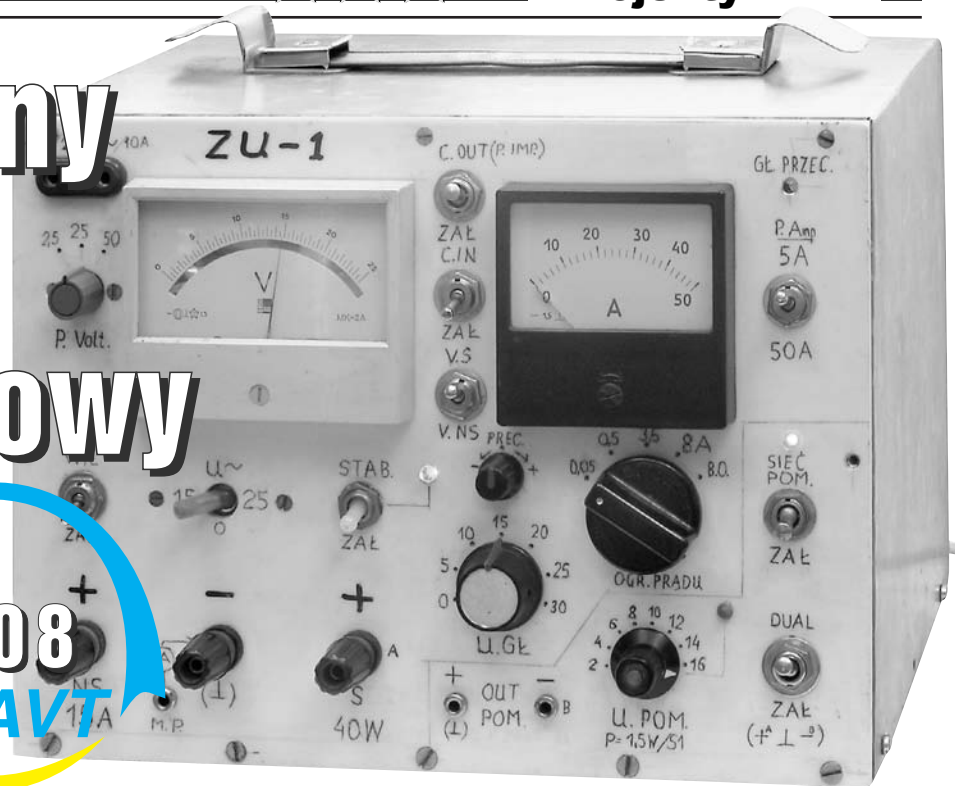




Praktyczny zasilacz warsztatowy ZU-1

kit 2808 AVT

część 1



Nie ma wątpliwości, że zasilacz to jeden z najważniejszych przyrządów warsztatowych. Jest to również temat „dyżurny” w popularnej prasie elektronicznej. Oferta jest bardzo bogata i nie jest łatwo dokonać wyboru, bo nie zawsze zgadzamy się z koncepcją autora konkretnego urządzenia. Inne potrzeby ma początkujący elektronik, a inne zaawansowany konstruktor. Budowa prostych, niezbyt wydajnych zasilaczy ma sens właśnie w celach edukacyjnych, natomiast docelowo każdy marzy o posiadaniu zasilacza „mocnego”, wielofunkcyjnego i o dobrych parametrach. Ja również budowałem i użytkowałem różne typy zasilaczy, a ostatnie kilka lat używałem zasilacza opartego na kostce $\mu A723$. Czytelnicy EdW na pewno go zauważą w artykułach o układach zapłonowych obok tytułu każdego odcinka. Nadszedł jednak dzień, że zasilacz ten przestał mi się podobać, dostrzegłem jego wady, a między innymi:

- regulacja napięcia nie od zera, a od 2...3V,
- duży spadek napięcia między wejściem a wyjściem (określany skrótem U_{DO}), rzędu 3V,
- dość duży spadek napięcia stabilizowanego, rzędu 0,1V przy obciążeniu 0...5A,
- nierównomierna skala przy potencjometrze głównym.

Postanowiłem zbudować zupełnie nowy zasilacz, a kostkę $\mu A723$ wysłać na zasłużoną emeryturę obok takich weteranów jak $\mu A709$, $\mu A741$.

Zwykle przed przystąpieniem do budowy nowego urządzenia trzeba zobaczyć „jak to robią inni?”.

Zgromadziłem około 20 układów z różnych czasopism, w nadziei że znajdę coś gotowego do wykonania i... nie znalazłem. Ale w każdym opisie było coś interesującego

i dopiero po zebraniu wniosków z różnych opisów w jedną całość złożyłem koncepcję nowego zasilacza. Wiadomo, że nie uda się zbudować urządzenia idealnego, ale trzeba próbować osiągnąć parametry zbliżone.

Nowy zasilacz powinien mieć:

- regulację napięcia stabilizowanego od zera,
- skala przy pokrętle potencjometru główne powinno być liniowa,
- U_{DO} nie powinno być większe od 1V, przy kilkuamperowym obciążeniu,
- spadek stabilizowanego napięcia nie powinien być większy od 30mV, przy kilkuamperowym obciążeniu,
- pewny i prosty ogranicznik prądu z możliwością wyboru zakresu,
- krótki czas odpowiedzi na duże zmiany obciążenia,

czyli dobrze działać z obciążeniami impulsowymi i o dużych częstotliwościach (ogólnie określa się to obciążeniem dynamicznym),

- dodatkowy zasilacz stabilizowany małej mocy, potrzebny przy testowaniu układów wymagających podwójnego zasilania,

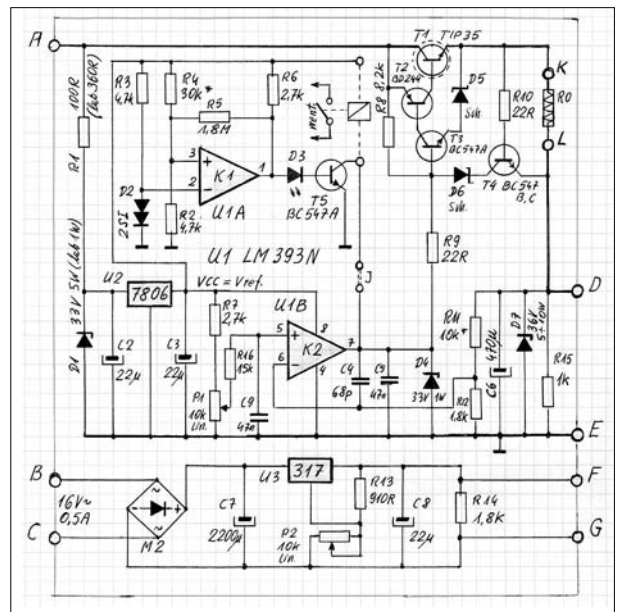
- mieć wyprowadzone na zewnątrz napięcie niestabilizowane, a nawet tylko wyprowadzone przez odłączenie kondensatora głównego, a także napięcie przemienne (praktyka wykazuje, że do testowania różnych układów nie zawsze potrzebne jest tylko napięcie stabilizowane),

- posiadać zabezpieczenie termiczne z możliwością wyboru (samowylączenie, buzzer, wentylator),

- posiadać mierniki napięcia i prądu (oddzielne, analogowe lub cyfrowe, zależnie od gustu użytkownika),

- aby zasilacz był przydatny w praktyce, powinien mieć zakres napięcia stabilizowanego 0...30V prądu maksymalnego nieciągłego do 7...8A (np. do testowania modułów zapłonowych), prądu niestabilizowanego do 15A i nieciągłego do 25...30A oraz mocy stabilizatora do 40...50W. Nie powinien być typu impulsowego ze względu na wymagany niski

Rys. 1 Schemat modułu stabilizatora głównego i pomocniczego



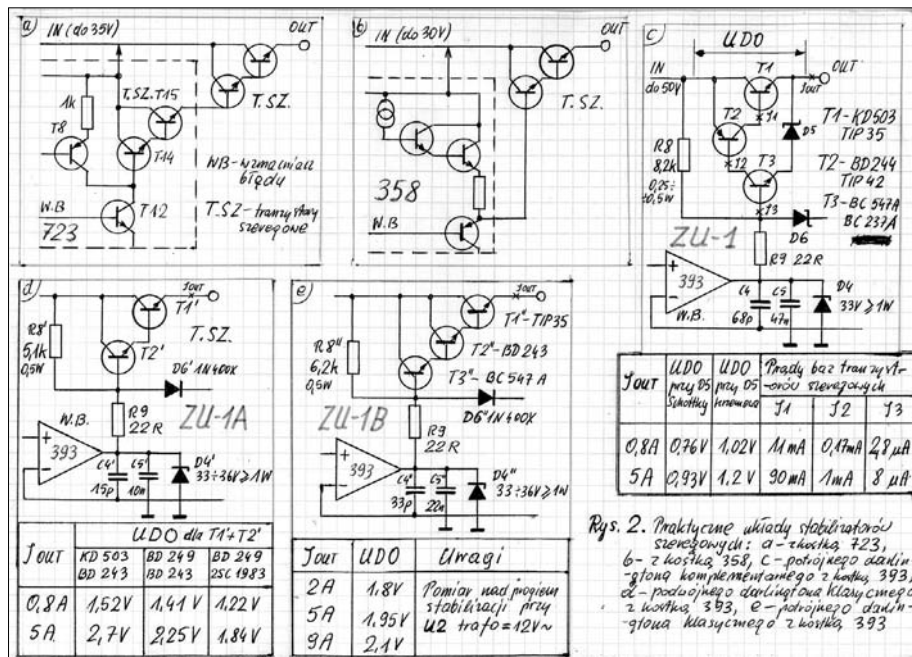
poziom zakłóceń i tętnień na wyjściu,
– możliwość ładowania akumulatorów ołowiowych z ograniczeniem napięcia i prądu.

Jakby tego było mało, to jeszcze powinien mieć prosty (przejrzysty i jasny) układ elektroniczny, złożony z łatwo dostępnych elementów oraz łatwy w uruchomieniu.

