

W serii "Podręczny poradnik elektronika" prezentujemy praktyczne dane katalogowe najważniejszych podzespołów elektronicznych.

Materiał zawiera część opisową, omawiającą podstawowe właściwości omawianych podzespołów. W tej części przedstawione są "punkty ciężkości", czyli najważniejsze sprawy, na które zawsze trzeba zwracać uwagę stosując dane elementy. Okazuje się bowiem, że w opasłych katalogach mnóstwo informacji powtarza się wielokrotnie, a ponadto nie wszystkie dane są jednakowo potrzebne. Szczerze mówiąc, pełne dane katalogowe potrzebne są tylko zawodowemu konstruktorowi, który nie tylko projektuje układ, ale też przeprowadza szczegółową analizę, aby urządzenie niezawodnie pracowało we wszelkich możliwych do przewidzenia warunkach, w całym założonym zakresie temperatur, napięć zasilających itp. Elektronik-amator takiej gruntownej analizy zwykle nie przeprowadza i wystarczy mu dane skrócone.



Stabilizatory liniowe

część 2

Prąd spoczynkowy

Dla praktyka ważnym parametrem stabilizatorów na napięcie ustalone jest prąd spoczynkowy pobierany przez sam stabilizator. Zazwyczaj prąd ten wynosi 3...6mA, ale w przypadku wspomnianych stabilizatorów LDO (o których więcej dowiesz się z dalszej części artykułu) przy małych napięciach U_{IO} prąd spoczynkowy może wzrastać nawet do 100mA. Zobacz jak to wygląda na **rysunku 7a**, który pokazuje prąd pobierany przez sam stabilizator typu L4940 przy różnych prądach pracy i napięciach U_I . Przyczyna jest prosta - jak pokazuje **rysunek 7b**, szeregowym elementem regulacyjnym jest w takim stabilizatorze tranzystor PNP, który dla osiągnięcia małego napięcia UCE (napięcia nasycenia) wymaga znacznego prądu bazy.

Moc strat

Poważnym ograniczeniem występującym przy stosowaniu stabilizatorów są straty mocy. Pamiętaj, że na każdym pracującym stabilizatorze wydziela się w postaci ciepła moc strat, którą można obliczyć mnożąc napięcie między wejściem a wyjściem stabilizatora przez płynący przezeń prąd obciążenia:

$$P = U_{IO} \times I_L$$

Zapamiętaj, że układ w małej plastikowej obudowie TO-92 może rozproszyć około 500mW, a TO-220 bez radiatora - około 1W mocy strat. Można więc w przybliżeniu przyjąć, że przy prądach powyżej 100mA należy stosować radiator.

Bez radiatora, lub jeśli użyty radiator będzie za mały, ciepło nie będzie należycie odprowadzane: temperatura struktury wzrośnie do +150°C. Wtedy wbudowane zabezpieczenie ograniczy prąd i zmniejszy napięcie wyjściowe tak, żeby temperatura struktury nie przekroczyła

wartości granicznej. Co gorsza, użytkownik nie będzie wiedział o takim ograniczeniu napięcia i może długo zastanawiać się, dlaczego jego układ po pewnym czasie zaczyna wariować, a po wyłączeniu zasilania i "odpoczynku" znów pracuje poprawnie.

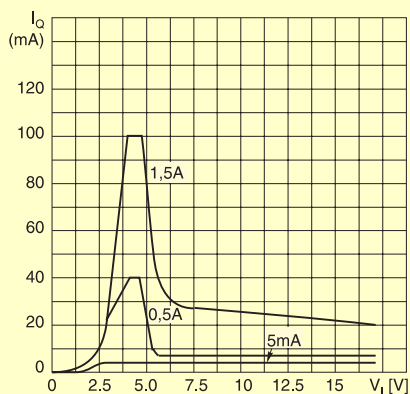
Właściwie dobrany radiator jest konieczny również ze względu na niezawodność - awaryjność półprzewodników rośnie radykalnie ze wzrostem temperatury.

Ale nawet z najlepszym radiatorem układ w obudowie TO-220 nie jest w stanie rozproszyć więcej niż 5...30W. Zależy to głównie od tak zwanej rezystancji termicznej między strukturą, gdzie wydziela się ciepło, a obudową (R_{thjc}) oraz od rezystancji termicznej zastosowanego radiatora (R_{thra}). Szczegóły opiszę kiedyś w artykule o radiatorach, ale już teraz awansem podaję ci w tabelach wartości R_{thjc} poszczególnych kostek. Na razie nie będziesz z nich korzystał, problem wytłumaczę ci prościej.

