

1. Informacje ogólne

1.1 Podstawowe funkcje zasilaczy sieciowych i wymagania im stosowane.

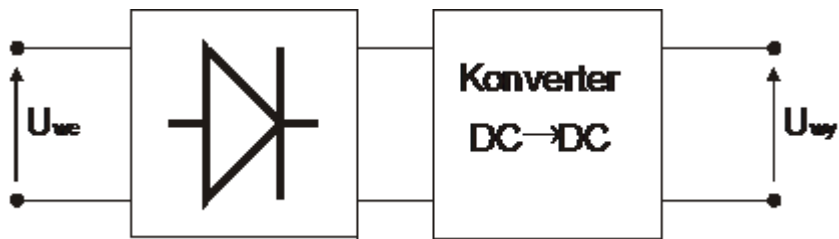
Podstawowym celem zasilaczy sieciowych jest dostarczenie napięcia lub napięć zasilających o określonych wartościach do układu zasilanego. Drugim bardzo ważnym zadaniem jest oddzielenie galwaniczne układu zasilanego od sieci energetycznej. Galwaniczne oddzielenie realizuje się przez stosowanie transformatorów bądź sieciowych, bądź impulsowych. Zasilacz musi również dostarczyć odpowiednią wartość prądu do układu zasilanego. Ponadto zasilacz powinien być wyposażony w zabezpieczenie lub ograniczenie prądowe. Może to uchronić układ zasilany lub sam zasilacz od zniszczenia w przypadku wadliwego działania układu odbiorczego.

Wymagania stawiane zasilaczom sieciowym:

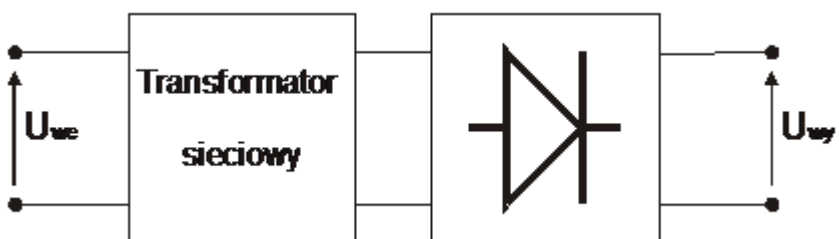
- możliwie małe straty mocy (duża sprawność)
- możliwie duża stałość napięcia wyjściowego (zarówno stałość długoterminowa jak i mały poziom zakłóceń)
- mały poziom zakłóceń emitowanych jako fale elektromagnetyczne.
- zabezpieczenie przed przekroczeniem maksymalnej wart. Prądu.
- galwaniczne oddzielenie sieci energetycznej od układu zasilanego (określa się jako minimalne napięcie powodujące przebicie między tymi obwodami).

1.2. Konfiguracje zasilaczy sieciowych.

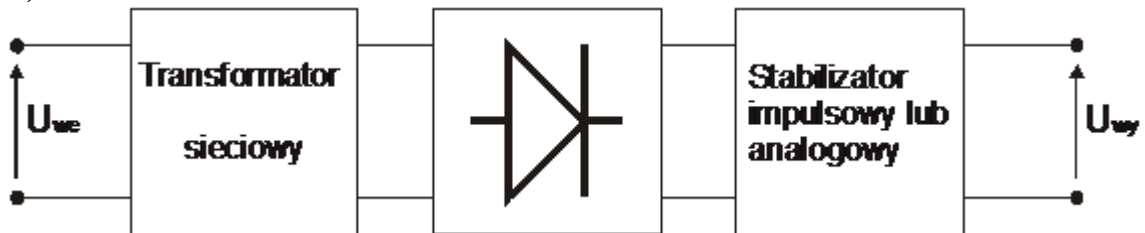
a)



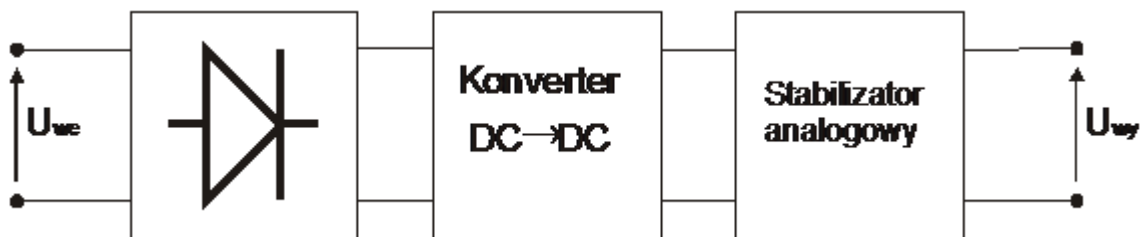
b)



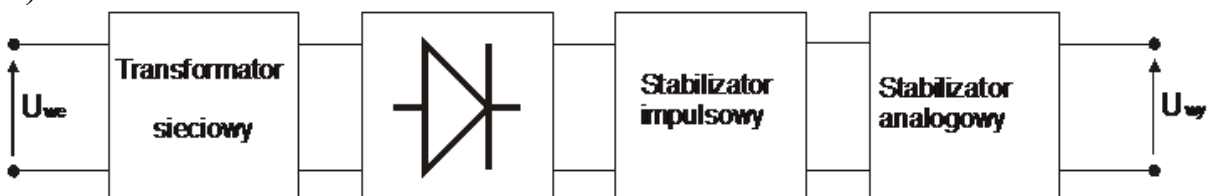
c)



d)



e)



Rys 1.1 Podstawowe konfiguracje zasilaczy sieciowych: a) Układ z impulsowym konwerterem napięcia. b) Układ z transformatorem sieciowym bez stabilizacji. c) Układ z transformatorem sieciowym i stabilizacją napięcia. d) Układ z impulsowym konwerterem napięcia i stabilizatorem napięcia. e) Układ z transformatorem sieciowym stabilizatorem (konwerterem DC/DC) i stabilizatorem analogowym.

1.3 Charakterystyka poszczególnych konfiguracji zasilaczy.

*Układ z impulsowym konwerterem napięcia.

Jest to podstawowy układ zasilacza impulsowego najczęściej stosowany w urządzeniach powszechnego użytku. Jego zaletą jest wyeliminowanie transformatora sieciowego, a co za tym idzie zmniejszenie wymiarów i masy układu (transformatory impulsowe pracujące na dużych częstotliwościach są wiele mniejsze niż transformatory sieciowe), duża sprawność konwertera DC/DC, możliwość stabilizacji napięcia za pomocą samego konwertera. Wadami są: duży poziom zakłóceń zarówno emitowanych przez sam konwerter, jak i przekazywane do sieci energetycznej po przez przewody zasilające, gorsza jakość stabilizacji (w porównaniu ze stabilizatorami analogowymi). Również napięcie wyjściowe posiada pewien poziom zakłóceń co wynika ze skończonej możliwości filtracji sygnału. Układy te są szeroko stosowane w układach o stosunkowo dużej mocy (komputery, telewizory, monitory).

*Układ z transformatorem sieciowym napięcia.

Jest to najbardziej klasyczny układ zasilacza i historycznie był najczęściej stosowany zanim pojawiły się zasilacze impulsowe. Jego zaletą jest prostota układu oraz niski poziom zakłóceń. W układach gdzie nie zależy na stałości napięcia nie trzeba stosować stabilizacji (np. zasilanie akustycznych wzmacniaczy mocy).

*Układ z transformatorem sieciowym napięcia i stabilizatorem.

W tej konfiguracji układu można zastosować stabilizator impulsowy lub zwykły (analogowy). Najczęściej stosuje się stabilizator zwykły gdyż jeśli stosuje się układ impulsowy to zazwyczaj jest to konwerter DC/DC bez transformatora sieciowego. Jednak jeśli zależy nam na dużej sprawności i małym poziomie zakłóceń to można zastosować stabilizator impulsowy w wyżej wymienionym układzie. Układ z transformatorem sieciowym i stabilizatorem analogowym jest najczęściej stosowanym układem zasilania dla niewielkich mocy.

*Układ z konwerterem DC/DC i stabilizatorem klasycznym (analogowym) nie jest szeroko stosowanym układem. Można go stosować w układach w których zależy nam na dużej sprawności zasilacza oraz wysokiej jakości stabilizacji napięcia. Rozwiązanie to można stosować w zasilaczach laboratoryjnych o szerokich granicach zmian napięcia wyjściowego. W tym

rozwiązaniu tak steruje się konwerterem DC/DC aby napięcie na wejściu stabilizatora analogowego było niewiele większe od napięcia wyjściowego. Wartość ta musi być na tyle duża aby zapewnić poprawne działanie stabilizatora analogowego i na tyle mała aby uzyskać najmniejsze straty mocy.