Po analizie tych wymagań odpadają układy z $\mu A723$, L200 i LM317 z przystawkami mocy, układy zbudowane z elementów dyskretnych i pozostaje tylko układ tranzystora szeregowego, sterowanego za pośrednictwem wzmacniacza operacyjnego. Aby jednak sprostać postawionym wymaganiom, musi to być tradycyjny darlington ani typowy wzmacniacz operacyjny, ze względu na duże U_{DO} oraz ograniczenia napięciowe wzmacniacza operacyjnego. Trudno byłoby zdobyć wzmacniacz operacyjny pełnozakresowy od wejścia i wyjścia, wytrzymujący 40V i 50mA obciążenia.

Opis układu Stabilizator szeregowy

Schemat modułu stabilizatora głównego i pomocniczego bez elementów zewnętrznych przedstawiony jest na **rysunku 1**. Układ jest rzeczywiście bardzo prosty i łatwo można odróżnić poszczególne bloki, a ponieważ są one nieco odmienne od powszechnie stosowanych, będę musiał udowodnić celowość takich rozwiązań. Zaczniemy od „tranzystora” regulacyjnego, składającego się aż z trzech tranzystorów o różnym typie przewodnictwa, tworzących jak gdyby „zygzak emiterowy”. Faktycznie jest to potrójny darlington komplementarny, często też zwany zmodyfikowanym. Na pewno Czytelnicy będą co najmniej zdziwieni – po co trzy tranzystory, kiedy w publikowanych schematach były dwa lub nawet jeden. Pozornie mają rację, ale popatrzmy na **rysunek 2**. Tranzystor szeregowy TSZ sterowany jest przez co najmniej trzy tranzystory zawarte w strukturze $\mu A723$ (**rysunek 2a**) lub wzmacniacza operacyjnego LM358 (**rysunek 2b**). W sumie tych tranzystorów szeregowych jest po 5 szt., czyli i tak nasz „zygzak emiterowy”, mający 3 tranzystory, jest „krótszy”. Tranzystory w strukturach kostek sterujących kradną dodatkowo po ok. 1,5V z napięcia zasilania, co daje w sumie duże U_{DO} , wynoszące 3...4V. Nasz „zygzak emiterowy” jest samowystarczalny, ma ogromne wzmocnienie, wynoszące setki tysięcy oraz małe napięcie nasycenia wynoszące 0,7...1V, zależnie od obciążenia. Dodatkowe zalety to możliwość zastosowania tranzystora NPN jako T1 oraz prosta budowa i bardzo „płaska” charakterystyka ogranicznika prądu. Na **rysunku 2c** podałem prądy baz poszczególnych tranzystorów przy prądzie obciążenia 0,8 i 5A. Należy jeszcze wyjaśnić obecność diody D5 oraz wartości rezystora R8. „Zygzak” pracuje również bez tej diody, ale czasami zdarzała się niestabilność prądu



Rys. 2. Praktyczne układy stabilizatorów szeregowych: a - z kostką 723, b - z kostką 358, c - potrójnego darlingtona komplementarnego z kostką 393, d - podwójnego darlingtona klasycznego z kostką 393, e - potrójnego darlingtona klasycznego z kostką 393

Im. Prąd Im stąd, że układ testowałem kiedyś w układach zapłonowych i nie został wdrożony tylko z powodu trudności w zakupie tranzystorów PNP wysokiego napięcia. Jako D5 można zastosować zwykłą diodę SI, ale napięcie otwarcia i nasycenia (tu U_{DO} min) będą o ok. 0,3V wyższe (tabelka przy rysunku 2c). Z kolei rezystor R8 też nie może być dowolny, bo jeśli za mały, to nie zostanie skutecznej zbcznikowany prąd sterujący przez tranzystor końcowy wzmacniacza błędu. Jeśli za duży (statycznie działa nawet 0,5M Ω , dając milionowe wzmocnienie ogólne), to stabilizator będzie za wolny, tworząc dużą stałą czasową z kondensatorem antyoscylicyjnym wzmacniacza błędu. Praktycznie wartość ta powinna być w granicach 8k Ω , ale nie mniej niż 6,2k Ω i nie więcej niż 10k Ω (bo duża stała czasowa). Najlepiej jeśli rezystor R8 jest dobrany tak, aby tranzystor wyjściowy kostki LM393 wchodził w nasycenie przy wyzerowaniu potencjometru P1. Napięcie wyjściowe minimalne nie powinno być wtedy większe od 3mV przy obciążeniu tylko R15, zimnych tranzystorach T1 i T2 oraz przełączniku S1 ustawionym na 24V~. Jeśli nie zależy nam na małym U_{DO} , to diody D5 i D6 można zastosować zwykle krzemowe, bo są pewniejsze „napięciowo”, a i wzmacniacz błędu jest wtedy nieco stabilniejszy.

Czytelnicy na pewno zauważyli, że przy dość dużej mocy stabilizatora nie zastosowałem kilku tranzystorów równoległych w ramach T1. Doświadczenia praktyczne wykazały, że niekonieczne jest łączenie równoległe tranzystorów w stabilizatorach o podanej mocy, ale należy zastosować odpowiedni tranzystor i duży radiator. Mam taki zwyczaj, że każdy uszkodzony tranzystor średniej i dużej mocy zapisuję w notatkach. Chodzi tu głównie o powierzchnię (dokładanie – prze-

Rys. 2 Praktyczne układy stabilizatorów szeregowych: a – z kostką 723, b – z kostką 358, c – potrójnego darlingtona komplementarnego z kostką 393, d – podwójnego darlingtona klasycznego z kostką 393, e – potrójnego darlingtona klasycznego z kostką 393

krój powierzchni) płytki krzemowej, rodzaj podłoża, typ obudowy. Praktycznie uzyskamy to samo, jeśli zastosujemy 6 szt. BD911, połączonych równoległe, o przekroju płytki SI 6x5mm² albo 1 szt. KD503, o przekroju płytki krzemowej 36mm². Przekroje płytek wymienionych tranzystorów różnią się siedmiokrotnie, a prądy katalogowe mają prawie jednakowe. W tabeli 1 podałem wymiary płytki krzemowej niektórych tranzystorów mocy. Próby cieplne różnych tranzystorów mocy wykazały, że bardziej miarodajne jest dobowanie tranzystorów według wymiarów płytki krzemowej niż danych katalogowych. Katalogi czasem zanizają moc tłumacza warunkami pomiaru np. temperaturą obudowy (45...90°C). Klasyfikacja według wymiarów pytki dotyczy również diod prostowniczych (i Zenera). I tak: popularne diody radzieckie D203 do 246 cieplnie wytrzymują tyle, co krajowe D32, chociaż pierwsze mają prąd katalogowy 5A, a D32 = 30A, ale płytkę SI mają o prawie identycznych wymiarach oraz podobną obudowę. Ostatecznie decyduje radiator oraz sposób połączenia tranzystora z radiatorem. W opisanym stabilizatorze tranzystor mocy można montować bez przekładki izolacyjnej. Tranzystor KD501...503 zamontowany bez przekładki na radiatorze żebrowanym typu „akordeon”, o wadze 400g, wytrzyma około 50W bez chłodzenia wymuszonego, dochodząc do ok. 90°C na obudowie

tranzystora. Wskazane jest dodatkowo użycie pasty silikonowej. Przy połączeniu równoległym tranzystorów należy jeszcze wspomnieć o dodatkowych stratach na wyrównawczych rezystorach emiterowych. Stabilizator szeregowy można też zbudować, tworząc tradycyjny układ darlingtona, przedstawiony na **rysunku 2d**. Uzyskanie małego napięcia nasycenia (tu U_{D0}) będzie jednak niemożliwe, ponieważ sterowanie bazy tranzystora sterującego następuje z kolektora i musi być zawsze o 0,2...1V wyższe od napięcia na bazie T2'. Aby prawidłowo działał ogranicznik prądu oraz wzmacniacz błędów (regulował od zera Uwy), rezystor R8' nie może być mniejszy od 4,7kΩ, co z kolei wymusza zastosowanie tranzystorów T1' i T2' o dużym wzmocnieniu. Tu również wskazane jest dobranie rezystora sterującego R8' tak, jak w przypadku „zygzaka”. Tranzystor mocy powinien mieć $\beta > 60$ dla prądu 5A, a sterujący > 300 dla

prądu 0,2A. Tranzystory dawniejsze typu KD501... 503 mają najczęściej $\beta = 60/5A$ i doskonałe warunki chłodzenia, tj. miedzianą podstawę obudowy i aluminiową kopułkę. Nowsze tranzystory w obudowie TO218 typu BD249 mają duże wzmocnienie (posiadany egzemplarz ma 130/5A), ale dla poprawienia kontaktu z radiatorem nie zaszkodzi dodatkowo obejma, dociskająca korpus tranzystora do radiatora. Jako tranzystor sterujący może być dowolny typ w obudowie TO220, 10...40W, 2...8A i napięciu 60...100V o jak największym wzmocnieniu..

Niektóre zasilacze mają dodatkowy obwód sterowania tranzystorów szeregowych z podwyższonego napięcia, uzyskując znacznie mniejsze U_{D0min} . Możliwe jest wtedy zastosowanie tranzystorów o mniejszym wzmocnieniu lub darlingtonów monolitycznych, ale kosztem rozbudowania układu. Jeśli nie posiadamy tranzystorów o dużym wzmocnieniu, to możemy zmontować darlington klasyczny potrójny, przedstawiony na **rysunku 2e** jako wersja ZU-1B. Dla uproszczenia można wtedy zamiast T1'' i T2'' zastosować BDW83 lub zamiast T2'' i T3'' – TIP 120 lub podobny. Jeśli nadal nie wiemy, którą wersję wybrać, to można zerknąć do **tabeli 2**, gdzie podałem podstawowe cechy wszystkich wersji. Uważni Czytelnicy na pewno zauważą, że parametry tego zasilacza są bardzo podobne do równorzędnych (pod względem wydajności) zasilaczy fabrycznych.