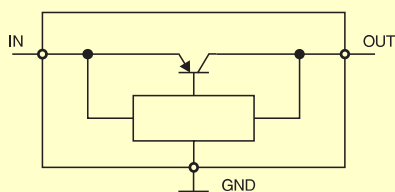
Zauważ mianowicie, że kostki umieszczone w takiej samej obudowie (np. TO-220) mają różną maksymalną moc strat. Po prostu kryształ krzemu nie ma idealnego kontaktu termicznego z metalową wkładką radiatorową obudowy. Jakość tego połączenia termicznego zależy głównie od zastosowanej technologii produkcji.

Podana w katalogach maksymalna moc strat (P_{max} lub P_{tot}) mierzona jest przy wręcz idealnym chłodzeniu, a więc świadczy ona o wspomnianej rezystancji termicznej między złączem a obudową.

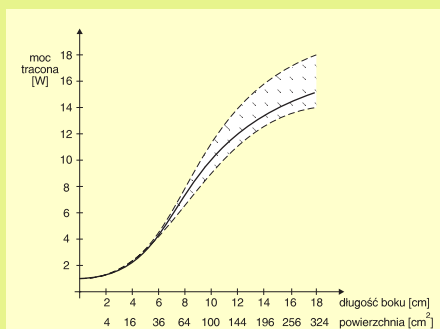
Zapamiętaj raz na zawsze, że w praktyce stosujemy radiator dalekie od ideału, więc nigdy nie można odprowadzić do otoczenia tyle mocy (w postaci ciepła) ile podano w katalogu. Przyjmij, że przy przeciętnym radiatorze możesz stracić



Rys. 7a. Prąd pobierany przez stabilizator L4940V5.



Rys. 7b. Typowy układ stabilizatora LDO.



Rys. 8. Dobór powierzchni radiatora.

co najwyżej 40...70% podanej w katalogu maksymalnej mocy strat.

Praktyczną pomocą w doborze radiatora w postaci płaskiego, kwadratowego kawałka zwykłej blachy aluminiowej o grubości 2...3mm, będzie **rysunek 8**, pokazujący orientacyjnie, jakie wymiary (długość boku w cm) i powierzchnię (w cm^2) powinien mieć taki radiator. Oczywiście, dotyczy to tylko stabilizatorów w obudowach większej mocy, np. TO-220 czy TO-3, a nie wersji w miniaturowej plastikowej obudowie TO-92 czy obudowie do montażu powierzchniowego.

Przy montażu elementów mocy, należy obowiązkowo posmarować miejsce styku układu z radiatorem przewodzącą ciepło pastą silikonową.

Rozważ przykład:

W twoim układzie maksymalny prąd obciążenia wynosi 1A. Przy takim prądzie, woltomierzem napięcia stałego zmierzyłeś napięcie między wejściem a wyjściem stabilizatora. Wynosi ono 10V. W takich warunkach w stabilizatorze wydziela się $1\text{A} \times 10\text{V} = 10\text{W}$ mocy strat. Zastosowany stabilizator typu 7805 ma prąd maksymalny, zgodnie z rysunkiem 5, ponad 1A i maksymalną moc strat równą 20W. Może więc śmiało pra-

cować w podanych warunkach. Powinieneś tylko zgodnie z rysunkiem 8 dobrać odpowiedni radiator. Przy mocy 10W powinien on mieć powierzchnię około 100cm^2 . Zastosuj więc blachę aluminiową o grubości 2...3mm i wymiarach około $10 \times 10\text{cm}$. Układ powinien być przykręcony mniej więcej na środku tego radiatora, a sam radiator ma być umieszczony pionowo.

Podany przykład jest trochę sztuczny, ponieważ zastosowanie transformatora, który przy prądzie maksymalnym daje napięcie o 10V większe od potrzebnego napięcia wyjściowego, jest ewidentnym błędem. Należy zastosować transformator, który przy prądzie maksymalnym i napięciu sieci obniżonym o 10% dostarczy napięcia o 3...4V większego niż potrzebne napięcie wyjściowe.

Ale opisana sytuacja może mieć miejsce np. w samochodzie, gdzie w czasie jazdy napięcie akumulatora jest bliskie 15V, a stabilizator ma zmniejszyć je do wartości 5V.