*Układ z transformatorem sieciowym, stabilizatorem impulsowym i analogowym, jest stosowany w podobnych sytuacjach jak układ z punktu poprzedniego. W układach w których zależy nam na niskich zakłóceniach możemy użyć jako elementu przetwarzającego napięcie transformatora sieciowego. Układ stabilizatora impulsowego jest prostszy i emituje mniejsze zakłócenia od transformatorowego konwertera DC/DC przetwarzającego napięcie sieciowe na wyjściowe napięcie zasilania.

1.4 Opis podstawowych bloków zasilaczy sieciowych.

1.4.1 Transformator sieciowy.

Transformator sieciowy posiada rdzeń wykonany z blachy permalojowej. Rdzeń składa się z odizolowanych od siebie płytek co zabezpiecza przed powstawaniem prądów wirowych. W porównaniu z rdzeniem ferrytowym zasilaczy impulsowych posiada on znacznie większą przenikalność magnetyczną. Mimo to jednak rdzenie zasilaczy impulsowych są znacznie mniejsze. Uzwojenia transformatora sieciowego nawinięte są drutem miedzianym izolowanym emalią. Głównym źródłem strat mocy tego elementu są straty w rdzeniu oraz straty wynikające z rezystancji uzwojeń.

Transformatory sieciowe wykonuje się następujących typów:

- z rdzeniem kształtkowym;
- z rdzeniem zwijanym;
- Toroidalne;

a)



b)



c)

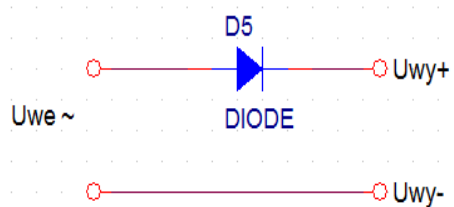


Rys 1.2 Transformatory: a) z rdzeniem kształtkowym; b) z rdzeniem zwijanym; c) toroidalny.

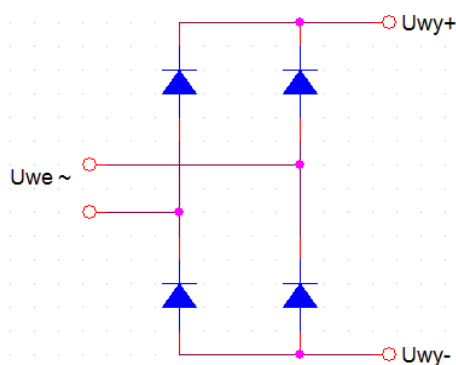
4.2 Prostownik sieciowy.

W większości zasilaczy elektronicznych stosuje się prostownik dwupołówkowy w układzie mostka Gretz'a.

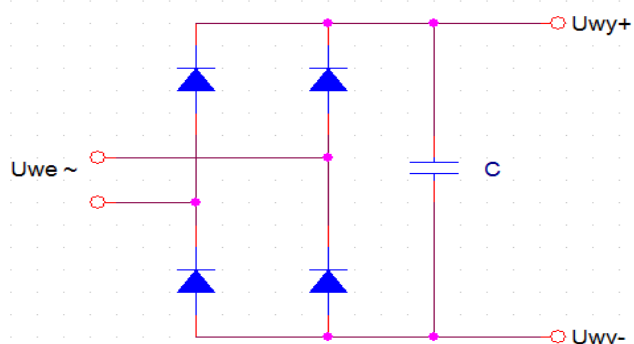
a)



b)



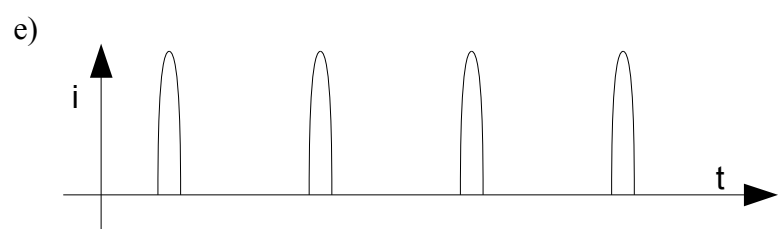
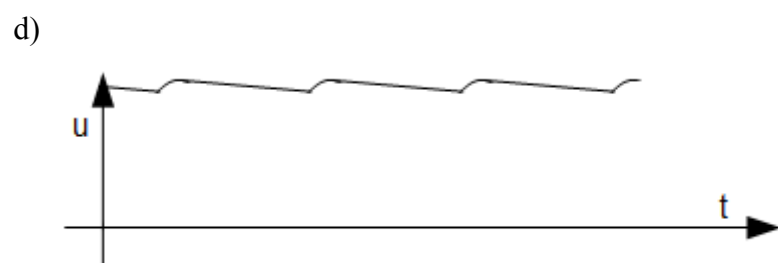
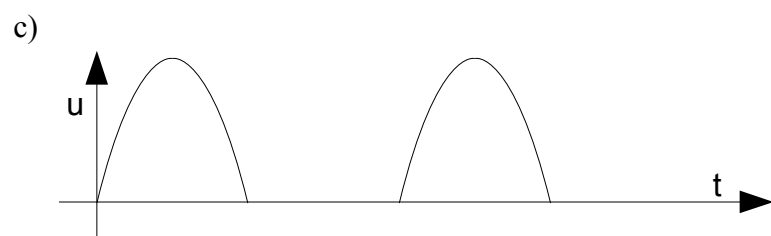
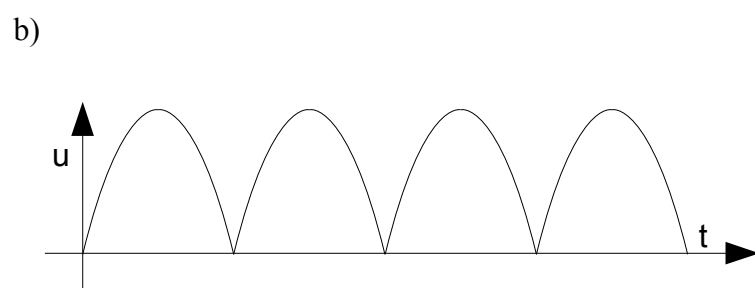
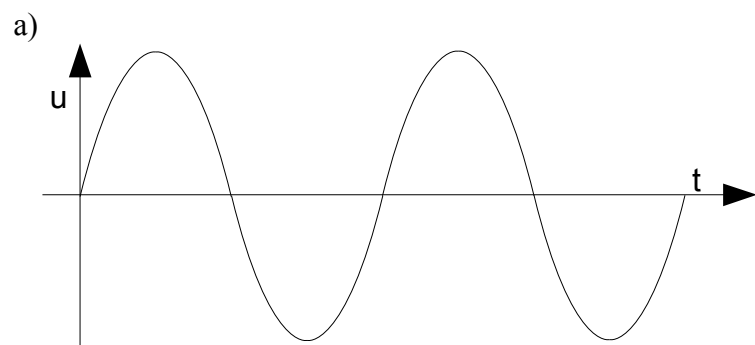
Rys 1.2 Prostowniki: a) jednapołówkowy ; b) dwupołówkowy (mostek Gretz'a).



Rys 1.3 Prostownik z kondensatorem filtrującym.

W zasilaczach impulsowych (w oparciu o konwertery DC/DC) prostuje on bezpośrednio napięcie sieci energetycznej. W układach z transformatorem sieciowym prostowany jest prąd uzwojeń wtórnych. W przypadku zasilaczy niewielkich mocy można stosować prostowniki jednapołówkowe.

Ponieważ napięcie sieci ma kształt teoretycznie sinusoidalny samo wyprostowanie nawet dwupołówkowe nie wystarczy do uzyskania napięcia stałego. Za prostownikiem należy umieścić kondensator filtrujący. Na wyjściu takiego układu otrzymujemy sygnał o pewnej wartości tętnień które możemy wyeliminować przy pomocy stabilizatora.



Rys 1.4 Przebiegi czasowe: a) napięcie wejściowe; b) prostownik dwupołówkowy; c) prostownik jednapołówkowy; d) prostownik dwupołówkowy z kondensatorem wygładzającym; e) natężenie prądu diod.

Napięcie tętnień można oszacować ze wzoru:

$$\Delta U \approx \frac{I_o}{2 \cdot f \cdot C} ;$$

I_o - natężenie prądu obciążenia.

f - częstotliwość.

C - pojemność.

Projektując prostownik należy wziąć pod uwagę że prąd płynący przez diodę ma charakter impulsowy. Impulsy prądowe mają niewielki współczynnik wypełnienia co powoduje że ich wartość maksymalna może być bardzo duża.

