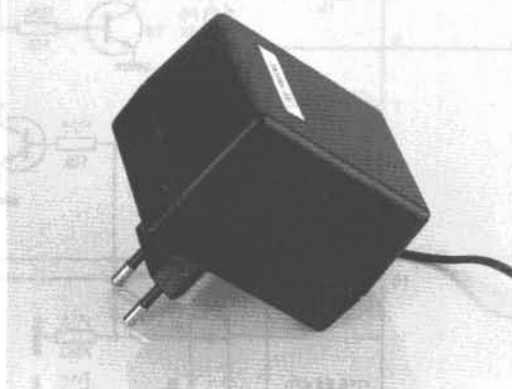


Każde urządzenie elektroniczne musi być zasilane. Urządzenia przenośne są zazwyczaj zasilane z baterii lub akumulatorów, niektóre z baterii słonecznych. Urządzenia stacjonarne zawierają zasilacze sieciowe. W tym artykule rozpatrzmy zagadnienie klasycznych zasilaczy o pracy ciągłej oraz sposobów zasilania bezpośrednio z sieci, z elementem ograniczającym prąd. O zasilaczach impulsowych napiszemy nieco później.



Zasilanie układów elektronicznych



Rysunek 1 przedstawia typowy, uproszczony schemat zasilacza o pracy ciągłej. Naszym zadaniem jest tak dobrać elementy, aby otrzymać na wyjściu wymagane napięcie i prąd. Omówmy zatem główne podzespoły zasilacza.

Transformator sieciowy

Mając prąd i napięcie wyjściowe zasilacza możemy obliczyć jego moc wyjściową $P_{wy} = U_{wy} \times I_{wy}$. W oznaczeniu transformatora, np. TS 8/1, pierwsza liczba określa moc, druga jest niewiele nam mówiącym numerem opracowania. Parametry zasilacza - zwykle prąd i napięcie - możemy znaleźć w katalogu.

Mając moc wyjściową P_{wy} musimy wybrać transformator o mocy od 40 do 100% większej! Wynika to z nieuniknionych strat w prostowniku i stabilizatorze.

Nie ma konkretnej reguły doboru transformatora. Ogólnie można stwierdzić, że gdy napięcie wyjściowe jest niskie, np. 5V, wtedy straty są większe, zatem trzeba zastosować trafo

o większej mocy niż dla zasilacza o większym napięciu wyjściowym. W przybliżeniu można przyjąć, że napięcie katalogowe transformatora powinno być równe lub nieco większe niż założone stałe napięcie wyjściowe. Szczegółowe wyjaśnienia wynikają z analizy prostownika i stabilizatora.

Należy stwierdzić, że transformatory o małych mocach, rzędu kilku watów, są zwykle bardziej „miękkie” niż transformatory duże. Znaczący to, że napięcie pod obciążeniem znacznie spada w stosunku do napięcia jałowego. Z drugiej strony jest to zaletą - część tych transformatorów jest zwarciodopuszczalna - wytrzymują one zwarcie na wyjściu przez kilka godzin i nie stosuje się do nich bezpieczników po stronie sieci.

Należy także wspomnieć, że wartości napięć i prądów podawane w katalogach odnoszą się do prądów zmiennych. Przy zastosowaniu prostownika może się okazać, że w praktycznym układzie nie da się ich osiągnąć.

Przypomnijmy jeszcze jedną bardzo ważną sprawą, o której często się

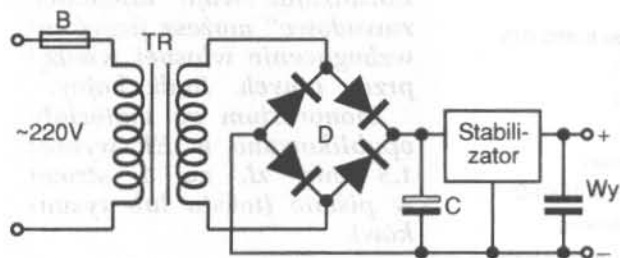
zapomina. Parametry transformatorów są podawane przy nominalnym napięciu sieci 220V. Tymczasem w niektórych okolicach trzeba liczyć się ze spadkiem napięcia sieci. Spadki te nie są już tak drastyczne jak kilka lat temu, gdy ogłaszano 20 stopień zasilania. Jednak trzeba mieć świadomość, że spadek napięcia sieci silnie zmniejsza wydajność transformatora. Dla wielu urządzeń profesjonalnych zakłada się margines zasilania 220V +10% -15%. W konstrukcjach amatorskich można przyjąć napięcie 220V -10%, co zaoszczędzi kłopotów, gdyby zimą okazało się, że w gniazdku mamy napięcie tylko 200V. Nie zaponinajmy więc o wpływie wahań napięcia sieci na parametry zasilacza.