Wzmacniacz błędów

Tu również zamiast wzmacniaczy operacyjnych zastosowałem komparator LM393 z wyjściem typu otwarty kolektor. Dzięki takiemu rozwiązaniu można tranzystor wyjściowy komparatora zasilacz oddzielnym i wyższym napięciem. Napięcie na końcówce 7 jest zawsze wyższe o ok. 0,7V od napięcia wyjściowego i może dochodzić do 36V, przy zastosowanym transfor-

matorze 24...25V. Nie wiadomo dokładnie, jakie napięcie K-E wytrzyma tranzystor końcowy, więc dla „spokoju” zastosowałem diodę D4 zabezpieczającą tranzystor. Komparator typu 393 ma parametry wejściowe bardzo podobne do wzmacniacza operacyjnego typu 358 i dlatego możliwa jest regulacja napięcia prawie od zera. W praktyce jest to kilka mV bez obciążenia wyjścia i ok. 0,5mV przy obciążonym wyjściu. Aby regulacja taka była możliwa, potencjometr P1 (rysunek 1) musi wykazywać najwyżej 2...3Ω przy dolnym położeniu suwaka. Rezystor R7 pokrywa „martwą” strefę napięcia wejściowego komparatora K2, wynoszącą ok. 1,3V. Resztę, czyli 4,7V, pokrywa potencjometr P1. Jeśli P1 będzie inny, np. 22kΩ, to i R7 trzeba proporcjonalnie zwiększyć. Nie zalecam stosowania potencjometru wielobrotowego, bo utrudnia nastawianie szybkożądanego napięcia, natomiast przydatny może być dodatkowy potencjometr (precyzer) włączony między R7 a P1 o wartości 3...5% potencjometru głównego, szczególnie przydatny przy cyfrowym odczycie napięcia wyjściowego. W moim zasilaczu zastosowałem potencjometr starego typu PM101 o dużej średnicy, po przemieszczeniu i przestawieniu suwaka na inną ścieżkę. Jeśli zastosujemy precyzer, to przy wyliczaniu R7 wartość precyзера traktujemy łącznie z potencjometrem głównym. Rezystancję najlepiej obliczyć, wyznaczając proporcję matematyczną.

Przed dobieraniem rezystorów należy zmierzyć faktyczną rezystancję potencjometru P1, bo rzeczywista wartość często różni się nawet o 30% od deklarowanej. Np. jeśli zamiast 10kΩ jest 13kΩ, to:

$$\frac{13k}{4,7V} = \frac{R7}{1,3}; R7 \approx 3,6k\Omega$$

(zawsze bierzemy nieco większy od wyliczonego).

W ten sposób uzyskujemy równomierną skalę bez martwych odcinków, a nanoszenia napięć na skali dokonujemy przy środkowym ustawieniu precyзера. Ponieważ tranzystory szeregowo oraz komparator K2 mają duże wzmocnienie, to w procesie regulacji (ciągłego porównywania napięcia wyjściowego z napięciem odniesienia, ustawianym potencjometrem P1) powstają oscylacje pasywnicze. Aby wytłumić oscylacje w.c.z., należy zastosować kondensatory C4 i C5. Kondensator C4 wprowadza dla najwyższych częstotliwości ujemne sprzężenie zwrotne, a C5 bocznikuje do masy. Wspomniałem już że kondensatory te, a zwłaszcza C5, należy dobrać jak najmniejsze ze względu na parametry dynamiczne. Przy braku kondensatora C4, C5 musiałby mieć ok. 2,2μF, ale wtedy zasilacz będzie za wolny przy obciążeniu impulsowym. Powolność zasilacza jest najbardziej odczuwalna w zakresie 1...10kHz i jeśli ktoś chce sprawdzić dobór kondensatorów na oscyloskopie, to najlepiej generator

Tranzystor mocy, dioda	Jc [A]	P [W] / obudowa	Wymiary płytki krzemowej	β przy Ic=5A
BU 326 (A)	6	60/TO3 ^u	3,5x3,5mm	6÷10
BU 508 (D)	8	125/TO-218	4,5x4,5mm	5÷6
BU 931 (941)	15	105/TO-218	4,5x5,5mm	600 d.
BUZH (A)	28	75/TO-220	2,2x2,2mm	MOS
2N 3055	15	117/TO-3	4x4mm	25÷40
KD 501... 503	20	150/TO-3	6x6mm	60
KU 605... 608	10	70/TO-3 ^u	6x6mm	40
BD 9M (912)	15	90/TO-220	2x2,5mm	40
BD 249	25	125/TO-218	4,8x4,8mm	130
TIP 35	25	125/TO-218	4,2x4,2mm	60
BDW 83	15	150/TO-218	3,6x3,6mm	5000 d.
BDW 93	12	80/TO-220	2,8x2,8mm	4000 d.
D 22	10	śruba M5	3,5x3,5mm (12mm ²)	
D 32	30	-/- M6	φ4,2mm (14mm ²)	
D 203	10	-/- M6	φ5,5mm (23mm ²)	
D 242..246	5	-/- M6	φ4,5mm (16mm ²)	

Tab. 1 Podstawowe parametry „cieplne” niektórych tranzystorów i diod dużej mocy 1) dla temperatury obudowy = 50°C, d) tranzystor w układzie Darlingtona, β – na podstawie posiadanych egzemplarzy

Tab. 2 Podstawowe parametry zasilacza ZU-1 oraz wersji pochodnych ZU1A i ZU1B

Wersja	U _{D0} przy 5A	Stabilizacja przy skoku obc. 0-5A dla U _{wy} = 15V i ~U ₂ = 24V	Czas odpowiedzi na skok obciążenia 0-5A (bez Cout) dla U _{wy} = 15V i ~U ₂ = 24V	Tętnienia przy obciążeniu 5A (bez Cout) U _{wy} = 15V i ~U ₂ = 24V	Skłonność do wstrząsów i oscylacji	Uwagi
ZU-1	0,9÷1,2V	-2mV	300÷400μs (w zależności od R8 i C5)	3mVpp, 0,7mV RMS	duża	Potrzebny Cout przy dużym obciążeniu dynamicznym, np. do 470μF dla obc. = 5A
ZU-1A	1,8÷2,7V zależnie od β T1 i T2	-3mV	50÷70μs	4mVpp, 1mV RMS	mała	Cout niekonieczny jeśli C6 będzie zwiększony do 1000μF dla obc. = 5A
ZU-1B	ok. 2V	-2mV	100÷150μs	3mVpp, 0,7mV RMS	średnia	Cout wskazany przy dużym obciążeniu impulsowym, ale do 2200μF

ustawić na ok. 5kHz. Skłonność do wzbudzeń i oscylacji pasożytniczych jest zależna od wzmocnienia ogólnego tranzystorów szeregowych. Wzbudzenia likwidujemy, zwiększając proporcjonalnie kondensatory C4 i C5, aż do skutku, ale bez przesady, bo jednocześnie maleje szybkość zasilacza. Jeśli kondensator C4 będzie za duży w stosunku do C5, to linia napięcia wyjściowego będzie lekko ząbkowana tuż przed zadziałaniem ogranicznika prądu (ustawionego na 0,5A). Najlepiej jest wtedy, jeśli kondensator C4 liczbowo wynosi 1,3...1,5 C5, ale pierwszy w pF, a drugi w nF. Na rysunku 2 (c, d, e) podałem wartości kondensatorów dobrane jako pewne do każdej wersji, ale niewykluczone, że i odpowiednio mniejsze wystarczą w indywidualnych przypadkach. Napięcie pomiarowe stabilizatora pobiera się z dzielnika R11 i R12. Rezystor R11 służy do ustawiania napięcia wyjściowego maksymalnego. Chociaż dla małych obciążeń może ono wynosić tylko o 0,7 mniej niż na wejściu, dochodząc do 35V, to i tak spadnie poniżej 30V przy dużych obciążeniach (dla trafo 2x12V). Dlatego w celu otrzymania pełnej i dokładnej skali najlepiej ustawić je na 30V i przy małym obciążeniu. Dioda D7 tłumii przepięcia pochodzące z obciążenia indukcyjnego (np. silniki DC) i powinna być sporej mocy, rzędu 5...10W; doskonale nadają się obecnie modne diody mocy, tzw. transile. Kondensator C6 dobrany jest praktycznie tak, aby z rozładowaniem (bez obciążenia zewnętrznego z dołączonym R15 na płytce) nadał przy typowym „kręceniu” potencjometru P1. Jednak przy obciążeniu krótkimi impulsami o dużej wartości prądu powinien być on kilkakrotnie większy, dlatego na zewnątrz płytki przewidziany jest dodatkowy kondensator (COUT) o poj. 4700µF. Obserwacja impulsów na oscyloskopie wykazała, że bardzo krótki i szybki impuls o dużej wartości prądu ma wierzchołek opadającej piły, bowiem kondensator C6 szybko się rozładowuje, a zespół regulacyjny (wzmacniacz błędów) ma pewne opóźnienie i nie zdąży natychmiast wyrównać napięcia. Po dołączeniu COUT_{OUT} impulsy miały prawidłowy kształt prostokątny oraz pełną wartość napięcia i prądu. Przeglądając wspomniane wcześniej ok. 20 zasilaczy, zauważyłem takie, które prawie na pewno nie pracowałyby dobrze z obciążeniem dynamicznym. Mam na myśli kondensator odpowiadający naszemu C5. Spotykane wartości rzędu 100...470nF są jeszcze w miarę, ale były i 2,2...4,7µF, a rekordzista miał w tym stopniu 100µF. Również kondensatory wyjściowe (u nas C6) były stawiane „na oko”, tj. 22...470µF, a rekordzista miał 0.

W początkowych wersjach zasilacza jako wzmacniacz błędów próbowałem zastosować LM358 i z powodzeniem, ale ze względów napięciowych trzeba było na wyjściu zastosować dodatkowy tranzystor oraz skrzyżować wejścia wzmacniacza, jednak ze względu na



Fotografia trójwymiarowa - oglądać w okularach anaglifowych
Zobacz też nieporównanie lepszy efekt: www.elportal.pl/3d

bardzo duże wzmocnienie trzeba było stosować ujemne sprzężenie zwrotne, trudniejsze było tłumienie oscylacji i nieco gorsza stabilizacja.