Projektując więc układ prostownika należy uważać aby nie przekroczyć dopuszczalnej wartości chwilowej natężenia prądu diody. Aby zmniejszyć tą wartość należy dążyć do poszerzenia szerokości impulsów prądowych. Można tego dokonać zwiększając wartość napięcia tętnień czyli zmniejszając wartość kondensatora filtrującego. Drugim sposobem jest stosowanie dodatkowych rezystancji ograniczających maksymalną wartość impulsów prądowych. Można też stosować dławiki. W przypadku zasilaczy z transformatorem sieciowym Naturalnym elementem ograniczającym prąd prostownika są rezystancje uzwojeń.

Ponieważ wartość napięcia sieciowego jest podawana jako wartość skuteczna, maksymalna wartość chwilowa jest równa:

$$U_{\max} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{sk}} ;$$

Aby oszacować wartość napięcia na wyjściu prostownika należy wziąć pod uwagę spadek na diodach, napięcie tętnień oraz spadek na rezystancji szeregowej (rezystancji uzwojeń lub rezystorów ograniczających prąd):

$$U_o = U_{\max} - 2 \cdot U_d - U_t - U_r$$

U_d - spadek napięcia na diodzie (ok. 1V).

U_t - napięcie tętnień.

U_r - spadek napięcia na rezystancji szeregowej.

U_{\max} - maksymalna wartość chwilowa napięcia.

Należy zaznaczyć że wartość U_r należy wyznaczyć dla wartości impulsu prądowego (nie dla wartości średniej).

1.4.3 Impulsowy konwerter DC/DC.

Konwerter DC/DC jest układem elektronicznym służącym do przetwarzania wartości napięć w oparciu o transformator impulsowy. Przebieg podawany na transformator ma kształt prostokątny i częstotliwość znacznie większą od częstotliwości sieci energetycznej (od kilkudziesięciu do kilkuset KHz). Dzięki zastosowaniu dużej częstotliwości przetwarzania uzyskuje się miniaturyzację rdzenia, zmniejszenie wielkości innych elementów indukcyjnych i pojemnościowych. Dokładny opis działania jest zawarty w dalszej części.

1.4.4 Stabilizator impulsowy

Stabilizator impulsowy służy do wytwarzania określonego napięcia wyjściowego. Regulacja tego napięcia odbywa się poprzez zmianę współczynnika wypełnienia przebiegu napięcia zasilającego. W układzie stabilizatora impulsowego wystarczy zastosować dławik, a nie transformator jak w punkcie poprzednim. Zmniejsza to poziom zakłóceń, zwiększa sprawność, i upraszcza układ.

1.4.5 Stabilizator liniowy.

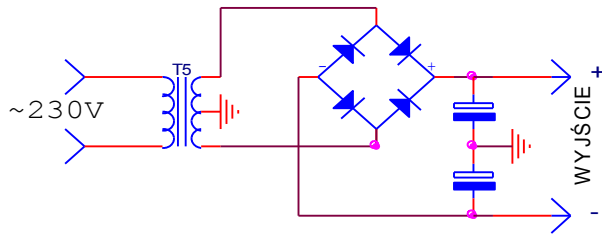
Stabilizator liniowy służy do wytwarzania określonego napięcia stałego. Układ działa w sposób całkowicie analogowy. Do regulacji napięcia wyjściowego służy tranzystor który jest sterowany prądem stałym.

Rozdział 2. Zasilacze klasyczne

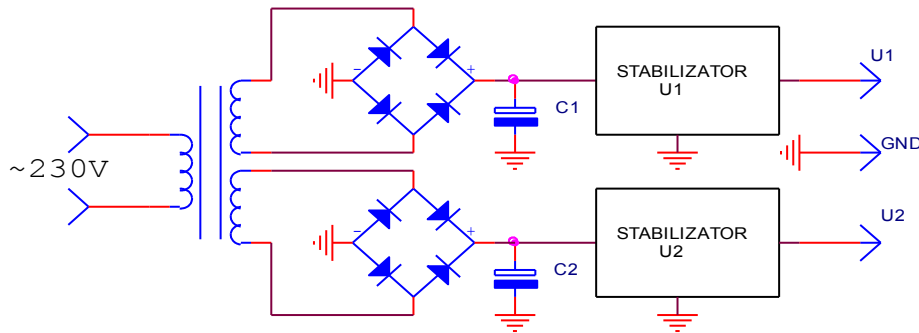
Zasilacz klasyczny składa się z:

- transformatora sieciowego.
- prostownika (z kondensatorem filtrującym).
- Stabilizatora liniowego.

W prostszych rozwiązaniach zasilaczy pomija się ostatni element. Opisywane układy zasilaczy mogą mieć wiele lub jedno napięcie wyjściowe. W przypadku gdy chcemy mieć wiele napięć wyjściowych należy użyć transformatora z wieloma uzwojeniami wtórnymi. Często też zachodzi potrzeba zasilania układ napięciami symetrycznymi (+Vcc,GND,-Vee). W tej sytuacji można wykorzystać układ z rysunku 2.2. Oczywiście układ ten można wyposażyć w stabilizatory dodatniego i ujemnego napięcia. Dokładny opis prostowników sieciowych znajduje się w 1.3

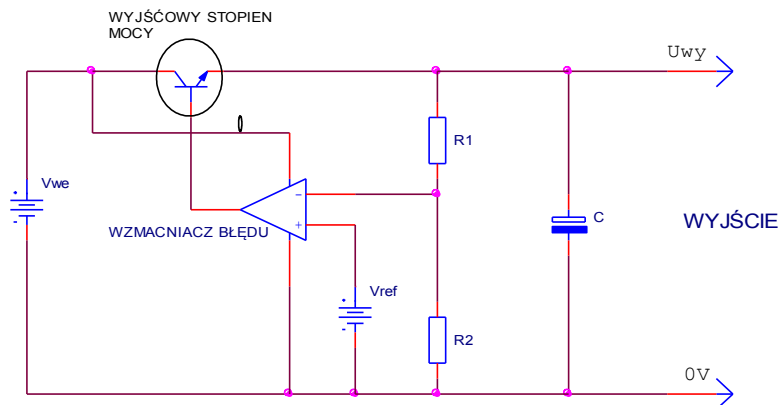


Rys 2.1 Zasilacz z symetrycznym wyjściem;



Rys 2.2 Zasilacz z dwoma napięciami wyjściowymi

2.1 Ogólna koncepcja liniowego stabilizatora napięcia.



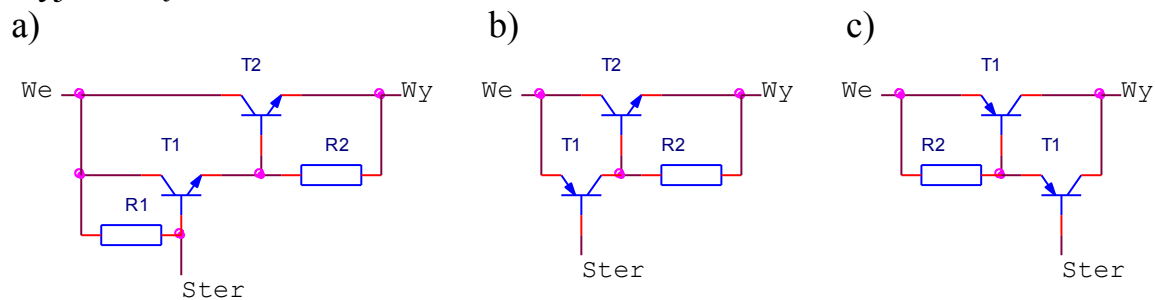
Rys 2.3 Schemat blokowy stabilizatora napięcia.

Jak widać stabilizator napięcia jest typowym układem wzmacniającym ze sprzężeniem zwrotnym. Napięcie wyjściowe zależy od dzielnika R1 i R2 oraz od napięcia odniesienia. Zakładając nieskończenie duże wzmocnienie wzmacniacza błędów napięcie wyjściowe jest wyrażone wzorem:

$$U_0 = U_{\text{ref}} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) ;$$

Elementem regulacyjnym może być tranzystor mocy bipolarny lub MOS-FET.