Nie omówimy sposobów obliczania i uzwajania transformatorów, po pierwsze dlatego, że są dostępne w handlu w dużym wyborze, a po drugie, fabryczne transformatory spełniają wymagania bezpieczeństwa, a niedbale wykonany amatorski może być przyczyną tragedii.

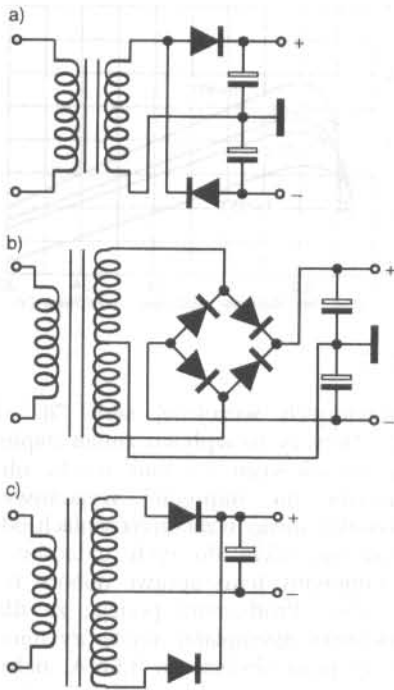
Prostownik

Najczęściej stosuje się układ mostkowy. Na uwagę zasługują też inne układy prostownicze, które mogą być przydatne w niektórych zastosowaniach (rys. 2).

Układ przedstawiony na rys. 2a jest jednopółkownikowym podwajaczem napięcia - z jednego uzwojenia otrzymujemy dwa napięcia symetryczne względem masy. Wadą tego typu prostownika jest konieczność stosowa-



Rys. 1.



Rys. 2.

nia większych kondensatorów filtrujących.

Układ z rys. 2b wymaga transformatora z dzielonym na połówki uzwojeniem. Zaletą tego układu jest uzyskanie napięcia symetrycznego przy prostowaniu dwupołwkowym oraz możliwość stosowania kondensatorów na napięcie mniejsze niż całkowite napięcie na wyjściu. Może to być przydatne w przypadku, gdy są kłopoty z kondensatorami na wyższe napięcia, np. 63V czy 100V.

Układ z rys. 2c wymaga tylko dwóch diod, ale niezbędne jest dzielone uzwojenie. Straty mocy na diodach są mniejsze niż w klasycznym układzie mostka.

Przy doborze diod należy uwzględnić nie tylko prąd wyprostowany, ale także maksymalny prąd udarowy przy załączeniu do sieci, gdy elektrolity są puste. Ma to znaczenie przy dużych pojemnościach filtrujących i dużych wydajnościach transformatora.

Należy także przypomnieć o stratach mocy na diodach. Jak wiadomo, typowy spadek napięcia wynosi 0,7..1V. Mnożąc to przez płynący prąd, często otrzymuje się dużą wartość mocy traconej. W układzie mostkowym trzeba uwzględnić spadek na dwóch diodach, czyli prawie 2V. Dlatego przy niskich napięciach i dużych prądach te straty są znaczące w całym bilansie mocy zasilacza. Układ z rys. 2c ma mniejszą moc strat na diodach. Mało jeszcze znanym wśród amatorów sposobem zmniejszenia tych strat jest użycie diod Schotky'ego,

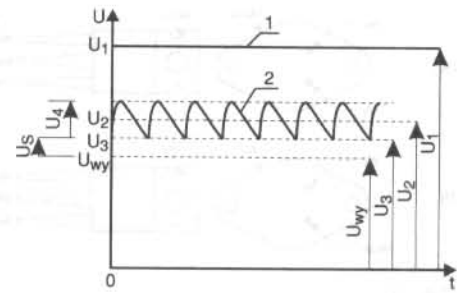
które mają napięcie przewodzenia 0,4..0,5V i dopuszczalne napięcia wsteczne 40..60V, tylko kosztują drożej niż zwykle diody prostownicze.