Blok napięcia odniesienia

Komparator typu 393 wymaga napięcia zasilającego w zakresie 3...36V. Dla bezpieczeństwa nie należy przekraczać 33V, podobnie jest ze stabilizatorami trzykońcówkowymi typu 78XX. Aby do maksimum uprościć zasilacz (bez pogorszenia parametrów), zdecydowałem się na wykorzystanie stabilizatora 7806 do zasilania pozostałych stopni K1 i K2 oraz napięcia odniesienia do zasilania potencjometru P1 (wraz z R7 i precyzerem). Napięcie odniesienia, czyli tzw. referencyjne, w większości przeglądanych zasilaczy było pobierane z diody Zenera w granicach 10V, ale pomiary jednoznacznie wskazują, że napięcie wyjściowe stabilizatora (temperaturowo i wartościami) jest stabilniejsze od diody Zenera.

Aby jeszcze zmniejszyć tętnienia na wejściu i wyjściu, zastosowałem kondensatory elektrolityczne. Montowane równolegle „lizaki” 100nF w żadnym miejscu nie były przydatne, ale zwolennicy ich stosowania mogą dołączać je równolegle do wszystkich elektrolitów. W sieci zdarzają się różne przepięcia, podskoki napięcia, zakłócenia, itp. I aby przypadkowo U2 nie uległ uszkodzeniu, należy go zabezpieczyć diodą Zenera 33V o mocy 5...10W. Rezystor R1 należy obliczać na napięcie równe różnicy $U_{we\ max}$ i U_{DZ} . Np. napięcie maksymalne bez obciążenia może czasami osiągać 37V, a napięcie na diodzie D1≈33V, czyli 4V przy przyjęciu prądu diody D1 i U2 około 40mA, R1 wyniesie 100Ω. Moc rezystora będzie $4V \times 0,04A = 0,16W$,

ale aby się nie nagrzewał, przyjmujemy 0,25...0,5W. Jeśli w obwodzie kolektora T5 będzie włączony przełącznik wentylatora, to R1 może być 1W, a przy U2 niewielki radiator. Napięcie referencyjne nie musi być akurat 6V, może być 5V lub 8...10V. 6V przyjąłem dlatego, że transformator najczęściej jest przełączany na 12 lub 24V i aby zapewnić spory zapas na wejściu U2, przy ustawieniu na 12V~ oraz obciążeniu T5 przełącznikiem lub wentylatorem 6V będzie odpowiednie. Jako dioda D1 również może być transil 33V. Jeśli w obwodzie kolektora T5 nie będzie obciążenia, to rezystor R1 można zmienić na 360...430Ω, zmniejszając znacznie obciążenie diody D1, której wtedy wystarczy moc 1...1,3W, a stabilizator U2 może być w małej obudowie (LM78L06).

Blok ograniczenia prądowego

Właściwie to nie jest żaden blok, tylko jeden tranzystor T4 oraz rezystor pomiarowy R0. Dioda D6 jest potrzebna tylko wtedy, gdy zasilacz będzie służył też do ładowania akumulatorów. Napięcie wsteczne diody powinno być większe od diody D7, najlepiej powyżej 40V. Może też być dioda germanowa małej mocy lub krzemowa, jeśli D5 będzie krzemowa. Przy braku diody D6 ulegał uszkodzeniu tranzystor T4 oraz tranzystor końcowy U1B przy zaniku napięcia sieci podczas ładowania akumulatora. Prąd „przechodził” przez R10, złącze B-K T4 i dalej na otwarty tranzystor końcowy U1B. Zanim ostatecznie przyjąłem tę wersję ogranicznika, próbowałem tak jak inni stosować wzmacniacze operacyjne z pomiarem napięcia na rezystorze 0,1Ω, włączonym w przewód masy, regulacją prądu płynną, ale kłopoty z oscylacjami i niestabilnością prądu spowodowały, że zrezygnowałem na

korzystać tego rozwiązania. Ogranicznik prądu pełni tu rolę bezpiecznika elektronicznego, a nie dokładnego źródła prądowego i nie musi być superprecyzyjny. Ograniczany prąd trochę się zmienia w zależności od temperatury tranzystora T4, tak jak w kostce $\mu A723$. Jeśli chcemy uzyskać kilka stopni ograniczania, musimy zastosować przełącznik rezystora R0. Wartości prądów przyjmujemy wg własnych przewidywanych potrzeb. Ja przyjąłem następująco: 0,05A dla drobnej elektroniki oraz testowania diod małej mocy, 0,5A do ładowania akumulatorów motocyklowych 4...7Ah oraz testowania diod i złączy B-E tranzystorów średniej i dużej mocy (np. dobieranie w parę lub do pracy równoległej), 3,5A do ładowania akumulatorów 35...40Ah oraz testów diod większej mocy. Zakres 8A służy do testowania modułów zapłonowych, żarówek i ściemniaczy dużej mocy. Stopień ostatni – bez ograniczania prądu, służy do testowania układów impulsowych, takich, gdzie prąd średni wynosi 2...5A, ale impulsy prądowe sięgają 10...12A. Włączenie ogranicznika zmieniliby pracę układu, a chwilowy spadek napięcia (bo z ograniczeniem prądu spada też napięcie) mógłby zakłócić pracę pozostałych stopni urządzenia. Przełącznik ogranicznika prądu pochodzi z trzyszekcyjnego przełącznika od starego prostownika radzieckiego, z sekcjami połączonymi równoległe. Układ połączeń jest taki, aby podczas przełączania nie był przerywany prąd główny, który mógłby spalić rezystor R10 i złącze B-E tranzystora T4. Schemat przełącznika przedstawiony jest na **rysunku 3**. Na zaciskach R0 występuje najczęściej napięcie około 0,65V. Aby obliczyć R1, dzielimy 0,65V przez 8A i wychodzi 0,08 Ω . Aby obliczyć R2, dzielimy 0,65V przez 3,5A i wychodzi 0,18 Ω na oba rezystory R01+R02. R02 będzie 0,18-0,08=0,1 Ω i tak kolejno odliczając od ostatniej rezystancji obliczone wcześniej rezystory. R01 trudno będzie kupić, więc jeśli nie mamy drutu oporowego o średnicy ok. 0,8mm, dającego się lutować, to łączymy równoległe dwa rezystory 0,15 Ω (lub 0,15 i 0,18). Przełącznik, który wymieniałem, ma kilkanaście pozycji i można zakresy prądowe przyjąć inne, według uznania. Rezystory ogranicznika muszą być dobrze nie tylko w celu uzyskania odpowiedniego prądu, ale także pod względem obciążenia mocą. Należy przyjąć zapas mocy dwukrotnie większy niż wynika to z iloczynu napięcia i prądu (0,65 x I_{abc}). Działanie ogranicznika można uznać za prawidłowe, jeśli prąd prawie się nie zmienia przy przełączaniu uzwojeń z 12 na 24V oraz spada do zera, jeśli skróćmy potencjometr P1 w lewo do oporu. Utworzenie zakresu prądowego poniżej 50mA nie jest wskazane ze względu na wstępne obciążenie rezystorem R15, ale w przyszłości planuję wyposażenie zasilacza w precyzyjne źródło prądowe w zakresie 1 μ A...50mA. Mam nadzieję, że opiszę ten układ na łamach EdW.

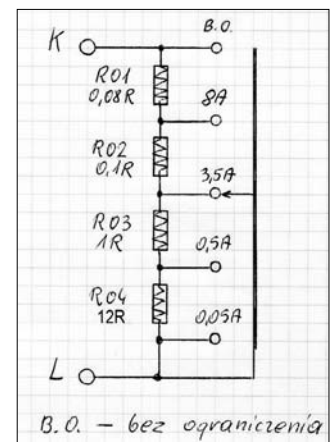
Zabezpieczenie termiczne

Kontrola temperatury radiatora w obudowie jest utrudniona i nieprzewidywalna, więc konieczne jest zabezpieczenie termiczne. Są różne rozwiązania, np. sygnalizacja akustyczna, świetlna, wentylacyjna, często połączona z samowylęczeniem stabilizatora. Ja nie lubię szumiącego urządzenia, więc wentylator wykluczam, tak samo i buzzer. Pozostawiłem samowylęczenie z sygnalizacją optyczną za pomocą superjasnej czerwonej diody LED D3. Wolna połówka komparatora U1 pracuje jako najprostsz regulator temperatury. Podwójna dioda D2 wykorzystana jest jako czujnik przykręcony do radiatora w pobliżu tranzystora T1. W urządzeniu modelowym jako czujnik wykorzystane jest podwójne złącze B-E tranzystora darlingtona w obudowie izolowanej, ale może to być każda dioda podwójna czy potrójna (np. BAP 811, 812) lub pojedyncza, a nawet termistor przyklejony na klej epoksydowy do radiatora, należy tylko dobrać odpowiedni rezystor R4. W stanie zimnym dioda D3 nie świeci, a tranzystor T5 nie przewodzi i nie ma wpływu na pracę wzmacniacza błędu U1B. Jeśli tranzystor mocy osiągnie ok. 90°C, a radiator ok. 80°C przełączy się komparator U1A, zaświeci się dioda D3, a tranzystor T5 przejdzie w stan nasycenia, blokując całkowicie stopień mocy T1-T3. Napięcie wyjściowe spadnie do zera tak, jakby było ustawione potencjometrem P1 na minimum. Przerwa trwa ok. 50 sekund, więc mamy czas na przełączenie uzwojenia wtórnego na niższe napięcie lub jeśli to niemożliwe, na zmniejszenie obciążenia, a jeśli i to niemożliwe, to przejsię na zasilanie z gałęzi niestabilizowanej. Po ostygnięciu wszystko wraca do poprzedniego stanu. W przypadku wykorzystania tranzystora T5 do sterownia wentylatora należy zdjąć zwore J (jumper), bo wystąpi znaczna różnica napięć między wyjściem wzmacniacza błędów a napięciem VCC. Często spotyka się rozwiązanie z automatycznym przełączaniem uzwojenia wtórnego transformatora poprzez przekaźnik sterowany wzmacniaczem uczulonym na

wartość napięcia wyjściowego. Ja tego nie zastosowałem, bo często korzystam z napięcia niestabilizowanego przy wyłączonym stabilizatorze. Kiedyś miałem zamontowane takie rozwiązanie, ale nie byłem z tego zadowolony, bo aby korzystać z innego napięcia, musiałem włączać też stabilizator i go przestrajać w zależności od potrzeby, a dodatkowo utrudniał mi pracę przy korzystaniu z autotransformatora. Jeśli zasilacz będzie przewidziany do intensywnego użytkowania, to jednak należy zastosować wentylator z oddzielnym włącznikiem i najlepiej z silniczkiem indukcyjnym, pozostawiając system samowylęczenia bez zmian. Można też zainstalować tzw. „inteligentne chłodzenie” po wprowadzeniu odpowiednich zmian w układzie zasilacza.