W przypadku stabilizatorów dużej mocy należy zadbać o odprowadzanie ciepła z tego elementu np. po przez stosowanie radiatorów lub wentylatorów. Od tego bloku zależy parametr „Drop - out” czyli minimalna różnica napięć po między napięciem wejściowym, a wyjściowym przy którym układ działa poprawnie. Najczęściej w bloku tym występują dwa tranzystory. Najkorzystniejszą konfiguracją jeśli chodzi o dynamiczną rezystancję wyjściową (bez sprzężenia zwrotnego) ma zwykły układ Darlingtona. Zakładając, że mamy do czynienia z stabilizatorem dodatnim składa się on z dwóch tranzystorów npn. Układ ten charakteryzuje się jednak najgorszym parametrem Drop-Out. Wpływają na niego spadki napięcia na bazach tranzystorów i spadek napięcia na rezystorze polaryzującym. Innym rozwiązaniem jest zastosowanie jako tranzystora sterującego tranzystora typu pnp. Odpada nam tu napięcie na rezystorze polaryzującym oraz napięcie bazy tranzystora sterującego zamienione jest na jego napięcie nasycenia. Układ ten dzięki zastosowaniu w stopniu wyjściowym tranzystora npn ma nie najgorszą rezystancję wyjściową. Trzecim rozwiązaniem jest zastosowanie dwóch tranzystorów pnp w układzie Darlingtona. Układ ten charakteryzuje się najmniejszym parametrem Drop-Out. Równy jest on napięciu nasycenia tranzystora wyjściowego. Układ ten posiada sporą rezystancję wyjściową.



Rys 2.4 Konfiguracja tranzystorów w stopniu wyjściowym. a) Układ Darlingtona dwa tranzystory npn. b) tranzystor pnp i npn. c) Układ darlingtona dwa tranzystory typu pnp.

Moc tracona na elemencie regulującym wynosi:

$$P_s = I_o \cdot (U_{we} - U_{wy});$$

Jeśli stosujemy ograniczenie prądowe to należy przyjąć najgorszy:

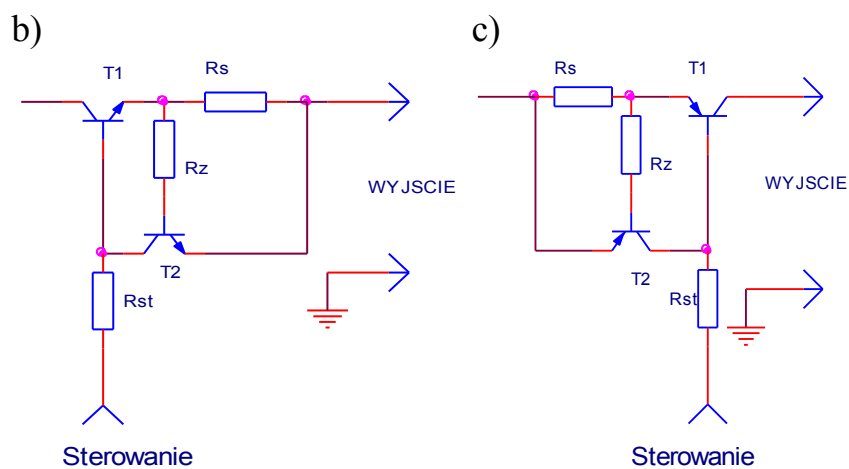
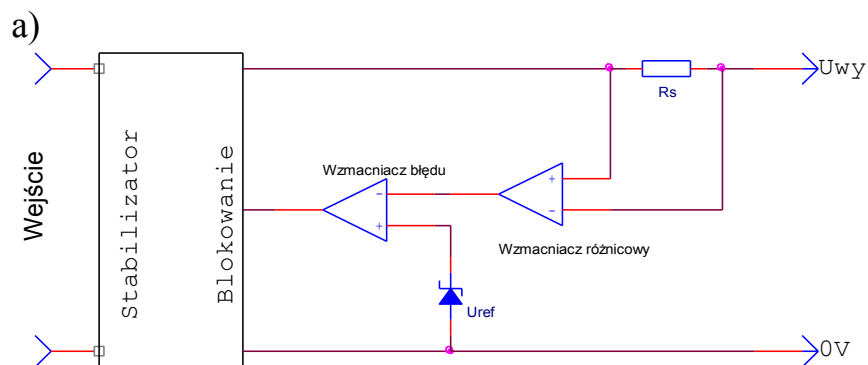
$$U_{wy} = 0;$$

Źródło napięcia odniesienia w najprostszym przypadku może być odpowiednio spolaryzowaną diodą Zenera. W praktyce stosuje się bardziej złożone, skompensowane termicznie źródła referencyjne. Gotowe precyzyjne źródła napięcia odniesienia o dużej dokładności są dostępne jako układy scalone.

Wzmacniacz błędu porównuje napięcie wyjściowe z napięciem referencyjnym sterując odpowiednio elementem regulacyjnym. Wzmacniacz błędu może być wzmacniaczem operacyjnym, różnicowym, lub w najprostszym przypadku pojedynczym tranzystorem. Projektując ten blok należy mieć również na uwadze kwestie stabilności. Sprowadza się to przeważnie do ograniczenia wzmocnienia dla wysokich częstotliwości.

Kondensator C zapewnia stałość napięcia wyjściowego przy szybkich zmianach prądu obciążenia. Również zastosowanie kondensatora C na wyjściu stabilizatora korzystnie wpływa na kwestie stabilności gdyż zmniejsza wzmocnienie całej pętli (wzmacniacz – element regulacyjny – sprzężenie zwrotne) dla wysokich częstotliwości.

Zasilacz warto wyposażyć w zabezpieczenie przeciwzwarciowe. Może to uchronić zasilacz przed uszkodzeniem w przypadku wadliwego działania odbiornika energii. Koncepcja takiego zabezpieczenia w postaci ograniczenia prądowego polega na kontrolowaniu napięcia na rezystorze włączonym szeregowo do obciążenia. Jeśli jego wartość przekroczy pewien limit napięcie wyjściowe jest blokowane.



Rys 2.5 Ograniczenie prądowe: a) zasada działania; b) układ praktyczny (stopień końcowy npn); c) stopień końcowy pnp.

Działanie układu na rysunku 2.2b jest następujące: w momencie przekroczenia napięcia na rezystorze R_s poziomu (BE) otwarcia tranzystora T2 baza tranzystora T2 zostaje zwarta z emiterem i tranzystor T2 zostaje wyłączony.

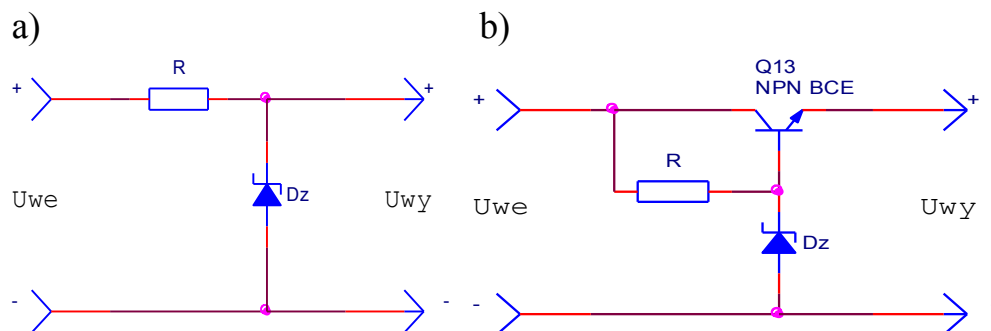
$$R_s = \frac{U_{be}}{I_o} ;$$

U_{be} - napięcie BE otwarcia tranzystora T2 ok.0.7V.

I_o - prąd ograniczenia zwarciovego.

2.2 Najprostsze układy stabilizatorów.

W przypadku gdy nie zależy nam na wysokiej jakości stabilizacji napięcia możemy zastosować prostsze rozwiązanie niż omówione w poprzednim punkcie.



Rys 2.6 Najprostsze układy stabilizatorów: a) z pojedynczą diodą Zenera; b) z diodą Zenera i tranzystorem.

Napięcie wyjściowe układu z rysunku 2.3a jest równe napięciu diody zenera. Natomiast maksymalna rezystancja R_s jest zależna od różnicy napięć wejściowego i wyjściowego:

$$R_s = \frac{U_{we} - U_{wy}}{I_o} ;$$

U_{we} - napięcie wejściowe.

U_{wy} - napięcie wyjściowe.

I_o - prąd obciążenia.

W razie potrzeby (większy prąd obciążenia) można stosować diody zenery mocy.

Natomiast jeśli chodzi o układ z rys 2.3b to napięcie stabilizowane przez diodę Zenera jest wzmacniane prądowo przez tranzystor T, który pracuje w

układzie wspólnego kolektora. Napięcie wyjściowe jest równe napięciu diody Zenera pomniejszone o spadek napięcia złącza BE tranzystora T (ok. 0.7V).

$$R_s = \frac{\beta \cdot (U_{we} - U_{wy} - U_{be})}{I_o} ;$$

U_{we} - napięcie wejściowe.

U_{wy} - napięcie wyjściowe.

U_{be} - spadek napięcia BE tranzystora.

I_o - prąd obciążenia na wyjście układu oraz.

