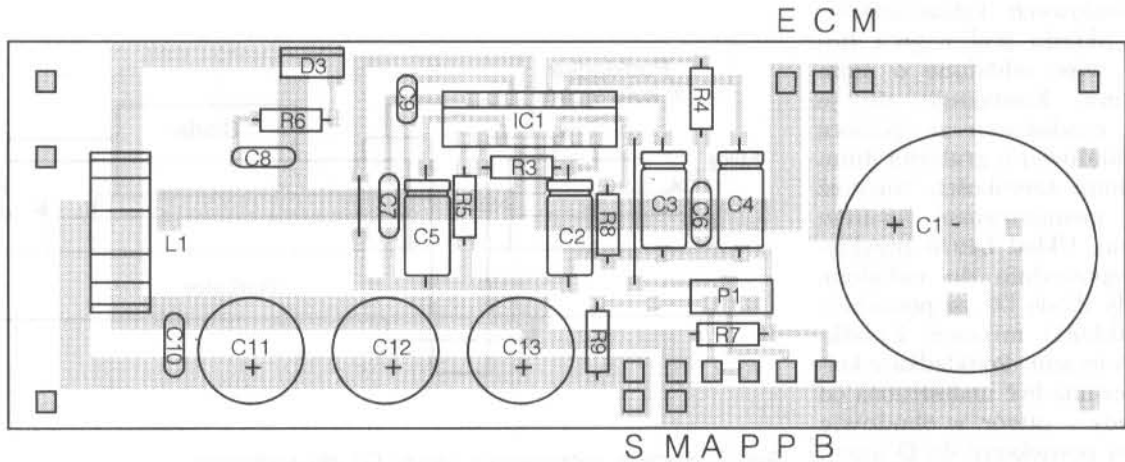
Wykonanie

Konstrukcja układu nie jest krytyczny i działa on bez trudności. Trzeba jednak pamiętać o kilku podstawowych sprawach, tak jeśli chodzi o dobór elementów, jak i wykonanie połączeń. Prąd 10A i częstotliwość 200kHz mają swoje wymagania.

W zasilaczu zastosowano dwie diody prostownicze, jednak wygodnie



Rys. 4. Pełny schemat zasilacza



Rys. 5. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej

jest zastosować pełny mostek prostowniczy, z którego użyje się tylko połowę. Prościej jest go umocować na radiatorze i jest tańszy od dwóch indywidualnych diod mocy.

Jako diodę D3 należy zastosować jedną z zalecanych w wykazie elementów i nie szukać ewentualnych odpowiedników. Chodzi o typ diody bardzo szybkiej, gdyż tylko taka dioda gwarantuje działanie układu bez zarzutu.

Odpowiednich dławików, gotowych do użycia, nie ma w handlu. Trzeba więc wykonać go samemu, jest to jednak bardzo łatwe. Wystarczy nawinąć 25 zwojów drutem emaliowanym $\varnothing 1,5\text{mm}$ na rdzeniu typu 58071 firmy Magnetics. Drut tej średnicy jest dość sztywny, trzeba więc dosyć mocno go napiąć, aby jak najlepiej przylegał do rdzenia. Należy zadbać również o równomierne rozłożenie zwojów na całym obwodzie torusa. Końce drutu należy bardzo starannie odizolować i pocynować. Nie można zapominać, że ma on przewodzić prąd 10A przy jak najmniejszym spadku napięcia. Kondensatory C10, C11 i C12 nie należy zastępować wyczajnymi. Muszą to być koniecznie kondensatory o obniżonej oporności szeregowej (w katalogu: low ESR).

Przewidziany został transformator 2x30V, 300VA, który zapewnia, uwzględniając prostowanie, dostarczenie przez zasilacz napięcia regulowanego od 5,1V do 30V. Teoretycznie można by przewidzieć nieco wyższe napięcie, ponieważ L4979 dopuszcza 50V na wejściu i 40V na wyjściu. Niestety, przy transformatorze 2x35V (ale trzeba go znaleźć!), bez obciążenia może być powyżej 50V na wejściu stabilizatora, co jest zbyt ryzykowne.

Prosta, jednostronna płytka drukowana, mieści wszystkie elementy schematu na prawo od linii przerywanej. Ścieżki można ewentualnie trochę zmodyfikować, nie należy jednak zmniejszać szerokości ścieżek prądowych. Jest to oczywiste, ale lepiej przypomnieć, że druk powinien być wykonany z płyty dobrej jakości, o grubości miedzi 35 μm .