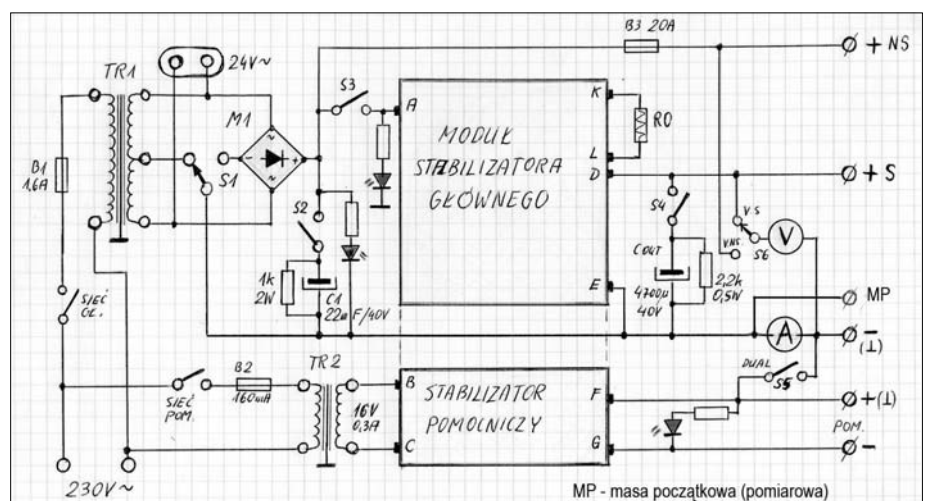
Zasilacz pomocniczy

Często testujemy lub konstruujemy urządzenia lub układy próbne, wymagające podwójnego napięcia lub tylko dodatkowo napięcia ujemnego o niewielkim poborze prądu. Do tego służy niezależny zasilacz małej mocy, oparty na układzie LM317. Schemat, wraz z zasilaczem głównym, jest podany na rysunku 1. Przy napięciu przemiennym uzwojenia



Rys. 3 Schemat przełącznika ogranicznika prądu

Rys. 4 Schemat kompletnego zasilacza

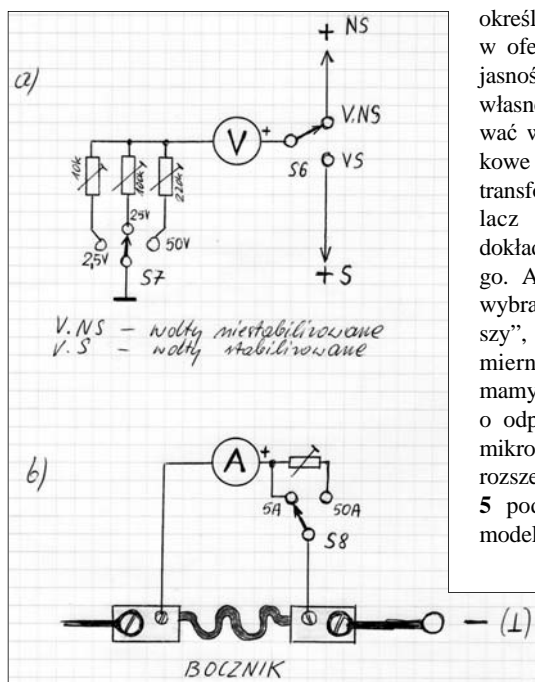


wtórnego ok. 16V uzyskujemy na wyjściu napięcie od 1,25V do 17,4V, ale można ustawić inne napięcie maksymalne, dobierając R13. Układ scalony LM317 może być obciążony mocą ciągłą, nie większą niż 1...1,5W, ale jeśli ktoś przewiduje większe obciążenie, to należy zastosować radiator oraz większy transformator pomocniczy. W urządzeniu modelowym jest TSS/5, dający 16V przy 0,3A, podobne, ale o nieco większej obciążalności prądowej to: TS 6/40, 6/54, 8/41, 8/024. Jeśli ktoś nawija samodzielnie główny transformator, to może nawinać dodatkowe, niezależne uzwojenie 16V/0,5A i nie montować transformatora pomocniczego. Widziałem też zasilacze z dodatkową przetwornicą do napięcia ujemnego w celu zasilania własnych wzmacniaczy operacyjnych starego typu. U nas taka przetwornica mogłaby zastąpić zasilacz pomocniczy. Do połączenia obu zasilaczy do podwójnego napięcia wyjściowego służy włącznik „DUAL” (S5). Stabilizacja zasilacza pomocniczego wynosi około 15mV przy skoku obciążenia 0-0,5A dla napięcia wyjściowego 10V.

Elementy uzupełniające

Sama płytką drukowaną nie wystarczy do działania zasilacza, musimy więc skompletować pozostałe elementy zewnętrzne. Najważniejszy jest transformator sieciowy o mocy około 200VA. W urządzeniu modelowym zastosowałem zwykły, składany typu EI z wydłużonym oknem, ale nie powinno być problemu, jeśli zastosujemy toroid. Jeśli przewidujemy zakres 0...30V, to najlepiej kupić typowy z uzwojeniem wtórnym 2x12V.

Rys. 5 Schematy mierników analogowych: a – woltomierza z rozszerzeniem na 3 podzakresy, b – amperomierza dwuzakresowego



Jeśli transformator nawijamy sami, to zalecam uzwojenie wtórne wykonać na 15V i 24V, a przełącznikiem napięć przełączać uzwojenia, a nie mostek prostowniczy jak na **rysunku 4**. Większość prac z zasilaczem prowadzimy w zakresie 12...15V, pełny prąd ładowania akumulatora 12V też wymaga nieco wyższego napięcia wtórnego. Jeśli ktoś przewiduje zakres napięcia wyjściowego 0...20V, to może zamontować transformator 17V i ok. 150VA i nie stosować przełącznika S1, ale należy dobrać rezystor R11 w granicach 6kΩ oraz nie montować elementów R1 i D1, a diodę D7 zmienić na 24...27V. Nie oszczędzać na mostku prostowniczym i kupić 25...30-ampereowy, a jeśli ktoś przewiduje częste używanie zasilacza niestabilizowanego z dużym obciążeniem, to zastosować diody prostownicze D32 lub radzieckie D203...246. Główny kondensator wygładzający C1 wystarczy 22mF (22000μF), ale jeśli przewidujemy duże obciążenie zasilacza niestabilizowanego, to nie zaszkodzi 33mF lub nawet 44...47mF, oczywiście dostosowany do maksymalnego napięcia. Rezystor 1kΩ/2W na zaciskach kondensatora służy do jego rozładowania po wyłączeniu przez ok. 60 sekund. Wyłącznika kondensatora C.IN (na rysunku 4 podany jako S2) używamy wtedy, gdy do doświadczeń potrzebne jest napięcie tylko wyprostowane. Wyłącznik S3 służy do wyłączania stabilizatora, jeśli korzystamy tylko z zasilacza niestabilizowanego ewentualnie tylko z transformatora (wyprowadzone gniazdo 24V~ lub 15/24V~). Wyłącznik kondensatora wyjściowego dodatkowego C. OUT (S4) omawiałem w opisie wzmacniacza błędu, natomiast włącznik S5 (DUAL) w opisie zasilacza pomocniczego. Całość należy uzupełnić odpowiednimi kontrolkami LED. W zasilaczu modelowym są podane na rysunku 4 bez określania rezystora szeregowego. Obecnie jest w ofercie duża różnorodność pod względem jasności i najlepiej dobrać rezystory według własnego uznania. Można jeszcze zainstalować w uznanych punktach bezpieczniki topikowe oraz wyłączniki sieciowe do każdego transformatora (B1, B2, S.Gł., S.Pom.). Zasilacz powinien być wyposażony w duże, dokładne mierniki napięcia i prądu wyjściowego. Analogowe czy cyfrowe, to już należy wybrać samemu. Ja, jako elektronik „dawniejszy”, oczywiście wolę wskazówki i takie też mierniki omówię dokładniej. Nie zawsze mamy gotowe woltomierze lub amperomierze o odpowiednich zakresach, ale mając różne mikro- lub miliamperomierze można zawsze rozszerzyć ich zakres pomiarowy. Na **rysunku 5** podałem schematy mierników zasilacza modelowego. Woltomierz z rysunku 5a ma trzy zakresy pomiarowe dokonywane przełącznikiem S7. Zakres 2,5V (lub 3V dla skali 30-stopniowej) jest bardzo przydatny do sprawdzania UF diod i złączy B-E przy doborzeniu