β - współczynnik wzmocnienia prądowego tranzystora.

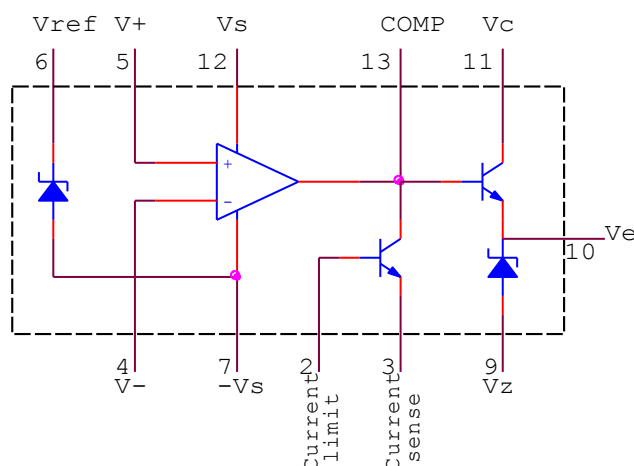
Aby poprawić dynamiczne parametry tych stabilizatorów można dołączyć kondensatory do wyjścia układu oraz równolegle z diodą zenera.

2.3 Realizacje stabilizatorów scalonych.

2.3.1 Stabilizatory uniwersalne (regulowane).

Najpopularniejszym układem uniwersalnego stabilizatora napięcia jest LM723. Mimo to że układ ten ma już swoje lata jest nadal stosowany. Jest to układ małej mocy (obudowa DIP14) co oznacza że aby uzyskać dużą moc wyjściową należy zastosować element zewnętrzny. Układ pełni funkcję:

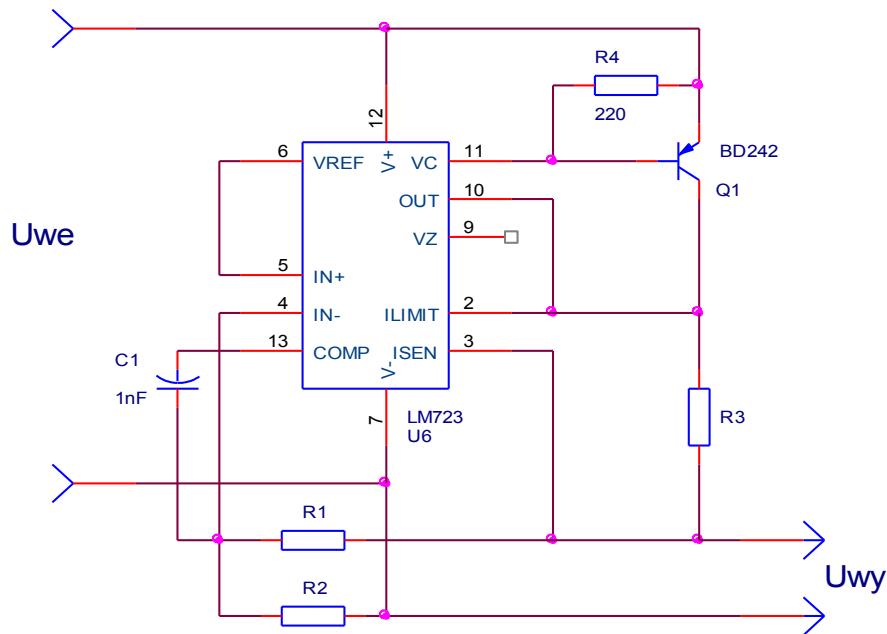
- wzmacniacza błęd;
- źródła napięcia odniesienia;
- zabezpieczenia przeciwzwarciowego;



Rys 2.7 Schemat blokowy układu LM723.

Podstawowe parametry:

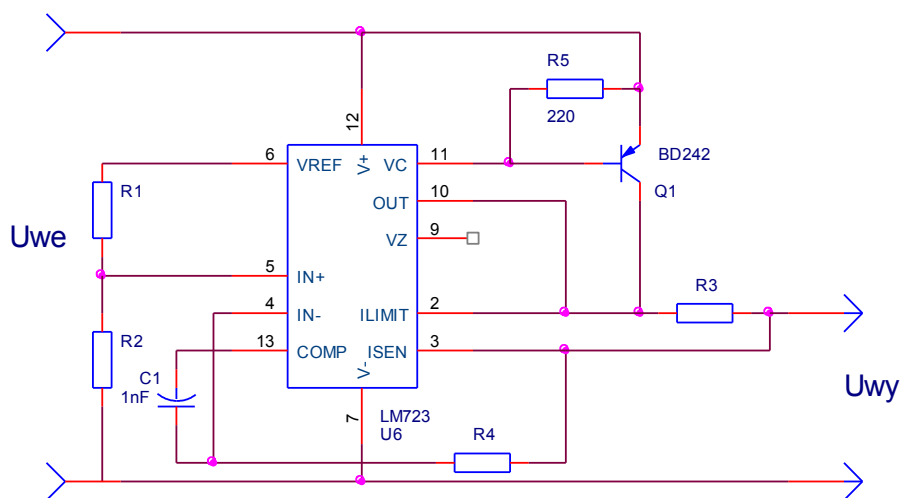
Napięcie zasilania	9.5-40V
Napięcie referencyjne	7.15V
Max. Prąd wyjściowy	150mA
Napięcie Dz	~6.2V



Rys 2.8 Układ stabilizatora dodatniego $U_{wy} > U_{ref}$.

$$U_{wy} = U_{ref} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) ;$$

$$I_0 = \frac{0,7}{R_3} ;$$



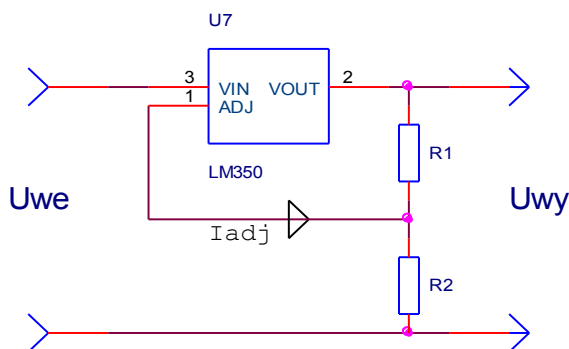
Rys 2.9 Układ stabilizatora dodatniego $U_{wy} < U_{ref}$.

$$U_{wy} = U_{ref} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} ;$$

Wartości R1 i R2 powinny być na tyle małe aby nie obciążały zbyt mocno wejścia wzmacniacza błędów. Zmniejszając więc ich wartości poprawiamy stabilność temperaturową stabilizatora. W praktyce wartości te powinny wynosić od kilkudziesięciu do kilku KΩ. Jeśli chodzi o układ z rysunku 2.8 to wartość rezystora R6 powinna być równa połączeniu równoległemu rezystorów R1 i R2:

$$R_6 = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2);$$

Innym rozwiązaniem są układy trójkońcówkowe regulowane dużej mocy. Układy te w zasadzie posiadają stałe napięcie wyjściowe jednak odpowiednia konfiguracja układowa pozwala na uzyskanie regulacji napięcia. Popularnymi układami należącymi do tej kategorii są : LM317, LM350. Układy te posiadają gorsze parametry niż opisany powyżej LM723 jednak z powodu dużej prostoty aplikacji są powszechnie stosowane.



Rys 2.10 Typowa realizacja stabilizatora napięcia na układach LM350/LM317 Obydwa układy posiadają napięcie wyjściowe równe 1.25V. Różnią się maksymalnym prądem wyjściowym:

LM317 – 1.5A;

LM350 – 3A;

$$U_{wy} = U_{ref} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) + R_2 \cdot I_{adj} ;$$

$$U_{ref} = 1.25V;$$

$$I_{adj} < 100\mu A;$$

Stosując odpowiednio niewielkie wartości rezystorów R1 i R2 można pominąć wpływ I_{adj} .