Najpopularniejsze układy scalone

Obecnie najczęściej używane są stabilizatory napięć dodatnich serii 78XX i ujemnych - 79XX, gdzie dwie ostatnie cyfry XX określają napięcie wyjściowe. Dodatkowa litera w środku oznaczenia informuje o maksymalnym prądzie pracy: L - 0,1A, M - 0,5A, bez litery - 1A lub 1,5A, S - 2A, T - 3A. Przykładowo KIA78M12 ma napięcie wyjściowe 12V i prąd do 0,5A, L7805 ma napięcie wyjściowe 5V i prąd 1A, LM79L15 - 15V, 0,1A (ale 7852 ma napięcie 5,2V, a 7885 - 8,5V). Litery na początku oznaczenia wskazują producenta, i mogą być pominięte. Niektórzy wytwórcy stosują też dalsze litery na końcu oznaczenia wskazujące na zakres

temperatur pracy i dokładność, jednak dla hobbysty nie ma to większego znaczenia.

Warto wiedzieć, że prąd spoczynkowy takich stabilizatorów jest prawie jednakowy dla wszystkich wersji, nawet wersji L, i wynosi około 4...5mA. Może to być krytycznym parametrem w układach bateryjnych i wtedy jedynym dobrym wyjściem jest rozejrzenie się za nowoczesnym stabilizatorem z prądem spoczynkowym rzędu mikroamperów.

Spośród stabilizatorów o napięciu dobieranym przez użytkownika najczęściej używane są stabilizatory LM317 (napięcia dodatnie) i LM337 (napięcia ujemne). Przy większych prądach także LM350.

Dziś praktycznie nie używa się już w popularnym sprzęcie stabilizatorów w drogich, metalowych obudowach TO-3, a tylko plastikowych TO-220 i TO-92. Coraz częściej spotyka się też elementy do montażu powierzchniowego.

Stabilizatory LDO

Jak wspomniałem, coraz większą popularnością cieszą się stabilizatory typu Low Drop Out (LDO). Stosowane są przede wszystkim w urządzeniach zasilanych z akumulatorów i baterii, gdzie pozwalają wykorzystać praktycznie całą pojemność baterii. Zwykły stabilizator z napięciem U_{DO} rzędu 2V wymagałby albo zastosowania jednego ogniwa więcej, albo nie pozwoliłby wykorzystać całej pojemności baterii. Ale nie ma różnicy bez kolców.

Jak ci wspomniałem, w zastosowaniach bateryjnych istotny jest prąd spoczynkowy I_0 pobierany przez sam stabilizator. Trzeba pamiętać, że starsze stabilizatory typu LDO, które są wymienione w ściągawce, mają wprawdzie małe napięcie U_{DO} , ale przy takim napięciu mię-

Objaśnienia do ściągawki

Przy stabilizatorach na napięcie ustalone podano najwyższe dopuszczalne napięcie wejściowe, czyli napięcie między końcówką masy a wejściem. W niektórych układach LDO (zwłaszcza przeznaczonych do układów samochodowych) do tego napięcia stabilizator pracuje normalnie, a przy większym napięciu wyłącza się, ale nie ulega uszkodzeniu. Szczegółów trzeba szukać w katalogach firmowych.

Natomiast przy stabilizatorach o napięciu dobieranym przez użytkownika podano maksymalne napięcie różnicowe U_{IOmax} (czyli napięcie między wejściem a wyjściem). Podane w tabelach wartości prądu I_{min} dotyczą najgorszych warunków, przy maksymalnym napięciu między wejściem a wyjściem U_{IO} . W praktyce przy mniejszych napięciach U_{IO} minimalny prąd obciążenia I_{min} może być 2...3-krotnie mniejszy.

Jeśli w którejś rubryce brakuje wartości danego parametru, to znaczy, że w dostępnych katalogach nie był on podany.

W tabelach podano wartości średnie, czyli spodziewane dla większości egzemplarzy. Jeś-

li obok w nawiasie podano drugą wartość, jest to wartość maksymalna, czyli gwarantowana dla wszystkich egzemplarzy.

Podane informacje zaczerpnięte są z katalogów różnych producentów, przy czym zazwyczaj podano wartości najgorszego producenta. Ponieważ poszczególne firmy nieco odmiennie definiują parametry (zakres temperatur, napięcia pracy, prądy), nie można bezkrytycznie porównywać ich wartości. Szczególnie dotyczy to stabilizatorów typu LDO, a zwłaszcza ich napięcie *drop out* U_{DO} oraz prądu pobieranego przez sam stabilizator I_0 .

