

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA

im. Stanisława Staszica

Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki,

Katedra Elektroniki



Zasilacze i stabilizatory liniowe

Opracował:
Maciej Obszarny

Spis treści:

1. Wprowadzenie do zasilaczy prądu stałego	3
1. 1. Podstawowe wiadomości z elektrotechniki.....	3
2. Architektura zasilaczy	5
2. 1. Dobór transformatora i bezpiecznika	5
2. 1. 1. Uzyskanie symetrycznych napięć zasilających.....	6
2. 2. Podstawowe parametry i rodzaje prostowników wraz z zastosowaniami.....	7
2. 3. Filtracja tętnień.....	9
2. 3. 1. Filtr pojemnościowy z pojedynczym kondensatorem.....	9
2. 3. 2. Obwód filtrujący RC	10
3. Scalone stabilizatory napięcia i ich podstawowe aplikacje	11
3. 1. Stabilizatory ciągłe serii 78xx i 79xx	11
3. 2. Stabilizatory ciągłe LM317 i LM337.....	12
3. 3. Stabilizatory ciągłe typu LDO.....	14
3. 4. Zabezpieczenia przeciwprzepięciowe stabilizatorów ciągłych.....	16
4. Sygnalizatory napięć i przepalonych bezpieczników	17
5. Chłodzenie zasilacza	19
6. Bibliografia.....	21

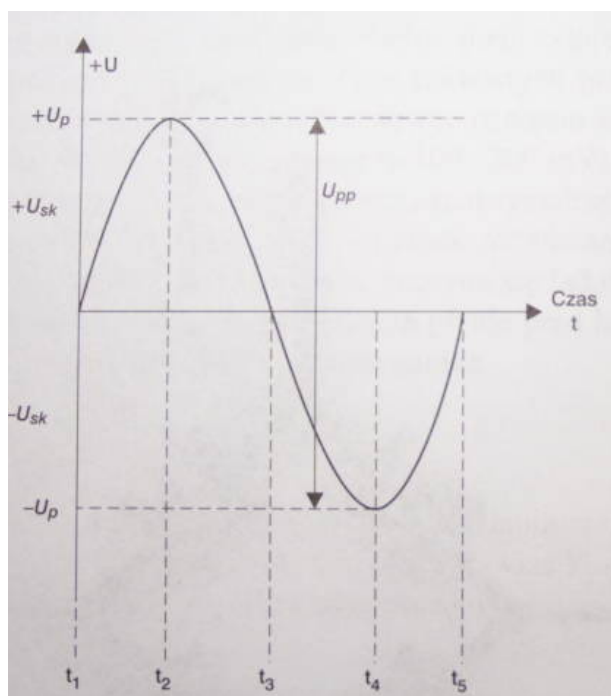
1. Wprowadzenie do zasilaczy prądu stałego

Zasilacz jest jednym z podstawowych i zarazem najważniejszych komponentów urządzenia elektrycznego. Zachowanie odpowiednich parametrów prądu i napięcia zasilającego jest niejednokrotnie kluczowym zagadnieniem na etapie projektowania precyzyjnych układów analogowych lub pomiarowych. Można powiedzieć, że technika cyfrowa nie narzuca aż tak wysokich obostrzeń, jednak bez względu na to każdy elektronik powinien znać podstawowe zagadnienia dotyczące tej tematyki. Niniejsze opracowanie ma na celu przedstawienie podstaw i zwrócenie uwagi na najistotniejsze zjawiska, z którymi może spotkać się każdy projektant urządzeń elektrycznych.

1. 1. Podstawowe wiadomości z elektrotechniki

Zanim przedstawiona zostanie architektura i sposoby konstrukcji prostych zasilaczy zostaną wprowadzone podstawowe pojęcia, z którymi czytelnik spotka się w dalszych częściach niniejszego opracowania.

Napięcie przemiennie to napięcie bez składowej stałej, rys. 1.1.



Rys. 1.1. Przebieg sinusoidalny i jego parametry. Źródło: [1].

Wartość skuteczna U_{sk} (z ang. **RMS – Root Mean Square [wartość średniokwadratowa]**) jest taką wartością napięcia stałego, która w ciągu czasu równego okresowi prądu przemiennego spowoduje wydzielenie takiej samej ilości ciepła, co dany sygnał prądu przemiennego. Analogiczną definicję stosuje się do prądu.

Dla dowolnego przebiegu okresowego wartość skuteczną U_{sk} można obliczyć z zależności (1.1):

$$U_{sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt}, \quad (1.1)$$

która w przypadku napięcia sinusoidalnego upraszcza się do wzoru (1.2):

$$U_{sk} = \frac{U_p}{\sqrt{2}}, \quad (1.2)$$

gdzie U_p to wartość szczytowa napięcia, czyli maksymalna wartość (amplituda) napięcia względem potencjału odniesienia (przeważnie 0V) w danym przedziale czasowym.