2.3.2 Scalone stabilizatory mocy o stałym napięciu wyjściowym.

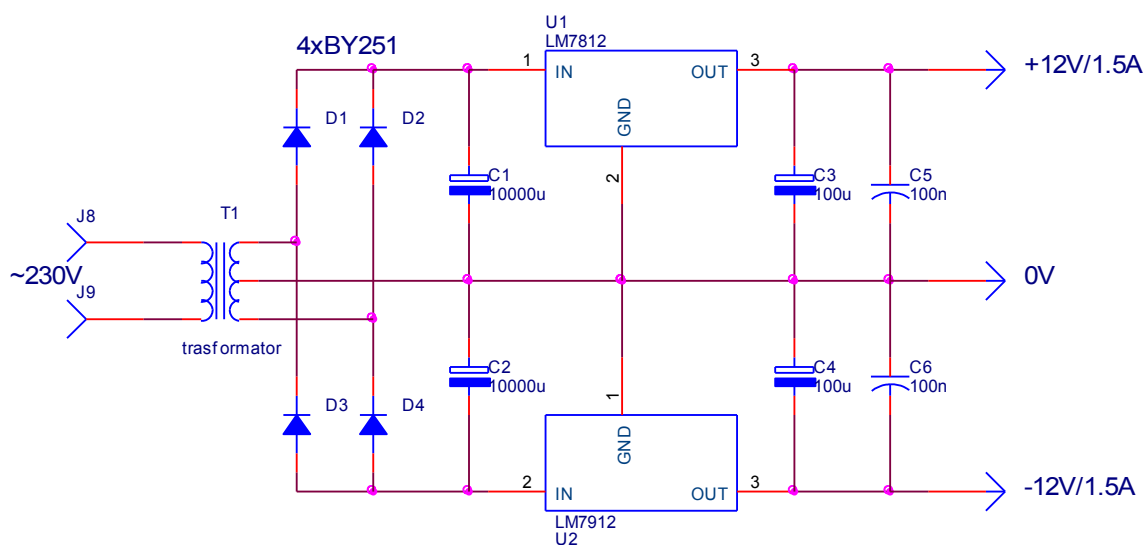
Układy te zazwyczaj są wykonywane dla jednego napięcia wyjściowego. Dzięki zastosowaniu obudów tranzystorów mocy (TO3, TO220) układy te mogą pracować dla stosunkowo dużych prądów obciążenia. Podstawowa rodzina tej grupy to:

78xx - napięcie dodatnie.

79xx - napięcie ujemne.

xx – oznacza wartość stabilizowanego napięcia i zwiera się w granicach:

05-24. Układy te wykonywane w obudowach TO-220 posiadają maksymalny prąd obciążenia równy 1.5A. Wykonywana jest też wersja w obudowie TO-92 o prądzie wyjściowym 100mA.



Rys 2.11 Przykładowy układ zasilacza ze scalonymi stabilizatorami mocy.

W początkowym okresie wykonywania monolitycznych stabilizatorów technologia ich wytwarzania nie umożliwiała wykonywania tranzystorów PNP o dobrych parametrach. W związku z czym do poprawnego ich działania wymagana była duża różnica pomiędzy napięciem wyjściowym i wejściowym (drop-out). Dla rodziny 78XX wynosi 3V.

W ostatnich latach pojawiły się układy o niskiej wartości tego parametru - tzw. low-drop. Jedną z powszechniejszych rodzin tej grupy to układy:

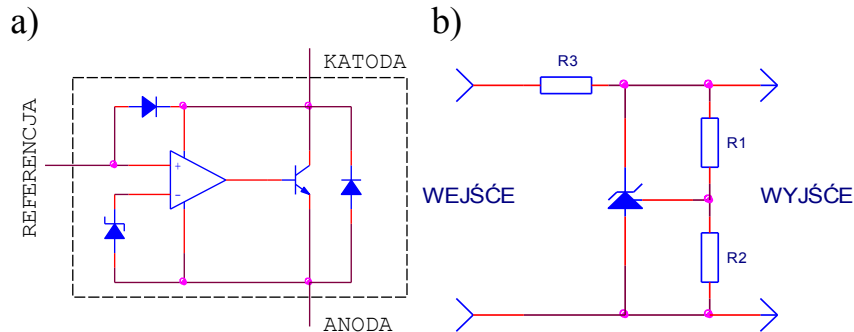
LM1084-XX

Układy te posiadają prąd wyjściowy równy 5A i zakres napięć wyjściowych od 3,3V do 12V.

2.3.2 Programowane źródła napięcia odniesienia.

Do budowy stabilizatorów można również użyć tzw. programowanych źródeł napięcia odniesienia. W rzeczywistości są to układy scalone posiadające skompensowane termicznie źródło napięciowe i wzmacniacz błędny.

Typowym reprezentantem tej grupy jest: TL431.

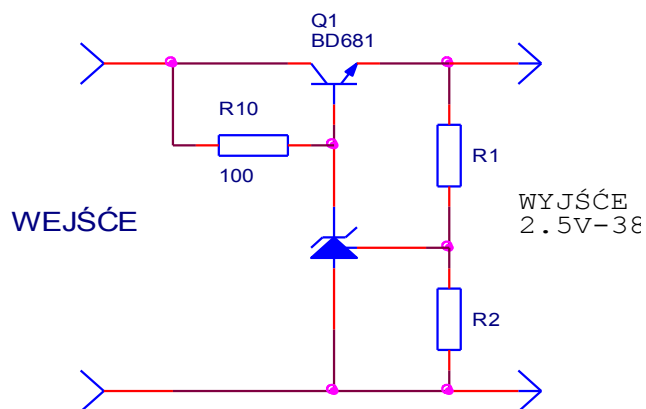


Rys 2.12 Układ TL431: a) schemat blokowy; b) typowy układ pracy.

Wzmacniacz błędny wbudowany w powyższe układy ma znacznie gorsze parametry niż pojedyncze wzmacniacze operacyjne jednak układy te ze względu na dużą prostotę znalazły szerokie zastosowanie zwłaszcza w zasilaczach impulsowych.

Podstawowe parametry:

Napięcie referencyjne	2.5V
Prąd polaryzacji	1.8 μ A
Maksymalne napięcie	38V
Maksymalny prąd	100mA



Rys 2.13 Przykładowy układ stabilizatora zbudowanego w oparciu o układ scalony TL431.

Napięcie wyjściowe:

$$U_{wy} = 2,5 \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) ;$$

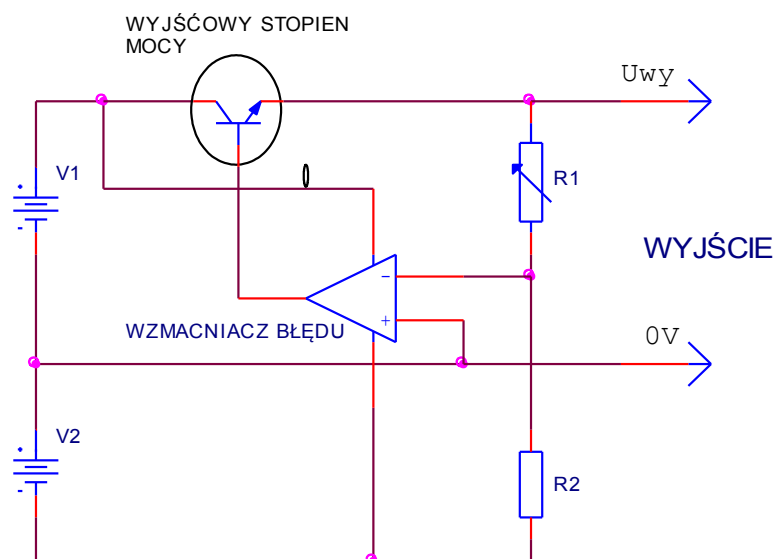
Dobierając wartości R_1 i R_2 należy wziąć pod uwagę że układ TL431 posiada dość duży prąd polaryzacji wejścia referencyjnego ($\sim 2\mu A$). Błąd napięcia wyjściowego zależy od rezystorów R_1 i R_2 :

$$\Delta U_{ref} = I_{bias} \cdot R_1 \parallel R_2 ;$$

Układ wykonywany jest w obudowach TO-92; DIP-8; oraz do montażu powierzchniowego.

2.4 Zasilacze uniwersalne i laboratoryjne.

Od tej grupy układów wymagamy aby posiadały regulowane napięcie wyjściowe najczęściej od 0V oraz posiadały możliwość zmiany maksymalnego prądu wyjściowego. Aby umożliwić uzyskania napięć wyjściowych regulowanych od 0V należy użyć dodatkowego napięcia zasilania. W przypadku zasilaczy o dodatnim napięciu wyjściowym najlepiej użyć dodatkowego ujemnego napięcia.