Kondensator filtru

Na początku przypomnijmy początkującym elektronikom: mierzymy i podajemy wartość skuteczną przebiegu zmiennego (sinusoidalnego). Tymczasem użycie prostownika powoduje, że na kondensatorze mamy napięcie szczytowe, które jest $\sqrt{2} = 1,41$ razy większe, niż napięcie zmienne. Jest to istotne przy dobieraniu kondensatorów filtru. Należy zastosować kondensatory na takie napięcie, aby bez obciążenia i przy nieco podwyższonym napięciu sieci (co może się zdarzyć), nie przekroczyć napięcia nominalnego kondensatora. Praca przy wyższych napięciach jest związana z dużym wzrostem ryzyka uszkodzenia kondensatora.

Zazwyczaj podaje się prostą zasadę doboru pojemności kondensatora: 2..5 μ F na każdy 1mA pobieranego prądu. Przy prostowaniu jednopółwkowym wartość tę należałoby podwoić. Wartość tętnień maleje przy zwiększaniu kondensatora i jest nieco zależna od parametrów transformatora. Pamiętajmy, że prąd płynie przez diody prostownika krótkimi impulsami, gdy napięcie trafo przewyższa napięcie na kondensatorze. Dlatego zalecamy sprawdzenie oscyloskopem faktycznego napięcia tętnień.

Rysunek 3 ilustruje napięcie otrzymywane na wyjściu filtru. Linia 1 przedstawia napięcie na kondensatorze bez obciążenia - prąd nie płynie, tętnień nie ma. Oznaczmy to napięcie przez U_1 . Przy pełnym obciążeniu i minimalnym napięciu sieci, równym np. 200V, otrzymamy przebieg 2. Widzimy tętnienia sieci o wartości oznaczonej U_4 - ich wielkość zależy od kondensatora filtru. Miernikiem napięcia stałego zmierzmy średnie napięcie pod obciążeniem - otrzymamy wartość U_2 . Ale uwaga! Jeśli stosujemy stabilizator, najważniejsze jest napięcie minimalne U_3 . Gdy o tym zapomnimy, w napięciu wyjściowym mogą pojawić się duże tętnienia. Należy jeszcze uwzględnić napięcie U_s - minimalne napięcie niezbędne do prawidłowej pracy stabilizatora. Dla typowych, opisanych dalej, stabilizatorów, wynosi ono 2..3V, dla specjalnych 0,2..0,3V. W rezultacie, dysponując tak dużym napięciem U_1 w stanie jałowym, przy pełnym obciążeniu uzyskamy dobrze wystabilizowane napięcie o wartości maksymalnej oznaczonej U_{wy} .



Rys. 3.

Jak wspomniano wcześniej, w „miękkich“ transformatorach różnica napięć U_1 i U_2 jest duża, z czego wynika, że należy stosować kondensatory filtru na napięcie dużo wyższe, niż założone napięcie wyjściowe.

Stabilizator

Skończył się czas stabilizatorów na tranzystorach i królowania układu scalonego μ A723. W większości zastosowań użyjemy typowych trzykońcówkowych stabilizatorów o ustalonym napięciu wyjściowym. Dostępne są serie 78... i 79..., pierwsza do napięć dodatnich, druga do ujemnych względem masy.

Do dyspozycji mamy napięcia o wartościach: 5, 6, 8, 9, 12, 15, 18 i 24V. Układy są produkowane w kilku typach obudów i z różnym maksymalnym prądem. Nie będziemy podawać tabel z parametrami tych układów - zajęłyby kilka stron.

Seria podstawowa ma prąd maksymalny 1,5A i nazwę np. 7805, oznaczającą stabilizator napięć dodatnich o napięciu wyjściowym +5V. Pozostałe serie to:

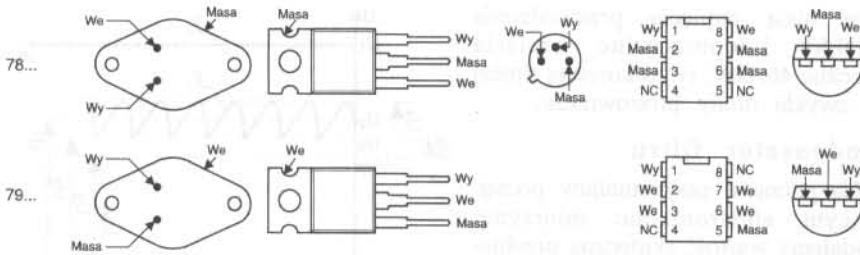
L na prąd 100mA, np. 79L12 (napięcie wyjściowe -12V)
M na prąd 500mA, np. 78M09 (napięcie wyjściowe +9V)
S na prąd 2A, np. 78S05 (napięcie wyjściowe +5V)
T na prąd 3A, np. 78T15 (napięcie wyjściowe +15V).