Podane zatrważająco duże wartości prądów I_0 (rzędu dziesiątków miliamperów) dotyczą sytuacji, gdy różnica napięć między wejściem a wyjściem U_{IO} jest rzędu 1V, czyli bliska napięciu U_{DO} ; gdy napięcie U_{IO} jest większe, stabilizator LDO pobiera jedynie kilka miliamperów prądu I_0 .

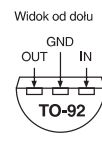
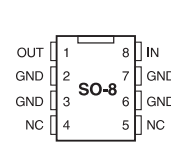
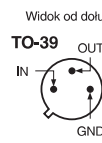
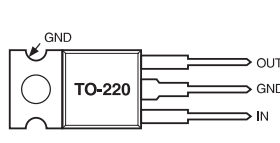
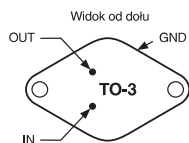
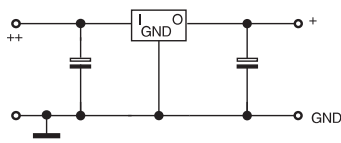
Przy niektórych stabilizatorach LDO podano minimalną pojemność C_{OUT} . Ogólnie biorąc, stabilizatory typu LDO są mniej stabilne i wymagają

większych pojemności i mniejszych rezystancji ESR kondensatora C_{OUT} . Należy więc stosować kondensatory o pojemności 100 μF lub jeszcze większej.

Na rynku można spotkać układy z rodziny LM29XX (np. LM2931) w obudowie pięcionóżkowej. Jest to wersja z napięciem wyjściowym dobieranym przez użytkownika. Z uwagi na inny układ wyprowadzeń, kostki te nie zostały wyszczególnione w tabelach.

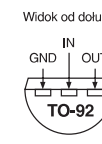
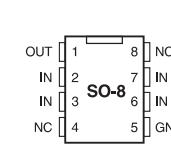
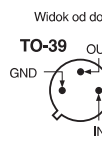
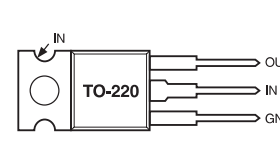
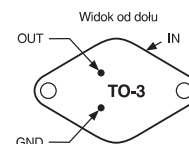
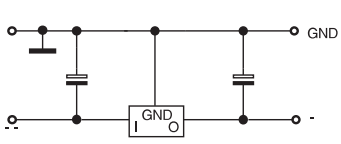
W tabelach można znaleźć parametry układów LM z oznaczeniem trzycyfrowym, zaczynającym się od cyfry 3 - np. LM317. Takie same parametry mają układy z oznaczeniami zaczynającymi się od cyfr 2 i 1 (LM217 i LM117). Układy LM1xx i LM2xx przeznaczone są do zastosowań przemysłowych i specjalnych, mają w zasadzie takie same parametry, tylko szerszy zakres temperatur pracy - są więc trochę lepsze, ale też znacznie droższe i rzadziej spotykane.