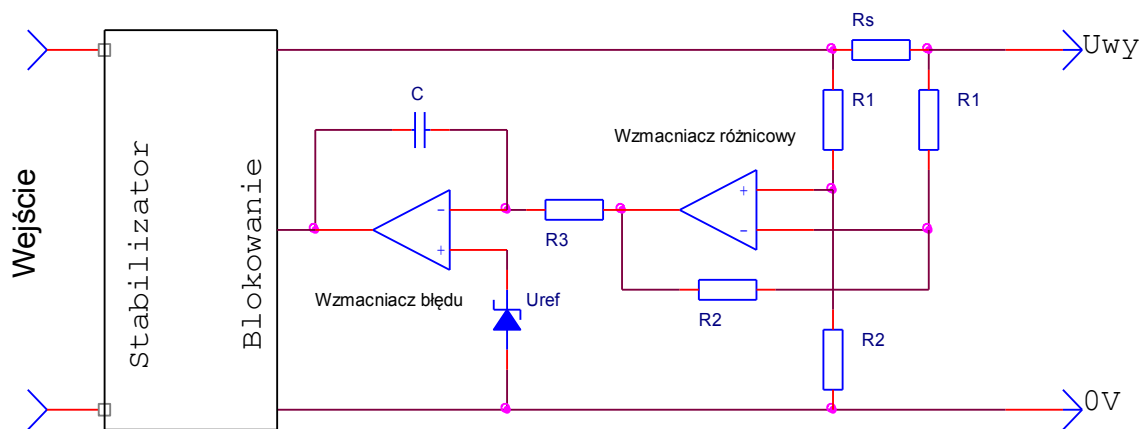
Rys. 2.14 Schemat blokowy regulowanego stabilizatora o napięciu wyjściowym od 0V.

Powyższy układ daje możliwość regulacji napięcia od 0V. Jak widać napięcie wyjściowe jest proporcjonalne do rezystora R_1 . Układ zawiera dwa źródła: podstawowe - V_1 i pomocnicze V_2 , które pełni rolę napięcia odniesienia oraz ujemnego zasilania wzmacniacza błędów.

$$U_{wy} = V_2 \cdot \frac{R_1}{R_2} ;$$

Jeśli jako wzmacniacz błędów stosujemy wzmacniacz operacyjny to należy odpowiednio zmniejszyć napięcie zasilania tego układu, aby nie przekroczyć dopuszczalnego maksymalnego napięcia zasilania.

W zasilaczach laboratoryjnych możemy mieć też większe wymagania do układu ograniczenia prądowego. Omawiany dotąd układ może okazać się niewystarczający. Poniżej podano zaawansowany układ ograniczenia prądowego.



Rys.2.15 Schemat precyzyjnego ograniczenia prądowego.

Opis działania powyższego układu:

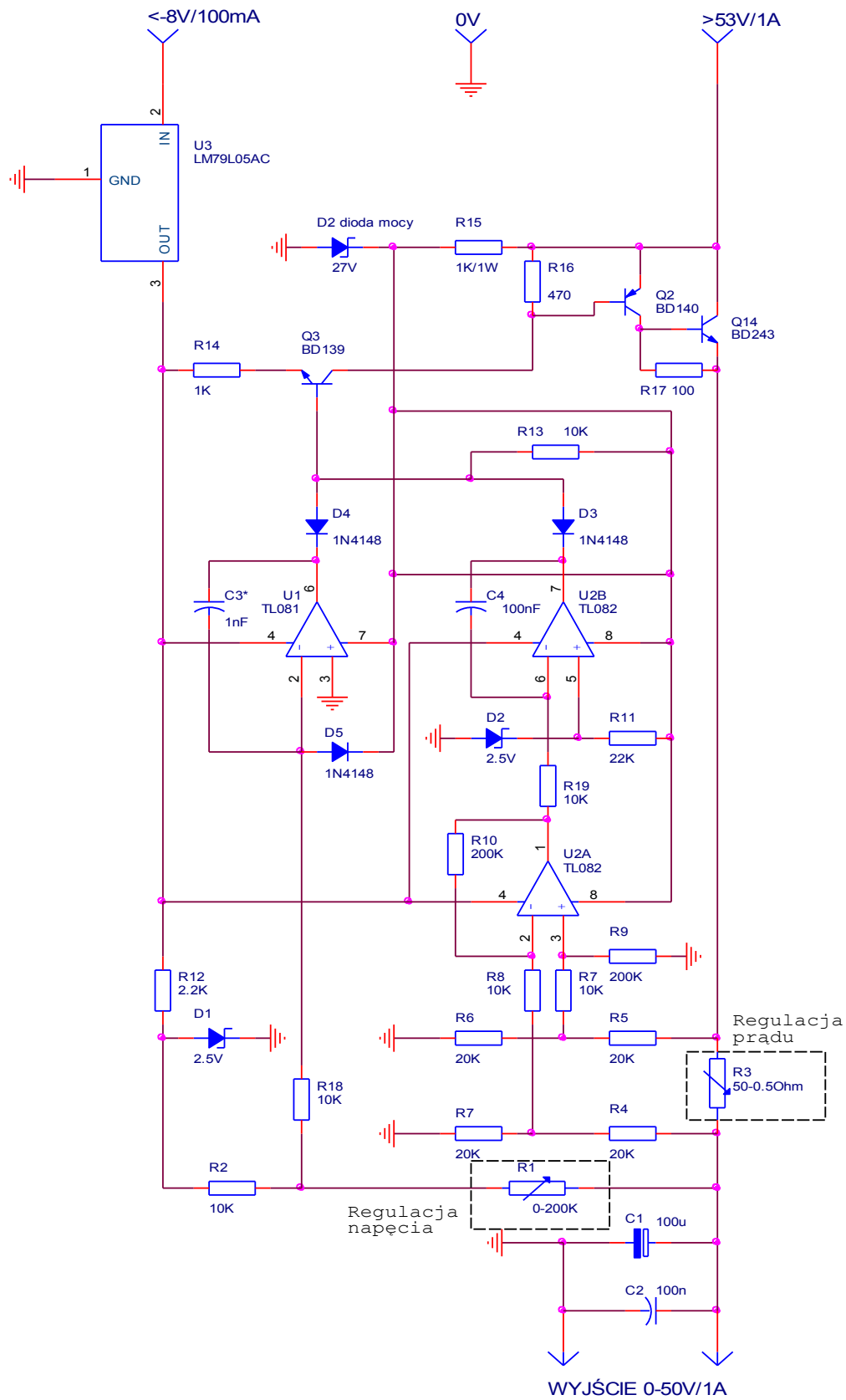
Elementem, który służy do pomiaru natężenia prądu jest rezystor R_s . Spadek napięcia na rezystorze R_s jest mierzony przez wzmacniacz różnicowy. Następnie napięcie z wyjścia wzmacniacza różnicowego jest porównywane jest z napięciem U_{ref} . Jeśli przekroczy jego wartość to napięcie wyjściowe jest blokowane. Kondensator C i rezystor R_3 pełnią rolę kompensacji częstotliwościowej. Należy też zadbać o odpowiednią polaryzację źródła napięcia odniesienia i wzmacniaczy operacyjnych.

Wzmocnienie wzmacniacza różnicowego wynosi $K_u = R_2/R_1$. Czyli natężenie prądu ograniczenia prądowego wynosi:

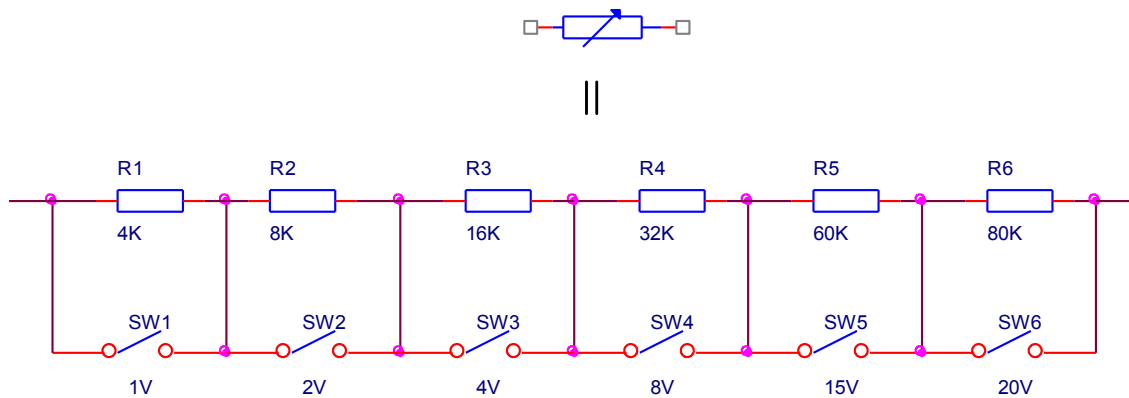
$$I_O = \frac{U_{ref}}{K_u \cdot R_s} = \frac{U_{ref} \cdot R_1}{R_s \cdot R_2} ;$$

Stabilizator laboratoryjny można poprzedzić zasilaczem impulsowym dla minimalizacji traconej mocy. Napięcie takiego zasilacza powinno być nieznacznie większe od napięcia wyjściowego.