Rysunki obudów stosowanych w tych układach przedstawia rys. 4.

Stabilizatory te są produkowane przez wiele firm, nazwy układów różnią się literami oznaczenia firmowego przed numerem stabilizatora.

Generalnie, mogą pracować do napięć wyjściowych 35V, niektóre firmy gwarantują pracę do 40V. Układy te są wysoce „głupotoodporne“, co oznacza, że trzeba się bardzo starać, żeby je zepsuć. Wyposażone są w następujące zabezpieczenia:

- zwarciovowe, ograniczające prąd maksymalny do wartości charakterystycznej dla swojej serii;



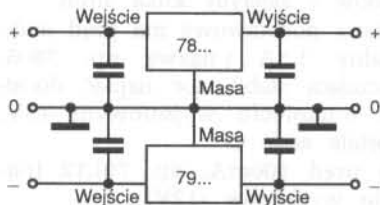
Rys. 4.

- napięciowe, ograniczające prąd maksymalny przy dużej różnicy napięcia wejście-wyjście, co jest związane z wydzielaniem dużej mocy strat;

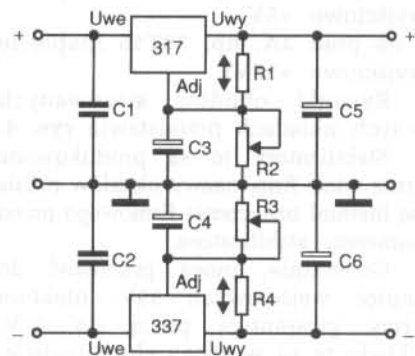
- termiczne, ograniczające prąd wyjściowy tak, aby temperatura złącza nie wzrosła powyżej dopuszczalnej granicy. Ma to znaczenie przy zastosowaniu zbyt małego radiatora.

Efekt działania tych zabezpieczeń ilustruje rys. 5, przedstawiający zależność prądu maksymalnego od napięcia między wejściem a wyjściem stabilizatora, z uwzględnieniem temperatury złącza.

Choć stabilizator jest zabezpieczony, należy liczyć się z tym, że, gdy radiator jest zbyt mały lub nie ma go wcale, przy wzroście temperatury złącza powyżej +125°C zadziała ograniczenie termiczne i w rezultacie spadnie napięcie wyjściowe. Sytuacja taka może być źródłem przykrych niespodzianek w funkcjonowaniu zasilanego urządzenia. Należy więc przewi-



Rys. 6.



C1, C2 - 100nF
C5, C6 - 1µF tantalowy lub 22µF elektrolit aluminiowy
Kondensatory C3, C4 nie są konieczne, poprawiają właściwości dynamiczne stabilizatora.

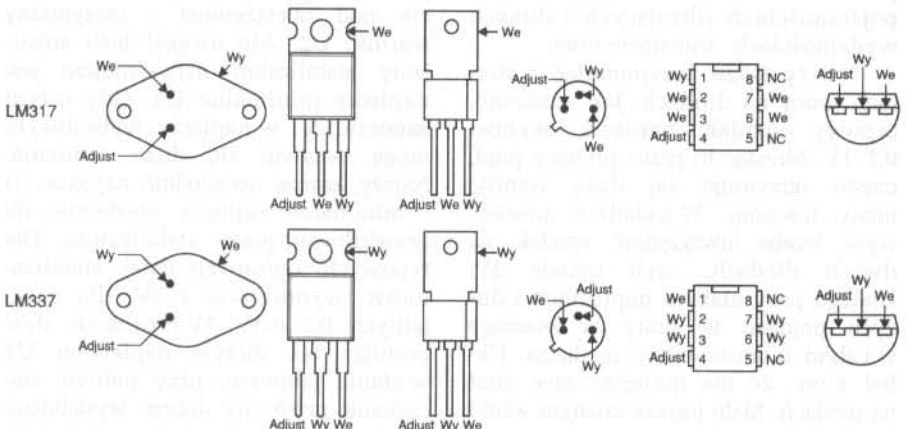
Rys. 7.

dzieć taki radiator, aby temperatura struktury nie przekroczyła +125°C. Bez radiatora stabilizator w tranzystorowej plastikowej obudowie TO 220 jest w stanie rozproszyć tylko ok. 1W mocy strat.