Stabilizatory napięć dodatnich o ustalonym napięciu wyjściowym



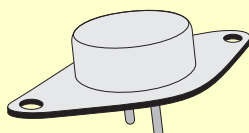
Typ układu	Napięcie wyj.	Uin	IL	UDO przy IL	IQ	Pmax	Rthja	Uwagi	
78XX	5...24	35	1	2,2	1	4(8)	20	4	TO-220
78MXX	5...24	35	0,5	2,5	0,5	4(8)	7,5	5	TO-220
78LXX	5...24	35	0,1	2	0,1	3(5)	0,5	230	TO-92
78SXX	5...24	35	2	2,2	2	(8)		3	TO-220
78TXX	5;8;12;15	35	3	2,3	3	4(6)		2,5	TO-220
L26XX	5;8,5;10	26	0,5	1,9	0,5	20(45)		4	TO-220 LDO COUT=100µF
L48XX	5;8,5;9,2;10;12	26	0,4	0,4	0,4	65(90)		4	TO-220 LDO COUT=100µF
L4940	5;8,5;10;12	17	1,5	0,5	1,5	30(50)	20	3	TO-220 LDO COUT=22µF
L4941	5	16	1	0,45	1	20(40)	20	3	TO-220 LDO COUT=22µF
L4945	5	26	0,5	0,4	0,5	110(180)		3	TO-220 LDO COUT=47µF
L4950	8,5	26	0,5	0,4	0,5	110(180)		3	TO-220 LDO COUT=47µF
L4951	10	26	0,5	0,4	0,5	110(180)		3	TO-220 LDO COUT=47µF
LM309	5	35	1	2	1	5,2(10)	20	3	TO-3
LM323(LT323)	5	20	3	2,2	3	12(20)	30	2	TO-3
LM340	5,12,15	35	1,5	2,2	1,5	(6,5)	15	4	TO-220
LM330	5	26	0,15	0,4	0,15	18(40)		4	TO-220 LDO
LM341	5,12,15	35	0,5	2,2	0,5	4(10)		5	TO-220
LM342	5,12,15	30	0,25	2,3	0,25	(6)		15	TO-202
LM2930	5;8	26	0,15	0,4	0,15	18(40)	20	3	TO-220 LDO
LM2931	5	26	0,1	0,4	0,1	15(30)	20	5	TO-220 LDO COUT=100µF
LM2936	5	40	0,05	0,25	0,05	1,5	0,5	195	TO-92 LDO
LM2940	5;8;9;10;12;15	26	1	0,7	1	30(60)	20	3	TO-220,TO-3 LDO
LP2950	5	30	0,1	0,5	0,1	8(14)		180	TO-92
LP2954	5	30	0,25	470	0,25	21(33)	-	3	TO-220 LDO
LM3940	3,3	6	1	0,5	1	110(250)	3	-	TO-220 (5V na 3,3V)
LT1003	5	20	5	2,5	5	12(20)	40	1,5	TO-3
TEA7605	5	28	0,5	0,4	0,5	75(100)		3	TO-220 LDO COUT=10µF
TL780	5;12;15	35	1,5	2	1,5	3,5(8)	15	5	TO-220

Stabilizatory napięć ujemnych o ustalonym napięciu wyjściowym

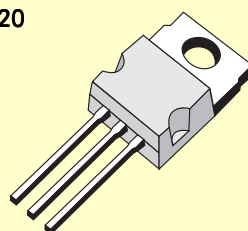


Typ układu	Napięcie wyj.	UIOmax	IL	UDO przy IL	IQ	Pmax	Rthja	Uwagi	
79XX	-5...-24	-25	1	2,5	1	4(8)	15	5	TO-220
79MXX	-5...-15	-35	0,5			4(8)		5	TO-220
79LXX	-5...-24	-30	0,1	1,8	0,1	2(6)	0,6	180	TO-92
LM320	-5,-12,-15	-25	1,5	2,5	1,5	1(2)	15	4	TO-220
LM345	-5	-20	3	2	3	1(3)	25	2	TO-3
LM2990	-5...-15	-26	1	0,6	1	9(50)	20	2,5	TO-220 LDO