Na rysunku 2.18 Przedstawiono przykładowy układ stabilizatora regulowanego. Rezystorem R_1 – reguluje się napięcie wyjściowe natomiast rezystorem R_3 Natężenie prądu ograniczenia prądowego. Rezystorem R_1 może być potencjometr wieloobrotowy, a napięcie wyjściowe, można kontrolować przy pomocy woltomierza cyfrowego. Innym rozwiązaniem jest zastosowanie odpowiedniego układu przełączników i rezystorów. Przykład takiego układu Jest pokazany na rys. 2.19. Jako diod referencyjnych : D_1 i D_2 można użyć układu scalonego LM385/2.5V.



Rys. 2.16 Przykład laboratoryjnego stabilizatora o napięciu 0-50V.



Rys. 2.17 Układ zmiany rezystancji rezystora R1 z układu z rysunku 2.17;

Opis układu:

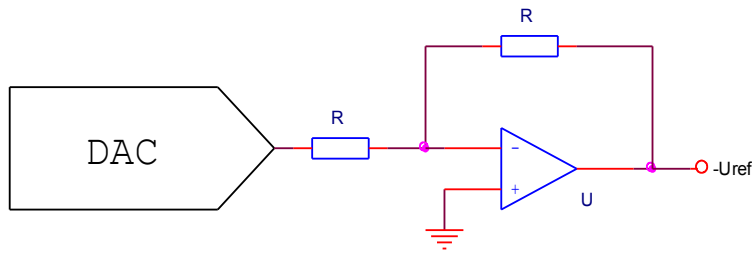
Układ scalony U1 stanowi układ wzmacniacza błęd stabilizatora napięcia. Układ U2a to wzmacniacz różnicowy, a U2b wzmacniacz błęd. Bloki te wykorzystywane są przez układ precyzyjnego ograniczenia prądowego.

Układ diodowy (D3, D4) to układ przenoszenia mniejszej wartości napięcia. Służy on do połączenia zabezpieczenia prądowego z wyjściem wzmacniacza U1. W sytuacji gdy wartość ograniczenia prądowego nie jest przekroczona dioda D3 jest spolaryzowana zaporowo, a napięcie wyjściowe układu U1 jest przez diodę D4 podawane na bazę tranzystora Q3. Układ pracuje jako zwykły stabilizator napięcia. Natomiast gdy przekraczamy wartość prądu ograniczenia prądowego na wyjściu wzmacniacza U2b pojawia się ujemne napięcie, które powoduje otwarcie diody D3, oraz zmniejszenie napięcia na bazie Q3. Powoduje to spadek napięcia wyjściowego. Układ zaczyna pracować jako stabilizator prądu.

Kondensator C3 służy jako kompensacja częstotliwościowa. Należy go stosować aby układ zachowywał się stabilnie. Jego wartość należy tak dobrać aby nie było wzbudzeń w całym zakresie napięć wyjściowych i obciążeń.

Elementy R18 i D5 służą do zabezpieczenia wejścia wzmacniacza operacyjnego U1 przed zbyt dużym napięciem wejściowym (przekraczającym napięcie zasilania). W analogiczny sposób można zbudować układ stabilizatora napięcia ujemnego.

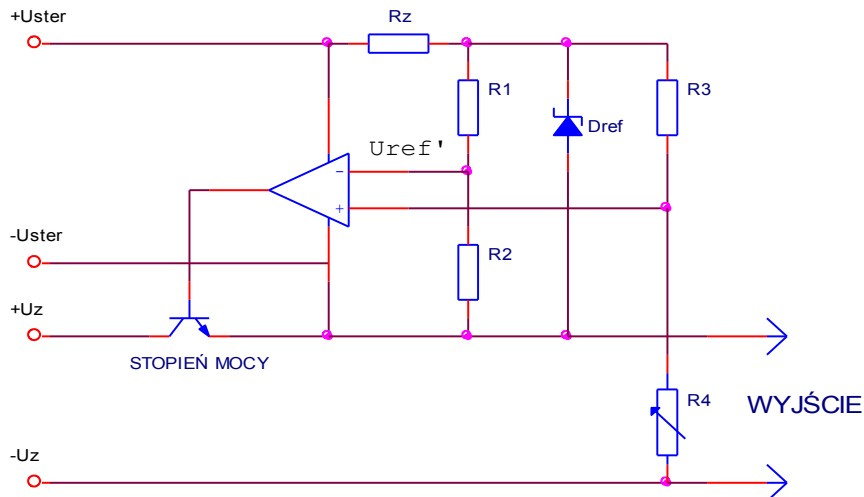
Drugim sposobem regulacji napięcia wyjściowego jest zmiana napięcia odniesienia. Metoda ta jest wyjątkowo korzystna, kiedy chcemy aby zasilacz był sterowany przez system komputerowy. Napięcie odniesienia uzyskujemy stosując przetwornik C/A.



Rys. 2.18 Układ sterowanego napięcia odniesienia.

W powyższym układzie musimy użyć wzmacniacz odwracający gdyż omawiany układ stabilizatora wymaga ujemnego napięcia odniesienia. Układ ten można użyć zamiast diody D1 i polaryzującego rezystora R12. Musimy teraz wartość rezystora R1 ustalić na wartość maksymalną czyli dla 50V – 200KΩ. Napięcie Uref powinno zmieniać się w granicach 0-2.5V.

Istnieje jeszcze inna konfiguracja stabilizatora regulowanego od 0V.



Rys. 2.19 Schemat blokowy regulowanego stabilizatora napięcia z dodatkowym dodatnim napięciem pomocniczym.

Napięcie wyjściowe:

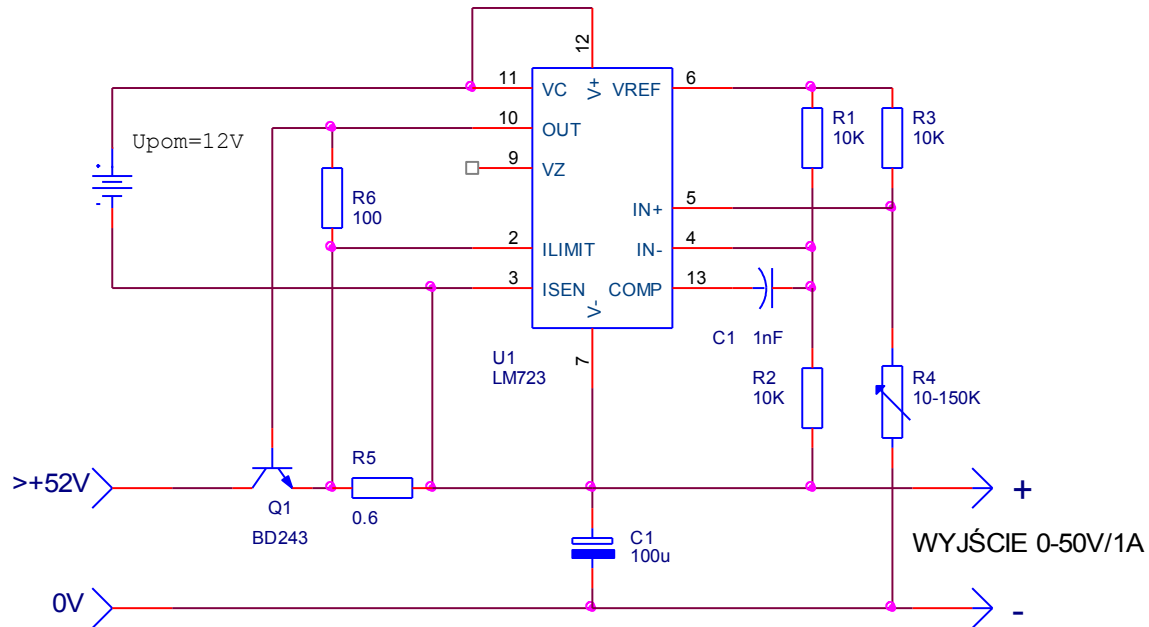
$$U_{wy} = \frac{R_4 \cdot (U_1 - U_2)}{R_3} - U_2$$

$$U_1 = U_{ref}$$

$$U_2 = U_{ref} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} ;$$

Wadą tego rozwiązania jest to że masa układu sterującego połączona jest z dodatnim wyjściem stabilizatora. Takie rozwiązanie powoduje większą

podatność na zakłócenia jak również praktycznie uniemożliwia to sterowanie stabilizatora przez układ zewnętrzny (np. układ procesorowy). Pozytywną stroną tego rozwiązania jest to że można użyć uniwersalnego scalonego regulatora napięcia (np. LM723):



Rys. 2.20 Schemat stabilizatora regulowanego z wykorzystaniem układu scalonego LM723.

Napięcie wyjściowe wynosi:

$$U_{wy} = 3,575 \cdot \left(\frac{R_4}{R_3} - 1 \right) ;$$