w pary lub połączenia równoległe dla dwóch wybranych zakresów ogranicznika prądu. Dodatkowo przełącznik S6 umożliwi pomiar napięcia stabilizowanego lub niestabilizowanego (V.S/V.NS). Na ogół też nie wystarczy jeden zakres amperomierza, ale przełączanie boczników, chociaż teoretycznie możliwe, jest praktycznie niezalecane ze względu na obciążalność prądową styków i ich rezystancję. Należy wtedy bocznik dobrać do mniejszego zakresu (rysunek 5b) z nieco większym zapasem na wytrzymałość prądową, a przełącznikiem S8 włączać w obwód samego miliamperomierza dodatkowy rezystor. Jednak taki pomiar może przeciążyć bocznik przy bardzo dużych prądach lub dokonywany w długim czasie. Nie zawsze pasują nam liczby wydrukowane na skalach mierników i czasem należy je zmienić. W tym celu wykrobujemy ostrożnie żyłkę zbędne fragmenty napisów i nanosimy nowe czarnym długopisem zwykłym (po żelowym tuszu może się „rozlać”). Częstym uszkodzeniem mierników magneto-elektrycznych jest zacinalenie się wskazówki w różnych miejscach skali, a powodem jest obecność opiłków stalowych w szczelinie powietrznej. W takiej sytuacji miernik należy zdemontować i „wylapać” opiłki stalową igłą lub, jeśli jest za duża, to szpilką z przylutowanym grubym drutem. Często spotykanym rozwiązaniem w zasilaczach jest użycie jednego miernika, przełączanego jako woltomierz i amperomierz. Ja stanowczo nie zalecam takiego rozwiązania, gdyż wprowadza dyskomfort pomiarów. Obserwując napięcie, nie widzimy, co się dzieje z prądem i odwrotnie, o wydłużeniu czasu pomiaru nie wspomnę. Takie rozwiązanie można zastosować do ładowarek akumulatorów lub zasilaczy pomocniczych. Powrócę jeszcze do problemów z bocznikiem do amperomierza, gdy nie mamy gotowego i musimy go wykonać sami. Potrzebny będzie drut lub taśma oporowa z materiału o małym współczynniku temperaturowym i nieutrudniającym lutowania. Idealnym materiałem jest konstantan, ale nie jest łatwy do nabycia. Doraźnie można użyć mosiądzu, bo ma około 4-krotnie większą rezystywność od miedzi i około 3-krotnie mniejszy przyrost rezystancji temperaturowej. Przekrój drutu (taśmy) nie powinien być mniejszy od dołączonych przewodów, a długość trzeba dobrać doświadczalnie. Czasami drut oporowy lub rezystory drutowe o dużych wymiarach można spotkać w „BOMIS-ach”. Znacznie lepszym materiałem oporowym od mosiądzu jest nowe srebro i czasem można je spotkać w sklepach z metalami kolorowymi. Szukanie odpowiednich średnic jest zbędne, bo drut doskonale się lutuje i zawsze można złożyć odpowiedni przekrój z cieńszych drutów.

Stefan Roguski
stefan_roguski@wp.pl

Ciąg dalszy w następnym numerze



Praktyczny zasilacz warsztatowy ZU-1

kit
2808
AVT

część 2



Montaż i uruchomienie

Montaż drobnych elementów wykonujemy na płytce drukowanej, przedstawionej na rysunku 6. Niektóre elementy nie są montowane bezpośrednio na płytce, tylko w pewnej odległości, a będą to: potencjometry, przełącznik ogranicznika prądu z rezystorami, tranzystor mocy T1, dioda D3, pod które należy wlotować widelki lutownicze lub pocynowane kołki miedziane o średnicy 0,8...1,3mm, w zależności od przewodzącego prądu. To samo dotyczy zacisków wyjściowych i elementów dobieranych. Transformatory ustawiamy tak, aby środkowe kolumny rdzeni były prostopadłe względem siebie. Mostek prostowniczy M1 montujemy na radiatorze żebrowanym 150...200g, a tranzystor mocy 350...400g bez przekładki izolacyjnej, ale przy użyciu pasty silikonowej. Obwody silnoprądowe montujemy w pierwszej kolejności odpowiednio grubymi przewodami, a następnie obwody słaboprądowe (elementów kontrolnych i regulacyjnych) cienkimi przewodami. Przykładowy montaż zasilacza modelowego przedstawiają fotografie. Obwody urządzeń profesjonalnych montowane są najczęściej w postaci sznurowanych wiązek. Ja montowałem je chaotycznie, trochę z lenistwa, a trochę w celu łatwego odszukania i wymiany elementu w razie zmiany w schemacie. Podobno przewody w wiązkach są podatniejsze na sprzężenia pasożytnicze.

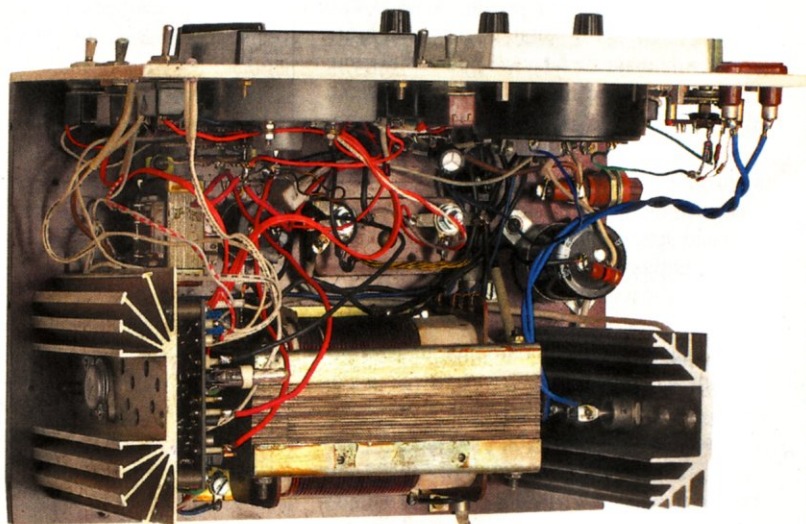
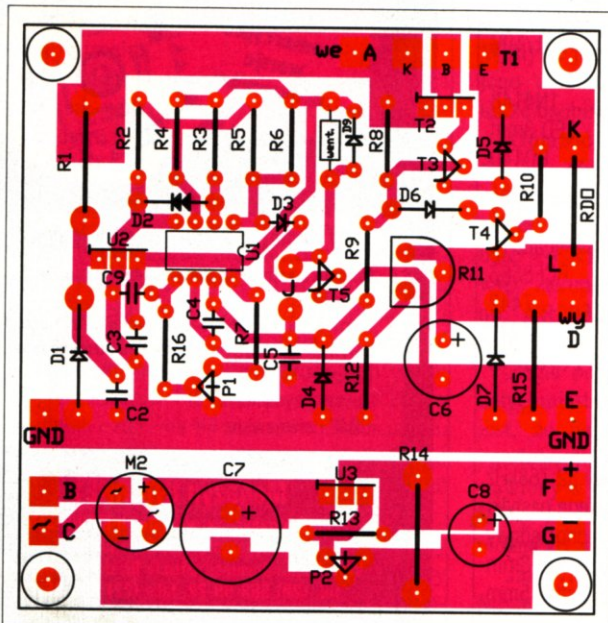
Obudowa plastikowa powinna mieć otwory lub szczeliny wentylacyjne, natomiast metalowa – niekoniecznie. Przed montażem wszystkie elementy powinny być dokładnie sprawdzone, jak również wszystkie obwody po zmontowaniu, a wtedy nie będzie kłopotów przy uruchomieniu. W pierwszej kolejności należy zmontować zasilacz niestabilizowany oraz wszystkie zaciski wyjściowe oraz dokładnie pomierzyć napięcia główne w celu dobrania elementów zasilacza stabilizowanego, chodzi przede wszystkim o kondensatory elektrolityczne i diody zabezpieczające. Również płytke stabilizatora można połączyć poza obudową (tylko tranzystor mocy umocować do właściwego radiatora) w celu łatwego dobrania elementów lub odszukania ewentualnych błędów. Przed pierwszym włączeniem stabiliza-

toru należy sprawdzić, czy nie ma zwarcia między wyjściowymi zaciskami.

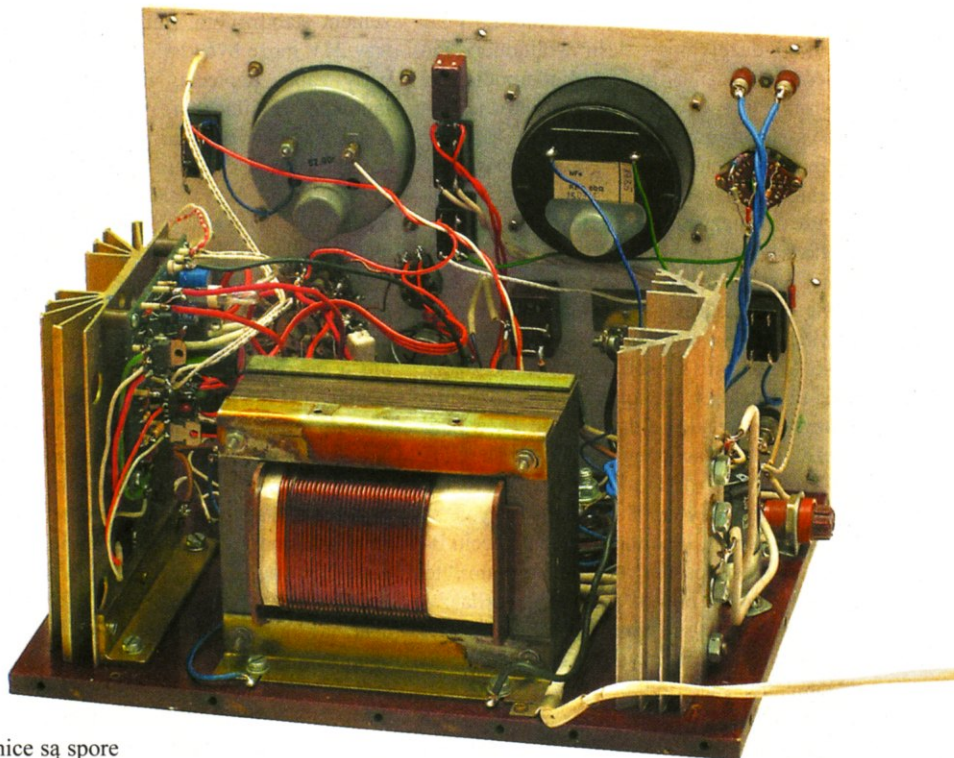
Przed montażem wszystkie elementy powinny być dokładnie sprawdzone, jak również wszystkie obwody po zmontowaniu, a wtedy nie będzie kłopotów przy uruchomieniu.