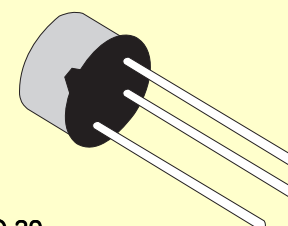
TO-3



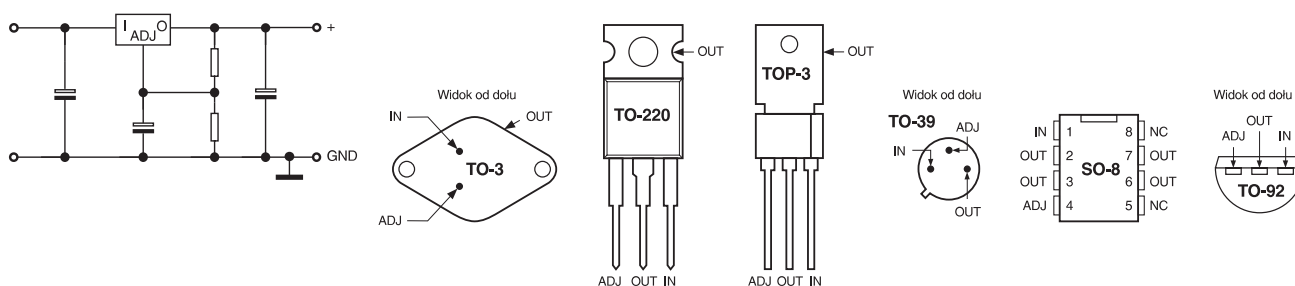
TO-220



TO-39

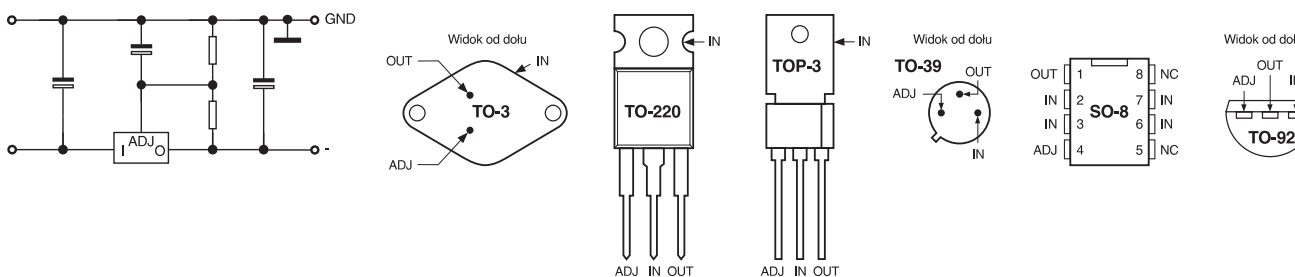


Stabilizatory napięć dodatnich o napięciu dobieranym przez użytkownika



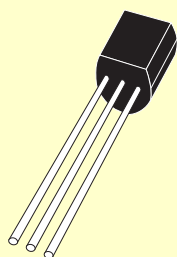
Typ układu	Napięcie wyj. V	UIO _{MAX} V	IL A	I _{min} mA	UDO V	IL A	I _{Adj} μA	P _{max} W	R _{thjc} K/W	Uwagi
LM317(LT317)	1,2-37	40	1,5	3,5(10)	2,5	1,5	50(100)	20	3	
LM317HV	1,2-57	60	1,5	3,5(12)	2,2	1,5	50(100)	20		
LM317L	1,2-37	40	0,1	3,5(5)	1,8	0,1	50(100)	0,6	170	TO-92
LM317M	1,2-37	40	0,5	3,5(10)	2,1	0,5	50(100)	7,5	7	TO-220
LM338(LT338)	1,2-32	35	5	3,5(5)	2,8	5	45(100)	25(50)	4(1)	TO-220(TO-3)
LM350	1,3-33	35	3	3,5(10)	2,3	3	50(100)	25	3(4)	TO-220
LM396	1,2-15	20	10	10	2,5	10	50(100)	70	1(1,2)	TO-3
LT1038	1,2-32	35	10	7(20)	2,7	10	50(100)	75	1	TO-3
LT1083	1,2-32	35	7,5	5(10)	1,4	7,5	55(120)	45	1	TO-220, TOP-3 LDO
LT1084	1,2-32	35	5	5(10)	1,4	5	55(120)	30	1	TO-220, TOP-3 LDO
LT1085	1,2-32	35	3	5(10)	1,4	3	55(120)	30	1	TO-220, TOP-3 LDO
LT1086	1,2-24	25	1,5	5(10)	1,4	1,5	55(120)	15	(4)	TO-220, TOP-3 LDO
TL783	1,2-125	125	0,7	(15)	10	0,5	83(110)	20	4	TO-220 wysokonapięciowy

Stabilizatory napięć ujemnych o napięciu dobieranym przez użytkownika

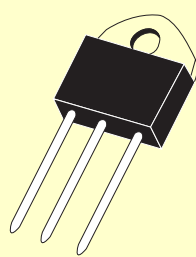


Typ układu	Napięcie wyj. V	UIO _d V	IL A	I _{min} mA	UDO V	IL A	I _{Adj} μA	P _{max} W	R _{thja} K/W	Uwagi
LM337(LT337)	1,2-37	40	1,5	2,5(10)	2,5	1,5	65(100)	15	4	TO-220
LM337HV	1,2-47	59	1,5	2,5(10)	2,5	1,5	65(100)		3	TO-3
LM337M	1,2-37	40	0,5	2,5(10)	2	0,5	65(100)	7,5	7	TO-220
LM337L	1,2-37	40	0,1	3,5(5)			50(100)	0,6	160	TO-92
LM333	1,2-32	35	3	2,5(5)			70(100)	30	4	TO-220
LT1033	1,2-32	35	3	2,5(5)	2,8	3	65(100)	30	4	TO-220