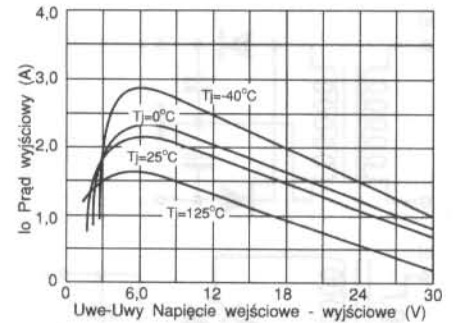
Kończąc omówienie stabilizatorów serii 78... i 79..., przedstawimy jeszcze układ aplikacyjny (rys. 6). Kondensatory powinny być bezindukcyjne (typowo 100nF). Kondensator na wejściu nie musi być stosowany w przypadku, gdy stabilizator jest umieszczony blisko kondensatora elektrolitycznego filtra sieciowego.

W sytuacjach, gdy potrzebujemy napięcia o nietypowej wartości lub chcemy mieć napięcie regulowane, lepiej zastosować równie popularny układ 317 lub 337, odpowiednio do napięć dodatnich i ujemnych. Rysunek 7 przedstawia aplikacje obu układów.

Interesująca jest zasada ich pracy. Stabilizator utrzymuje stałe napięcie między wyjściem a końcówką ADJUST. Napięcie to wynosi typowo 1,25V. Wystarczy dodać dwa rezystory, aby otrzymać dowolne napięcie wyjściowe. Zauważmy, że żadna końcówka nie jest połączona z masą. Układ może stabilizować napięcia wyższe, nawet ponad 100V, byleby nie została przekroczona różnica napięć 40V między wejściem a wyjściem stabilizatora. Parametry układów 317 i 337 są zdecydowanie lepsze niż



Rys. 8.



Rys. 5.

omówionych wcześniej serii 78... i 79.... Dotyczy to wpływu zmian napięcia wejściowego i zmian prądu obciążenia na napięcie wyjściowe. Wszystkie uwagi o zabezpieczeniach odnoszą się także do tych układów.

Omówmy teraz sprawę doboru rezystorów. Producenci podają, że dla większości egzemplarzy wystarczy minimalny prąd obciążenia 3,5mA, natomiast gwarantuje się poprawną pracę wszystkich egzemplarzy przy prądzie minimalnym 10mA. Wynika stąd maksymalna wartość rezystorów R1, R4 (wg rys. 7). Przy wcześniej podanym napięciu 1,25V mamy (prąd wyprowadzenia „adjust“ jest bardzo mały i go pomijamy):

$1,25V/3,5mA = 360\Omega$ dla większości egzemplarzy

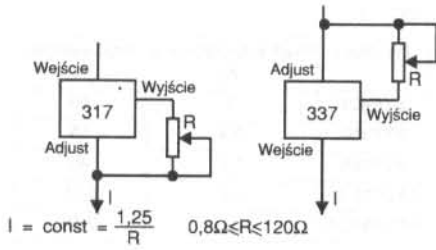
$1,25V/10mA = 120\Omega$ dla wszystkich egzemplarzy.

Rezystory R2 i R3 mają dowolną wartość, od 0Ω. Od nich zależy wartość napięcia wyjściowego:

dla 317 $U_{wy} = 1,25 (1 + R2/R1)$
dla 337 $U_{wy} = 1,25 (1 + R3/R4)$

Rysunek 8 przedstawia typy obudów i opis wyprowadzeń tych stabilizatorów.

Układy 317 i 337 znakomicie nadają się do budowy precyzyjnych źródeł prądowych i układów ograni-



Rys. 9.

czających prąd (rys. 9).

W niektórych zastosowaniach zależy nam na użyciu stabilizatora pracującego przy mniejszych napięciach wejście-wyjście. Dla poprzednio opisanych układów napięcie minimalne wynosi 2..3V. Układy scalone, opisane w katalogach jako Low Drop Out, pracują przy różnicy napięć 0,2..0,5V. Jednak są dużo droższe i trudno dostępne w Polsce, dlatego na rys. 10 przedstawiliśmy podobny układ z elementów dyskretnych.