Montaż elementów na płytce, zgodnie z rys. 5, nie stwarza żadnych problemów. Potencjometr P1 może być albo umieszczony na płytce, albo zastąpiony dobranym rezystorem, albo wreszcie umieszczony poza płytką i połączony z nią przewodami przyłączonymi do punktów P. W przypadku zastosowania stałego rezystora, jego wartość można obliczyć posługując się zależnością:

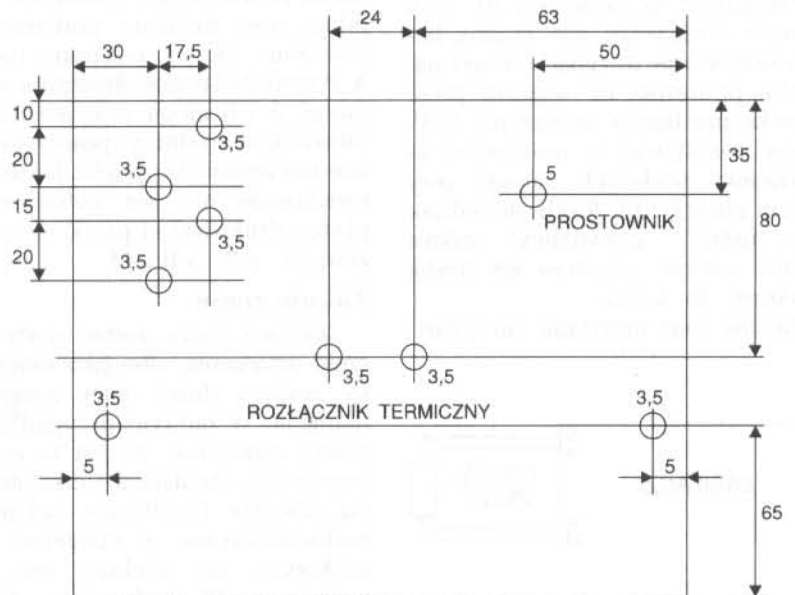
$$V_s = 5,1 (1 + R/3300), \text{ gdzie}$$

R oznacza tę oporność w omach.

Wyjścia układu, jak również punkty A, B i P są doprowadzone do listwy ze złączami śrubowymi, mogącymi przewodzić do 15A.

Wykonanie mechaniczne

Zaletą montażu całości układu w postaci jednolitego bloku, do którego wystarczy przyłączyć tylko transformator, jak to widać na fotografii, jest jego zwartość. Rysunek 6 z rozkładem otworów w radiatorze jest dostosowany do takiego rozwiązania. Rezystory R1 i R2, mostek prostowniczy oraz wyłącznik termiczny TH1, przykręca się bezpośrednio do radiatora, wprowadzając nieco smaru silikonowego pomiędzy stykające się powierzchnie. Płytkę drukowaną przymocowuje się prostopadle do radiatora za pomocą

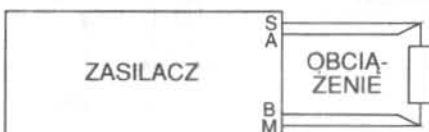


Rys. 6. Rozmieszczenie otworów w radiatorze

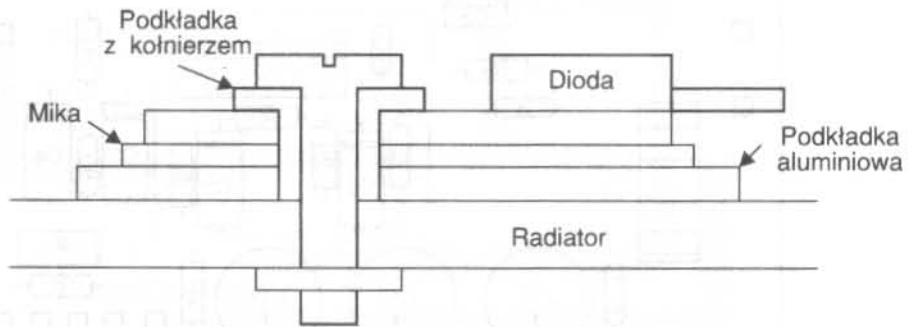
dwóch metalowych kątowniczków. Obudowy układu scalonego i diody D3 są więc oddalone o 4mm od radiatora. Kontaktuje się je termicznie z radiatorem za pomocą listewki duralowej o grubości 4mm i około 20mm szerokości, również delikatnie posmarowanej smarem silikonowym. Układ L4970 przykręca się bezpośrednio do radiatora, podczas gdy diodę D3 za pośrednictwem podkładki mikiowej i podkładki z kołnierzem. Podkładka z kołnierzem powinna być umieszczona od strony diody - otwór w obudowie której trzeba powiększyć do \varnothing 4mm. Szczegóły tego mocowania objaśnia rys. 7. Połączenia pomiędzy elementami umieszczonymi na radiatorze a płytką drukowaną powinny być wykonane izolowanym drutem miedzianym o średnicy co najmniej 1,5mm, a lutowanie szczególnie staranne, z uwagi na wielkość wchodzących w grę prądów. Trzeba pamiętać że oporność styku 0,5 Ω , o jaką nie trudno, przy 10A spowoduje spadek napięcia 5V i wydzielanie mocy 50W!