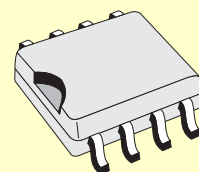
TO-92

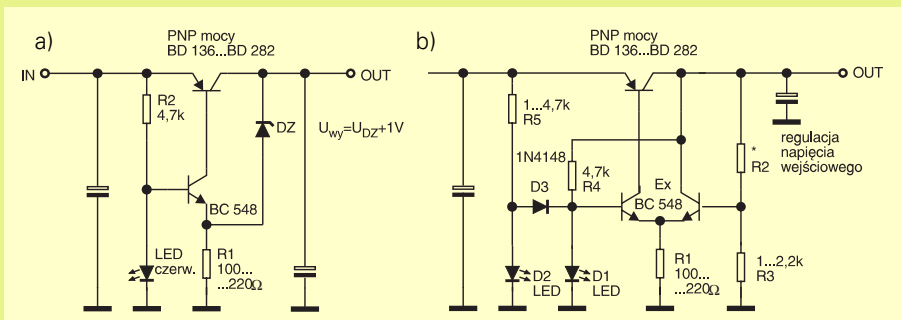


TOP-3

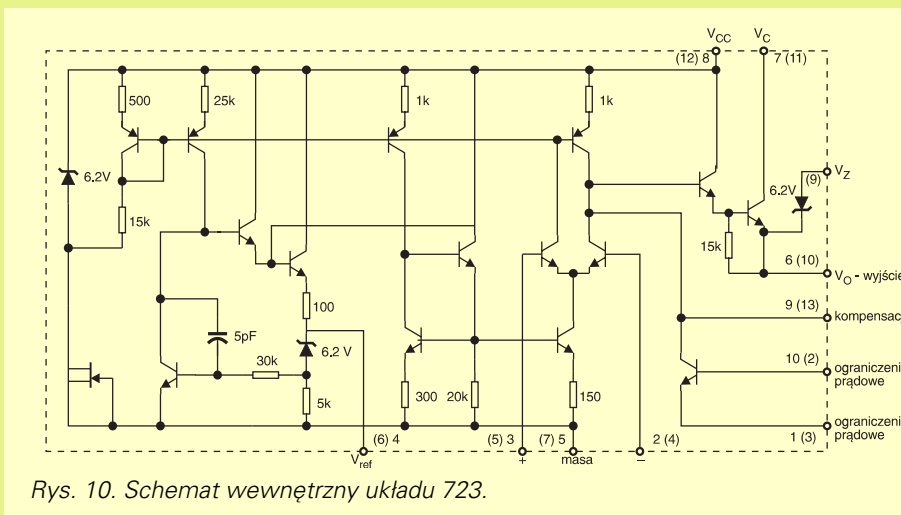


SO-8





Rys. 9. Stabilizator LDO z elementów dyskretnych.



Rys. 10. Schemat wewnętrzny układu 723.

dzy wejściem a wyjściem, pobierają zwykle kilkadziesiąt lub więcej miliamperów prądu. Związane to jest z budową stabilizatora - elementem regulacyjnym stabilizatorów dodatnich jest tam zwykle tranzystor PNP, który przy pracy w zakresie nasycenia wymaga znacznego prądu bazy, płynącego od plusa zasilania do masy (porównaj rysunek 7). Nie ma to znaczenia w urządzeniach samochodowych korzystających z potężnego akumulatora, ale przy współpracy z niewielkimi bateriami może być poważnym ograniczeniem.

Ostatnio pojawiły się specjalizowane, nowoczesne stabilizatory na napięcia 3...10V, przeznaczone dla techniki motoryzacyjnej, do komputerów zasilanych napięciem 3,3V oraz do urządzeń łączności, na przykład telefonii komórkowej, w których elementem regulacyjnym jest tranzystor polowy - MOSFET P; prąd

spoczynkowy takiego stabilizatora jest stały i wynosi kilka...kilkadziesiąt mikroamperów. Są to niemal idealne stabilizatory, mają rzeczywiście rewelacyjne parametry, ale dla przeciętnego hobbysty są jednak na razie zbyt drogie i trudno dostępne. Nie znalazły się one w naszych wykazach, mają bowiem inny układ wyprowadzeń.