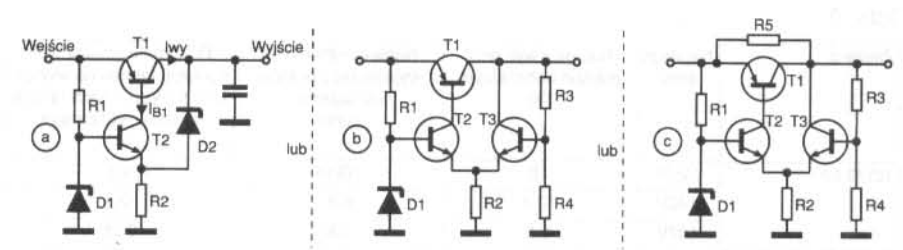
Układ przedstawiony na rys. 10a jest najprostszy, zaś ten z rys. 10c ma najlepsze parametry, gdyż dioda Zenera zasilana jest z napięcia stabilizowanego. Jego wadą jest konieczność stosowania rezystora R5 (rozruchowego), określającego minimalny prąd obciążenia, bez którego układ nie zacznie pracować. Dodatkową zaletą układu jest możliwość doboru R2 dla konkretnego tranzystora T1 tak, aby ustalić maksymalny prąd wyjściowy stabilizatora ($I_{wy_{max}} = I_{B1} \times \text{wzmocnienie prądowe T1}$). Jako T1 nie należy stosować tranzystora Darlingtona. Układ ma dobre parametry i pracuje poprawnie jeszcze przy napięciu różnicowym rzędu 0,2..0,3V, które jest napięciem nasycenia T1.

Test zasilaczy

W laboratorium zostały przebadane gotowe układy zasilaczy w obudowach typu kalkulatorowego (jak na fotografii na wstępie artykułu). Wnikliwa analiza przedstawionych danych dostarcza wielu cennych informacji przydatnych przy budowie własnych op-

Tab. 2.

Zasilacz	Napięcie sieci	Napięcie wyj. bez obciążenia I = 0 [V]	Napięcie przy prądzie minimalnym I = 1A [V]	Prąd maksymalny dla nominalnego napięcia wyjściowego [A]
12V/1A katalogowo 12V/1,3A	220V	18,4	13	> 1
	198V	16,8	11	0,77
	187V	15,2	10,2	0,4
9V/1A TS12/12 9,1V 1,2A	220V	14,6	9,5	> 1
	198V	12,7	7,8	0,58
	187V	11,7	7,0	0,35
6V/1A TS18/12 2x6V 1,3A	220V	9,45	6,6	1,4
	198V	8,4	5,7	0,88
	187V	7,7	5,2	0,55



Rys. 10.

racowań. Interpretację tych wyników pozostawiamy Czytelnikom.

Spośród przetestowanych 8 zasilaczy jeden dostarcza prądu zmiennego (jest to po prostu transformator w obudowie), trzy następne to zasilacze niestabilizowane zawierające, prócz transformatora, prostownik i kondensator 1000µF, cztery dalsze to kompletne zasilacze stabilizowane z układami scalonymi serii 78...

W tabelach podano parametry przy trzech wartościach napięcia sieciowego: nominalnego 220V, niższego o 10% (czyli 198V) i obniżonego o 15% (czyli 187V). Przy każdej tabeli podano typ zastosowanego transformatora i jego dane katalogowe.

Zasilacz prądu zmiennego 9V/2A

W tabeli 1 podano wartość zmiennego napięcia wyjściowego przy obciążeniu rezystorem.

Zasilacze niestabilizowane 12V/1A, 9V/1A, 6V/1A

Schematy tych zasilaczy są przedstawione na rys. 11.

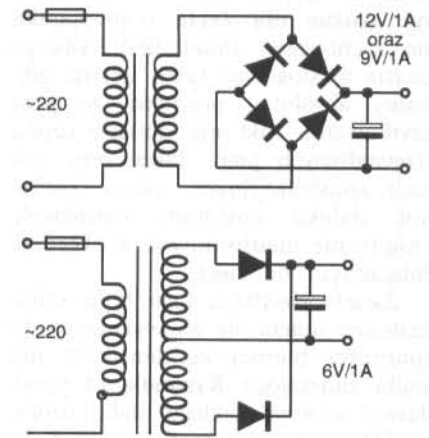
Przy obciążeniu prądem nominalnym napięcie tętnień wynosiło dla poszczególnych zasilaczy (Vpp jest oznaczeniem jednostki napięcia międzyszczytowego (peak to peak)):

- dla 12V/1A - 6Vpp
- dla 9V/1A - 2,4Vpp
- dla 6V/1A - 5Vpp

Wynika to z zastosowania zbyt małych kondensatorów filtrujących o wartości 1000µF (dla 9V/1A - 2200µF). Do dalszych pomiarów dodano kondensator 4700µF, co zmniejszyło tętnienia do wartości granicznej poniżej 1Vpp. W tabeli 2 zamieszczono

Tab. 1.