W pierwszej kolejności należy zmontować zasilacz niestabilizowany oraz wszystkie zaciski wyjściowe oraz dokładnie pomierzyć napięcia główne w celu dobrania elementów zasilacza stabilizowanego, chodzi przede wszystkim o kondensatory elektrolityczne i diody zabezpieczające. Również płytke stabilizatora można połączyć poza obudową (tylko tranzystor mocy umocować do właściwego radiatora) w celu łatwego dobrania elementów lub odszukania ewentualnych błędów. Przed pierwszym włączeniem stabiliza-

Rys. 6 Płytkę drukowaną



torą ustawiamy odbiornik radiowy na falach długich, najlepiej na początku skali w miejscu wolnym od stacji i gwizdów interferencyjnych. Odbiornik nie powinien być ustawiony bliżej niż 1,2...1,5m. Każdy zasilacz ze wzmacniaczem błędu powoduje jakieś dźwięki (kostki 317 i 723 również) i podana odległość jest odpowiednia, by w radiu były słyszalne tylko dźwięki pasożytnicze. Aby zabezpieczenie termiczne nie utrudniało wstępnych regulacji stabilizatora, można na razie nie montować rezystora R4 lub zdjąć zworę J. Jeśli ktoś zdecyduje się na wersję ZU-1A lub ZU-1B, to należy wprowadzić drobne zmiany na płytce w okolicy tranzystorów szeregowych. Zamiast przełącznika zakresu prądowego można na razie wlotować rezystor ok. 1Ω. Do wyjścia najlepiej dołączyć żarówkę 24V i 4...5W oraz woltomierz. Po ustawieniu potencjometru P1 na minimum włączamy zasilanie modułu, najlepiej przez bezpiecznik topikowy rzędu 0,5A oraz amperomierz. Jeśli płynnie niewielki prąd, wynikający z zasilania układów scalonych, diody D1 oraz rezystora R1, to można przystąpić do pomiarów. Najpierw sprawdzamy, czy jest prawidłowe napięcie referencyjne na wyjściu U2, a jeśli tak, to ostrożnie pokręcamy potencjometrem P1, obserwując woltomierz i sprawdzając, czy nie słychać żadnych „ćwierkań” w odbiorniku radiowym w takt pokręcania P1. Jeśli napięcie daje się regulować od zera do maksimum, to ustawiamy napięcie wyjściowe maksymalnie. Przełączamy uzwojenie na 24V, potencjometr P1 na maksimum, a precyzer na środku i ustawiamy rezystor dostrojczy R11 tak, aby uzyskać 30V (lub minimalnie więcej). Jeśli nie jest to rezystor na podłożu ceramicznym, to lepiej po zmierzeniu wymienić na rezystor stały. Teraz już można oznaczyć „okrągłe” liczby na skali, np. 0 - 5 - 10 - 15V itd., zgodnie ze wskazaniem woltomierza. Po przełączeniu uzwojenia na 12V (lub 15) napięcia powinny się zgadzać, ale do pewnej wartości, wynikającej z maksymalnego napięcia na tym zakresie. Następnie należy usunąć bezpiecznik (lub założyć większy, rzędu 10A), wymienić rezystor ogranicznika lub dołączyć zespół przełącznika prądowego i sprawdzić stabilizator przy obciążeniu. Jeśli jest to żarówka reflektorowa 60W/24V, to zaobserwujemy jakby „pływanie prądu” ze względu na jej nieliniowość. Zaobserwujemy także chwilowe spadki napięcia w momencie dołączania ze względu na jej duży prąd początkowy, mogący spowodować zadziałanie ogranicznika. Próby stabilizacji i działania ogranicznika prądu lepiej dokonywać za pomocą rezystorów dużej mocy. Jeśli napięcie wyjściowe nie spada do zera, to należy sprawdzić, czy potencjometr P1 wykazuje najwyżej 2...3Ω przy maksymalnym skręceniu w lewo, dodatkowo można zewrzeć suwak z masą. Innym powodem może być dość wysokie „dolne” napięcie wyjściowe komparatora K2.



Różnice są spore

(w zależności od producenta), a odpowiednik pod nazwą DBL393 zupełnie się tu nie nadaje. Uplywność złączy K-E tranzystorów szeregowych też może być przyczyną trudności w uzyskaniu zera regulacyjnego. Przed montażem tranzystory te należy sprawdzić, nie tylko omomierzem, ale za pomocą podwyższonego napięcia, najlepiej takiego, przy jakim będą pracować. Zabezpieczenie termiczne należy wyregulować po nagraniu radiatora do ok. 80°C (kopułka tranzystora mocy nie powinna nagrzewać się powyżej 100°C). W tym celu należy obciążyć zasilacz prądem ok. 3A i tak dobrać obciążenie, aby na tranzystorze mocy było ok. 15V (między wejściem a wyjściem). W razie potrzeby można pomagać suszarką do włosów. Po osiągnięciu wymaganej temperatury dobieramy rezystor R4 tak, aby zaświeciła się dioda D3, a na wyjściu napięcie spadło do zera. Zwora J oczywiście powinna być zwarta. Nie można jednocześnie realizować załączania przekaźnika lub buzera w obwodzie T5 ze względu na dużą różnicę napięć między VCC a wyjściem komparatora U1B. Jeśli ktoś się zdecyduje na wentylator, przekaźnik lub buzer, to trzeba zrezygnować z samowylączania, zdejmując zworę J. Uruchomienie zasilacza pomocniczego z LM317 nie powinno stwarzać problemów, gdyż omawiane było już wielokrotnie na łamach EdW. Na wyjściu zasilacza pomocniczego nie ma woltomierza, dlatego też należy przy potencjometrze P2 wykonać dokładną skalę. Na upartego można zainstalować dodatkowy przełącznik, umożliwiający pomiar tego napięcia woltomierzem głównym. Jeśli posiadamy oscyloskop, to dołączamy go do wyjścia i obserwujemy, czy linia przesuwanąca się w kierunku pionowym (wraz z obrotem

gałki P1) jest czysta w każdym położeniu dla różnych obciążeń, jedynie będą widoczne tętnienia po wejściu tranzystora mocy poza zakres stabilizacji przy dużym obciążeniu lub małym, ale na zakresie 12V~ trafo. Jeśli linia jest „czysta”, to można spróbować zmniejszyć kondensator C5 na 33nF lub 22nF, ale jeśli pojawią się oscylacje, to trzeba powrócić do 47nF. Nie sugerować się porównaniem z innymi zasilaczami, gdzie w tym stopniu są montowane znacznie większe kondensatory. Ja próbowałem różnych kondensatorów, ale zasilacz pracował tylko statycznie, a już 220nF uniemożliwiło testowanie modułu zapłonowego. Jeśli nie ma oscyloskopu, to trzeba wykorzystać odbiornik radiowy, a wykrywa on oscylacje pasożytnicze wcale nie gorzej od oscyloskopu, a były przypadki, że na oscyloskopie było dobrze, a w radiu było słychać zakłócenia, np. przed zastosowaniem C9 i R16.

Eksplatacja i możliwości zmian

Do czego służy zasilacz każdy wie, jednak ten zasilacz jest trochę nietypowy i umożliwia uproszczenie pomiarów niektórych elementów. Możliwy jest pomiar lub identyfikacja diod bez budowania dodatkowych obwodów pomiarowych dzięki temu, że regulacja napięcia wyjściowego przebiega od zera. Aby dobrać diody do połączenia równoległego, należy zmierzyć ich napięcie przewodzenia (U_F) przynajmniej dla dwóch różnych prądów, bo mogą mieć niejednakowe nachylenie charakterystyki przewodzenia. Ustawiamy wtedy napięcie wyjściowe na 1,5...2V (zakres 2,5V woltomierza), ogranicznik prądu na 0,5A dla pierwszego pomiaru, a 3,5A dla

drugiego pomiaru lub odpowiednio 3,5 i 8A dla diod dużej mocy. Jeśli woltomierz nie zmienia wskazań, to należy diodę podłączyć odwrotnie – przy okazji można określić biegunowość diody. Diody Zenera również można testować bezpośrednio, ustawiając ogranicznik na 0,05A, ale pomiar należy zawsze rozpoczynać od zera, bo rozładowanie kondensatora C6 może uszkodzić diodę małej mocy. Można też łatwo zidentyfikować nieznaną diodę, określając ich budowę na podstawie napięcia przewodzenia oraz biegunowości. W ten sam sposób można badać złącza B-E tranzystorów bipolarnych, odróżniając tranzystory zwykle od darlingtonów. Zwykle, zależnie od ustawionego prądu mają U_{FB} $E=0,7...0,9V$, a darlingtony 1,4...1,8V. Do stopni dużej mocy (np. do zasilaczy) wybieramy oczywiście te o najmniejszym napięciu B-E. Jeśli ktoś posiada autotransformator, to włączając go w obwód pierwotny zasilacza, ustawionego na system niestabilizowany, można z zasilacza uzyskać każde napięcie przemienne, stałe, tylko wyprostowane lub też wygładzone zależnie od ustawienia przełącznika S3. Era maluchów z prądnicami prądu stałego powoli się kończy i ładowanie akumulatorów potrzebne jest sporadycznie, szczególnie w okresie jesienno-zimowym. Ten zasilacz umożliwi ładowanie akumulatorów samochodowych i to nie byle jakie, a dokładne napięciowo i prądowo. Aby naładować akumulator, trzeba najpierw ustawić napięcie maksymalne, tj. 7,2...7,5, 14,5... 15, 29...30 dla akumulatorów 6, 12 lub 24V, następnie przełącznik ogranicznika na odpowiedni prąd (np. dla akum. 36Ah – 3,5A) i dołączyć akumulator, zwracając szczególną uwagę na biegunowość. Nie testowałem odporności na odwrócenie biegunowości i myślę, że chyba nie trzeba ryzykować. Początkowo będzie płynął prąd wynikający z ustawienia ogranicznika, a następnie będzie malał w miarę naładowania, utrzymując ustaloną przednio napięcie.