Na **rysunku 9** znajdziesz dwa przykłady realizacji prostego stabilizatora typu LDO. Jest to jedyny praktyczny układ, jaki niekiedy warto jeszcze zbudować z elementów dyskretnych w przypadku, gdy występują trudności z zakupem scalonego stabilizatora LDO. Układ ma oczywiście parametry stabilizacji gorsze niż scalona kostka, ale może pracować przy napięciu U_{D0} nawet rzędu 0,2...0,5V. Rezystor R1 należy dobrać w zależności od napięcia stabilizacji, tak żeby maksymalny prąd płynący przez niego był o około

20...50 razy mniejszy niż maksymalny prąd obciążenia. Jeszcze lepszym rozwiązaniem byłoby nieznaczne przerobienie układu i użycie MOSFETA P zamiast tranzystora PNP.

Inne stabilizatory

Przed laty najpopularniejszym stabilizatorem scalonym był układ 723 (UA723, μ A723, MC1723, LM723 itp.), który w kraju produkowano jako UL7523. Obecnie jest to już dinozaur i nie znajduje żadnego zastosowania w nowych konstrukcjach zasilaczy. Dla amatorów jest jednak nadal przydatny, ale już nie jako stabilizator, tylko jako kostka zawierająca wzmacniacz i dobre źródło napięcia odniesienia. Układ ten może być wykorzystywany do wielu konstrukcji, na przykład regulatorów temperatury. Do takich celów trzeba znać jego schemat wewnętrzny, który pokazano na **rys. 10**. Numery końcówek podano dla okrągłej metalowej obudowy TO-100, a w nawiasach numerację dla wersji w typowej plastikowej obudowie DIP-14.

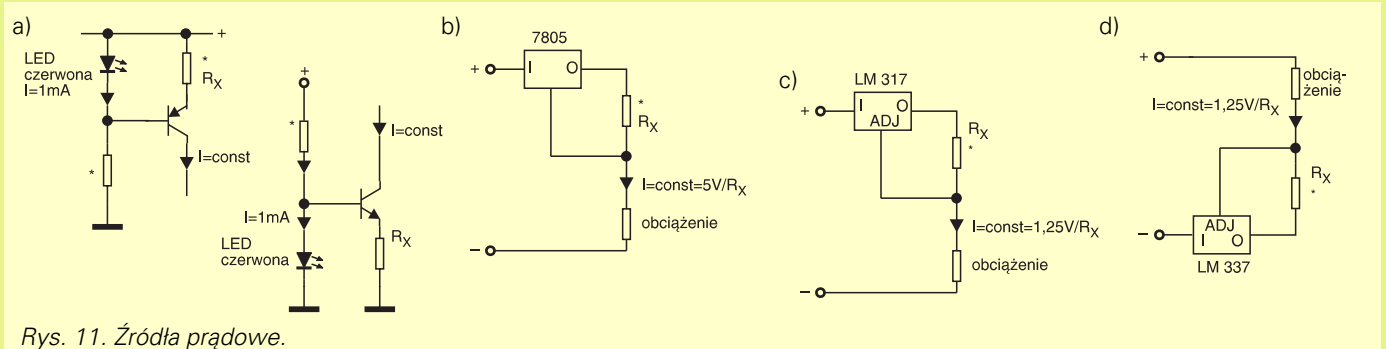
W swojej praktyce na pewno nie raz będziesz potrzebował źródła napięcia wzorcowego (odniesienia), o dobrej stałości parametrów. W wielu zastosowaniach, gdy napięcie zasilające wynosi przynajmniej 9V, możesz wykorzystać kostkę 723, w której źródło napięcia odniesienia, czyli nóżka 4 (6) oferuje napięcie $7,15V \pm 0,35V$ o współczynniku zmian cieplnych poniżej 150ppm/K (0,015%/K) i może dostarczyć do 15mA prądu.

Obecnie powszechnie wykorzystuje się specjalne scalone źródła napięcia odniesienia.

Specyficzną odmianą stabilizatorów są stabilizatory prądu, zwane inaczej źródłami prądowymi. Utrzymują one stały prąd obciążenia, niezależnie od zmian napięcia wejściowego i rezystancji obciążenia. Wiedząc, że do realizacji takich źródeł prądowych możesz wykorzystać stabilizatory napięcia. Dwa przykłady pokazane są na **rysunku 11**.

Produkowany jest też specjalny układ źródła prądowego LM334.

Piotr Górecki



Rys. 11. Źródła prądowe.