Napięcie sieci	Prąd obciążenia				
	0A	0,5A	1A	1,5A	2A
220V	11,3V	10,8V	10,3V	9,8V	9,2V
198V	10,3V	9,8V	9,25V	8,8V	8,2V
187V	9,3V	9,2V	8,6V	8,1V	7,5V



Rys. 11.

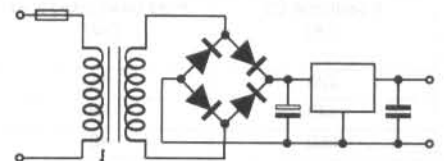
parametry zasilaczy z dodanym kondensatorem 4700µF.

Zasilacze stabilizowane 12V/0,5A, 9V/0,6A, 7,5V/0,45A oraz 5V/0,6A

Rysunek 12 przedstawia schemat zasilaczy stabilizowanych. Zasilacze tego typu mogą mieć wiele zastosowań. Jak widać z tabeli 3, mają one bardzo interesujące parametry i można ich używać do wielu samodzielnie wykonywanych konstrukcji.

Zasilanie bezpośrednio z sieci

Omówmy jeszcze jeden prosty sposób zasilania - bezpośrednio z sieci z użyciem kondensatora ograniczającego prąd. Na początku należy przypomnieć, że użytkowanie urządzeń za-



Rys. 12.

Tab. 3.

Zasilacz	Napięcie sieci	Napięcie wyj. przy prądzie nominalnym [V]	Napięcie tętnień na wyjściu przy prądzie obciążenia [Vpp]	Prąd maksymalny przy napięciu tętnień na wyjściu $U_t = 0,1V_{pp}$ i nominalnym napięciu wyjściowym [A]
12V/0,5A	220V	12	100m	0,5
	198V	10,4	0,8	0,3
	187V	9,8	0,8	0,25
9V/0,6A	220V	9	<10m	0,63
	198V	8	1	0,46
	187V	7,5	1	0,38
7,5V/0,45A	220V	7,8	100m	0,43
	198V	7,0	1,2	0,3
	187V	6,3	1,2	0,2
5V/0,6A	220V	4,9	<10m	0,86
	198V	4,9	20m	0,62
	187V	4,5	0,3	0,49

silanych bezpośrednio z sieci może być groźne dla życia w przypadku nie zachowania zasad BHP. Dlatego można je stosować tylko wtedy, gdy mamy absolutną pewność, że przy użytkowaniu nikt nie dotknie części przewodzących prąd. Także przy pracach konstrukcyjnych należy zachować daleko posuniętą ostrożność i nigdy nie manipulować w układzie dołączonym do sieci.

Zasada działania tego typu stabilizatorów opiera się na wykorzystaniu oporności biernej kondensatora dla prądu zmiennego. **Rysunek 13** przedstawia schemat takiego stabilizatora.

Głównym elementem, decydującym o wydajności prądowej zasilacza, jest kondensator C1. Rezystor R1 zastosowano tylko dla ograniczenia prądu udarowego, który mógłby popłynąć i zniszczyć diody prostownicze w przypadku, gdy układ dołączylibyśmy do sieci w momencie szczytu półfali, gdy chwilowe napięcie jest rzędu 300V, a kondensatory są rozładowane. Jego wartość wynosi kilkanaście do kilkaset Ω , w zależności od maksymalnego prądu użytych diod prostowniczych (w tabeli 4 podano maksymalne wartości prądu wyprostowanego ciągłego oraz największy dopuszczalny prąd udarowy typowych diod.). Dioda Zenera określa napięcie wyjściowe i jest niezbędna, aby w przypadku braku obciążenia ograniczyć napięcie na kondensatorze C2 do wartości niższej niż jego napięcie

Tab. 5.