Po wykonaniu i starannym sprawdzeniu połączeń, można włączyć napięcie, nie obciążając układu więcej niż kilkudziesięcioma mA. Należy następnie sprawdzić, czy napięcie wyjściowe reguluje się w założonym zakresie z dokładnością do kilku procent. Jeżeli zastosowano podane wartości rezystora R8 i potencjometru P1, można będzie osiągnąć prawie 39V. W razie potrzeby można sięgnąć do podanej uprzednio zależności do obliczania R1. Przy pełnym obciążeniu nie można będzie oczywiście osiągnąć takiego napięcia, ponieważ na wyjściu prostownika nie będzie więcej niż 35V. Warto pozostawić tę możliwość uzyskiwania większych napięć przy małym obciążeniu. Jeżeli się jednak chce ustalić „prawdziwy” zakres 5..30V, wartość rezystora R8 trzeba zwiększyć do 4,7k Ω .

Można teraz przystąpić do spraw-



Rys. 8. Układ połączeń obciążenia z zasilaczem (układ Kelvina)



Rys. 7. Sposób mocowania diody D3 do radiatora

dzania zasilacza pod pełnym obciążeniem. W tym celu można użyć rezystora mocy chłodzonego na przykład przez zanurzenie w naczyniu z olejem, albo, co jest prostsze i tańsze, żarówek samochodowych. Dwie zwykle żarówki światła drogowych mogą bez problemu odebrać 100 lub 110W, zależnie od typu (50 lub 55W), czyli pobrać prawie 10A przy 12V. Można pozostawić tak obciążony układ na wiele godzin dla sprawdzenia czy nie wystąpi jakieś nienormalne rozgrzanie. Radiator powinien być ciepły. Przy podanym transformatorze na wyjściu prostownika powinno być 35V. W przypadku zwykłego stabilizatora trzeba by było w nim stracić 10 (35 - 12) = 230W i sam radiator nie wystarczyłby do odprowadzenia tej mocy.

Jeżeli napięcie na samym obciążeniu powinno być dokładne i stabilne, jego zasilanie powinno być połączone tak jak pokazano na rys. 8. Przewody łączące obciążenie z punktami A i B mogą oczywiście być niewielkiej średnicy, ponieważ prawie nie przewodzą prądu. Jeżeli takie rozwiązanie nie jest potrzebne, na płytce drukowanej punkt A można zewrzeć z S, a B z M.

Zakończenie

Zasilacz może zostać użyty jako część urządzenia, albo jako samodzielny zasilacz dużej mocy z regulacją napięcia. W żadnym przypadku nie należy zapominać, że jest to zasilacz impulsowy, działający z częstotliwością 200kHz i emitujący zakłócenia radioelektryczne o natężeniu tym większym, im większy jest prąd wyjściowy. Niezbędne jest więc umieszczenie go w połączonej z masą obudowie ekranującej.

EP

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

- R1, R2: 0,1 Ω /25W z radiatorem
- R3: 33k Ω /0,25W lub 33k Ω /0,5W
- R4, R5: 15k Ω /0,25W lub 15k Ω /0,5W
- R6: 22k Ω /0,5W
- R7, R9: 27 Ω /0,25W lub 27 Ω /0,5W
- R8: 3,3k Ω (lub 4,7k Ω , zob tekst) / 0,25W lub 0,5W

Kondensatory

- C1: 10000 μ F/63V, elektrolityczny, typ CO 51 58 103 Philips
- C2, C3, C4, C5: 2,2 μ F/63V, elektrolityczne osiowe
- C6: 33nF, mylarowy, rozstaw 7,5mm
- C7, C8: 2,2nF, mylarowy, rozstaw 7,5mm
- C9: 0,1 μ F, mylarowy, rozstaw 5mm
- C10: 0,47 μ F, mylarowy, rozstaw 5mm
- C11, C12, C13: 220 μ F/63V, o obniżonej oporności szeregowej

Półprzewodniki

- IC1: L4970A, SGS-Thomson
- D1, D2: mostek 200V, 25A
- D3: 18TQ050, SPB1660 albo MBR1660

Różne

- P1: 22k Ω , potencjometr drotacyjny o rozstawie 2,54mm, bądź potencjometr liniowy, albo rezystor stały (zob tekst)
- TA: transformator 220V/(2x30V), 300VA
- TH1: odtłacznik termiczny 16A, rozwierający się około 80°C
- L1: rdzeń toroidalny 58930 Magnetics + 2m drutu emalowanego \varnothing 1,5mm
- Radiator 180x150mm 0,7°C/W, na przykład SK53 Selectronic
- Listwa złączowa na śruby, 6-zaciskowa, rozstaw co 5mm