Pozostaje jeszcze określenie, jaka moc wydzieli się na stabilizatorze szeregowym i czy może nastąpić przeciążenie. Rozpatrzmy skrajnie niekorzystny przypadek, tj. akumulator 12V i transformator ustawiony na 24V~. Napięcie na wejściu stabilizatora, przy obciążeniu 3,5A, wyniesie około 28V, na akumulatorze początkowo około 12V, czyli $16V \times 3,5A = 56W$. Jest to stanowczo za dużo i trzeba albo zmniejszyć prąd, albo przełączyć na 12V~, ale wtedy nie osiągniemy prądu 3,5A tylko 2,0...2,5A. Przy doładowywaniu jednak napięcie osiągnie 15V, bo prąd spadnie do 0,5...1A, ale czas ładowania będzie dłuższy. Jeśli nawijamy transformator sami, to stanowczo uzwojenie wtórne wykonujemy na 15...16 i 24...25V i przełączamy uzwojenia, zamiast mostek – środek uzwojenia. Przy ładowaniu akumulatorów motocyklowych 4...10Ah nie powinno być kłopotu z przecią-

żeniem stabilizatora. Ładowanie akumulatorów 24V może być kłopotliwe ze względu na mały zapas napięcia, ale można najpierw ładować zasilaczem niestabilizowanym, a gdy napięcie osiągnie ok. 27V, przełączyć na stabilizowane i prąd 3,5A. W opisanych przypadkach braku zapasu napięcia do ładowania akumulatorów nie jest zalecane budowanie stabilizatora szeregowego w postaci klasycznego darlingtona ze względu na duże U_{DO} . Czasem w zasilaczach spotyka się sygnalizatory pracy poza zakresem stabilizacji lub w zakresie ograniczenia prądowego. Ten zasilacz nie ma takich urządzeń, ale jeśli ktoś chce, to może coś domontować. Podczas konstruowania i testowania układów impulsowych należy ogranicznik prądu ustawiać z pewnym zapasem, tak aby nie doszło do zniekształcenia (obcinania) impulsów. Na przykład testując moduł zapłonowy z prądem I_m równym ok. 5...6A, należy ogranicznik ustawiać na 8A. Nie trzeba też zapominać, że ogranicznik prądu „podkrada” napięcie wyjściowe rzędu 0,65V przy pełnym działaniu. Ustawiając dwukrotny zapas tracimy ok. 0,3V. Zwoleńnicy cyfryzacji urządzeń zasilających oczywiście mogą wykorzystać tylko niektóre bloki zasilacza. Patrząc na schemat stabilizatora, wydaje się, że powinien pracować też MOSFET w roli tranzystora szeregowego. I rzeczywiście pracuje, ale tylko jako stabilizator napięcia z dużym U_{DO} , rzędu 4V, bo tyle właśnie wynosi napięcie otwarcia tranzystora. Po ustawieniu ogranicznika i próbie zwarcia BUZ-y 11 „strzelały jak kapiszony” i po stracie kilku sztuk zrezygnowałem. Zresztą i moc tranzystora w obudowie TO220 nie jest za duża, a nadają się one bardziej do pracy jako przełączniki w układach impulsowych. Parametry stabilizatora zależą od zastosowanego zespołu prostownikowego i tu nie

należy oszczędzać na mocy transformatora czy mostka prostowniczego. Sam stabilizator po pewnym czasie może przestać się podobać, gdy znajdziemy lepszy, ale prostownik powinien być uniwersalny.

W obu stabilizatorach zastosowałem najprostszy sposób obciążenia wstępnego w postaci rezystorów R14 i R15. Lepiej byłoby zastosować obciążenie nieliniowe (większe przy niskich napięciach). Do stabilizatora głównego dobrze nadaje się żarówka 60V/30mA, mająca 200Ω w stanie zimnym i 1400Ω przy 30V na wyjściu.

Czytelników może zdziwić, dlaczego jako T2 (T2', T2'') zastosowałem tranzystory dość dużej mocy. Można obliczyć, że w skrajnie niekorzystnych warunkach ($U_{DO} \approx 25V$, J_c T2=80mA) tranzystor wydzieli ok. 2W mocy, co i tak jest dużo jak na obudowę TO220. Widziałem schematy zasilaczy na bazie μA 723 z pojedynczym tranzystorem mocy i jest wtedy oczywiste, że w opisanych warunkach moc sterującą przenosi układ scalony, który ulega często uszkodzeniu po przekroczeniu mocy strat = 700mW. Konstruując układy pracujące impulsowo, należy pamiętać o lokalnym zablokowaniu zasilania odpowiednim kondensatorem elektrolitycznym, szczególnie jeśli przewody łączące zasilacz z badanym urządzeniem są długie, inaczej napięcie zasilające zostanie odkształcone. W zasilaczu można kondensator C6 podzielić na dwie części po 220μF, montując jeden na płytce, a drugi bezpośrednio na zaciskach wyjściowych.

Na zakończenie jeszcze kilka słów o pomiarach zasilaczy. Z braku woltomierza o dużej rozdzielczości, pomiar stabilizacji przeprowadziłem metodą różnicową (według wskazówek redaktora naczelnego EdW), przy użyciu stabilizatora pomocniczego z LM317.

ciąg dalszy na stronie 30.

Wykaz elementów	Kondensatory	
Rezystory	C1	22000uF/40V
R1	C2	22μF/35V
100Ω	C3	22μF/10...16V
(lub 360Ω) 1W (0,25W)	C4	68pF
R2,R3	C5,C9	47nF
4,7kΩ	C6	470μF/35V
R4*	C7	2200μF/25V
30kΩ	C8	22μF/25V
R5	Półprzewodniki	
1,8MΩ	U1	LM393N
R6,R7	U2	LM7806
2,7kΩ	U3	LM317
R8	T1	KD503, 2SD113, TIP35
8,2kΩ	T2	BD244, TIP42
R9,R10	T3,T5	BC547A lub BC237A
22Ω	T4	BC547B,C lub BC237B
R11*	D1	1N5364 (BZX85C33)
10kΩ	D2	2*Si (wg opisu)
R12,R14	D3	LED czerwona, superjasna
1,8kΩ	D4	BZX85C33, P6KE33A
R13	D5,D6	Schottky m. mocy
910Ω		lub 1N4002
R15	D7	1,5KE36A lub 1N5365
1kΩ 1W	M1	mostek 25...35A/200V
R16	M2	mostek 1,5A/100V
15kΩ	Pozostałe	
RO	Tr1	TS180/10, TST200/004, TST300/002
patrz rysunek 3	Tr2	TS5/5, TS6/40, TS6/54
P1,P2	S1,S3	6A/250V lub 10A/125V
10kΩ liniowe (A)	S2,S4...S8	1,5A/250V (Pd 11)
	Inne	według opisu w tekście
	Uwaga: R1 i D1 w nawiasach dotyczą wersji z nieobciążonym tranzystorem T5	

Płytki montażowa jest dostępna w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2808

Pomiar tętnień jest nieco trudniejszy ze względu na konieczność ustawienia oscyloskopu w zakresie bardzo dużej czułości. Jeśli wyjdzie nam dość duża amplituda, rzędu 10mVpp, to należy określić tętnienia samej sondy ze zwartymi końcówkami. W moim przypadku (oscyloskop CQ5620) sonda na ustawieniu x10 indukowała 5...6mV głównie 50Hz, czyli tętnienia z zasilacza będą ok. 4mVpp. Tętnienia o wartości skutecznej (RMS) mierzyłem miernikiem analogowym ze wzmacniaczem i wynosiły najczęściej 0,6...0,8mV, co by się zgadzało, bowiem stosunek wartości Vpp do RMS najczęściej wynosi 3...4 dla przebiegów sinusoidalnych i trójkątnych. Na główny przebieg tętnień 50Hz nałożony jest jeszcze przebieg tętnień roboczych o wielokrotnie mniejszej amplitudzie i znacznie większej częstotliwości, zwią-

zanych z wymianą informacji (napięciowej) wzmacniacza błędu. W zasilaczu ZU-1 jest to około 1MHz, w zasilaczu z kostką 723 jest około 20kHz. Aby się o tym przekonać, należy ustawić odbiornik radiowy na fale średnie w pobliżu 1000kHz, a sam odbiornik w odległości 20...30cm od zasilacza. Wzmoczony szum w odbiorniku może nieco zmieniać miejsce na skali w zależności od ustawienia potencjometru P1. W reklamówkach zasilaczy firmowych również czasem podawane są wartości tętnień w zakresie do 10MHz. W większości jednak firmy takich parametrów nie podają z obawy, że niewtajemniczeni użytkownicy uznają je za niekorzystne. Tak samo jest z unikaniem podawania współczynnika stabilizacji na krańcach zakresu napięciowego, który jest we wszystkich zasilaczach zawsze gorszy od środkowego. Ja też podałem dla 15V, ale już przy 5V jest około dwukrotnie gorzej.

W przeciwieństwie do poprzednich konstrukcji z tego zasilacza jestem bardzo zadowolony i polecam jego wykonanie tym Czytelnikom, którzy jeszcze nie mają dobrego zasilacza, a chcą przystąpić do budowy. Gdyby Czytelnicy mieli jakieś uwagi lub pytania, dotyczące opisanego zasilacza, mogą zwracać się bezpośrednio do mnie.

Stefan Roguski

stefan_roguski@wp.pl



Uwaga! Podczas użytkowania urządzenia w jego obwodach występują napięcia groźne dla życia i zdrowia. Osoby niedoświadczone i niepełnoletnie mogą wykonać je wyłącznie pod kierunkiem wykwalifikowanego opiekuna, na przykład nauczyciela.