Pojemność C1 [nF]	Prąd zwarciaowy $R_L=0$ [mA]	Prąd przy napięciu wyjściowym $U_{wy}=20V$ [mA]	Napięcie tętnień na obciążeniu przy $U_{wy}=20V$ [mVpp]
220	14	13	20
440	28	25,5	40
660	42	39	60
970	61	57	100
1700	105	100	180

nominalne. Bez tej diody kondensator C2 uległby uszkodzeniu. Należy przewidzieć taką diodę lub układ z tranzystorem (rys. 13), aby moc wydzielana w najgorszym przypadku braku obciążenia zewnętrznego nie uszkodziła diody lub tranzystora. Moc ta wynosi $P = U_z I_{nom}$, gdzie U_z jest napięciem diody Zenera, a I_{nom} nominalnym prądem.

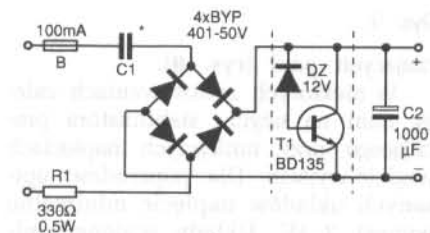
Jako kondensator C1 należy stosować kondensatory polipropylenowe impulsowe na napięcie $400V \approx 220V \sim$, które krajowy producent Miflex Kutno produkuje z oznaczeniami KMP-010. Gorszym rozwiązaniem jest stosowanie kondensatorów poliestrowych typu MKSE-020 z napięciem pracy 630V. Nie wolno stosować kondensatorów na niższe napięcia, gdyż grozi to przebicciem. Zastosowany bezpiecznik w zasadzie nie powinien nigdy zadziałać, ale na wszelki wypadek użyjmy wkładki 100mA.

Widok ścieżek płytki drukowanej opisywanego zasilacza sieciowego przedstawia rysunek na wkładce, zaś rozmieszczenie elementów pokazano na **rys. 14**. Płytkę zaprojektowano w sposób uniwersalny, umożliwiając montaż kondensatorów o indywidualnie dobranych wartościach i gabarytach.

W **tabeli 5** podano wartości prądu, zmierzone w układzie z rys. 13, przy zastosowaniu rezystora $R1=330\Omega$ i kondensatora $C2=1000\mu F$, przy napięciu sieci 220V. Jak widać, układ zachowuje się jak typowe źródło prądowe,

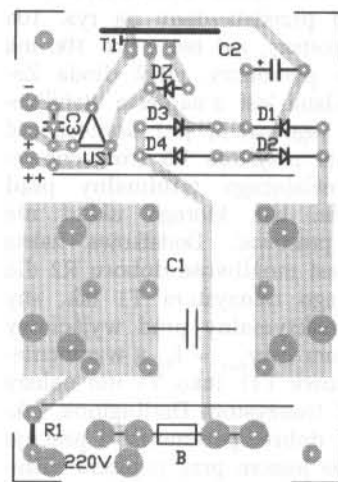
Tab. 4.

Typ diody	Prąd wyprostowany [A]	Prąd udarowy [A]
BYP401	1	50
BYP150	0,4	15
BYP155	1,2	40
BAVP17-21	0,2	0,25
BAYP94,95	0,2	0,45



UWAGA1 : zamiast układu diody Zenera z tranzystorem można stosować diodę Zenera mocy np. BZP650C12.
UWAGA 2 : dla lepszej stabilizacji można na wyjściu podać stabilizator serii 78L...

Rys. 13.



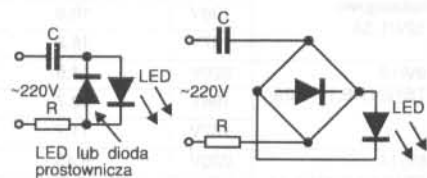
Rys. 14.

prąd maksymalny prawie wcale nie zależy od napięcia wyjściowego.

Zasilacz taki może znaleźć wiele zastosowań, np. z diodą Zenera 12V może zasilać wyłącznik schodowy opisany w EP 6/93.

Ten rodzaj zasilania jest często stosowany do diod LED, pracujących jako kontrolki napięcia sieci. **Rysunek 15** przedstawia możliwe sposoby dołączenia diod. Nie należy zapomnieć o stosowaniu rezystora R o wartości około 330 Ω .

Piotr Górecki, AVT



Rys. 15.