Wartość międzyszczytowa U_{pp} jest to różnica pomiędzy dwoma wartościami szczytowymi.

Napięcie zmienne w polskiej sieci energetycznej ma kształt sinusoidy o częstotliwości **50Hz** i wartości skutecznej **230V (+/- 10%)**.

Współczynnik tętnień to stosunek wartości skutecznej składowej zmiennej napięcia do jego wartości średniej (1.3):

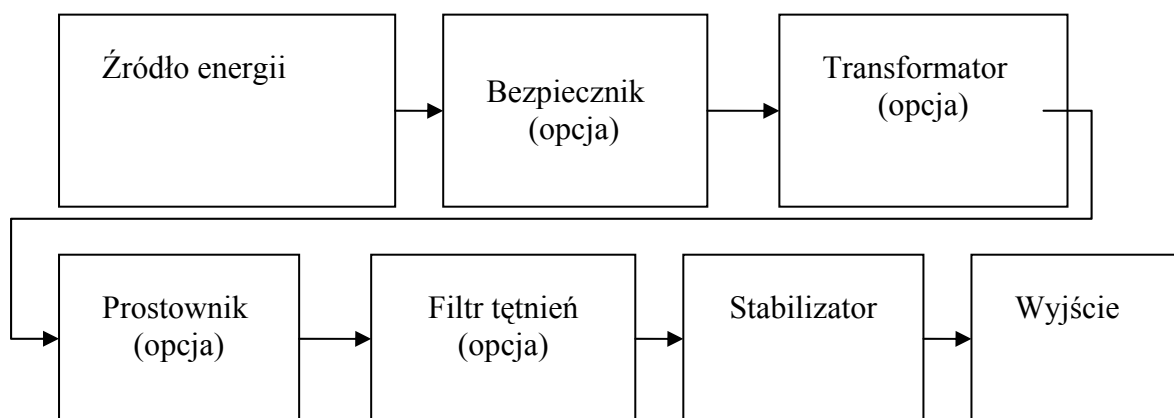
$$\Gamma = \frac{U_{zm}}{U_o} \quad (1.3).$$

Podczas konstruowania, obsługi lub naprawy układów zasilaczy **należy zachować wszelkie zasady bezpieczeństwa pamiętając**, że „bezpiecznym” napięciem stałym są 24V, a zmiennym 48V. Oprócz tego należy mieć na uwadze, iż **wszelkiego rodzaju obrażenia powodowane są przepływem prądu przez organizm**, a nie stricte wysokością napięcia, z którym mamy do czynienia. Z pomocą w wyjaśnieniu przychodzi tutaj prawo Ohma ($I=U/R$). W związku z powyższym istnieje realne zagrożenie porażenia prądem przy pracy z „bezpiecznymi” napięciami, ale za to z dużą wydajnością prądową. Swoje szanse na odniesienie obrażeń zwiększamy podczas pracy w wilgotnym i słonym środowisku (np. pot na dłoniach) lub gdy mamy uszkodzony naskórek (skóra ludzka ma rezystancję o wartości 1-20k Ω , natomiast tkanki tylko 50 Ω). Dla zobrazowania powagi problemu przedstawiono listę skutków przepływu prądu przez organizm w funkcji jego wartości:

- 1 – 5mA – poziom odczuwania,
- 10mA – poziom bólu,
- 100mA – poważny skurcz mięśni,
- 100 – 300mA – porażenie śmiertelne.

2. Architektura zasilaczy

Każdy zasilacz składa się z kilku podstawowych bloków (rys. 2.1):



Rys. 2.1. Typowa architektura prostego zasilacza.

W przedstawionym przykładzie źródłem energii może być sieć energetyczna, bateria, akumulator, ogniwo itp.[1]. W zależności od wymogów projektowych w zasilaczach możemy spotkać również transformatory, prostowniki, filtry tętnień lub inne moduły. Natomiast praktycznie zawsze występuje układ stabilizatora napięcia/prądu wyjściowego.

W dalszej części tego rozdziału omówione zostaną od strony praktycznej zagadnienia związane z doбором odpowiedniego transformatora, prostownika i filtra tętnień. Wszelkiego rodzaju aspekty teoretyczne związane z w/w elementami omówione zostały w pracach [2,3].

2. 1. Dobór transformatora i bezpiecznika

Jednym z pierwszych kroków na drodze do zaprojektowania własnego zasilacza jest określenie źródła, z którego będziemy pobierać energię. Następnie należy zdecydować czy jest potrzebny transformator, a jeśli tak, to jakiego rodzaju.

Transformator to element bierny służący do zamiany przemiennych napięć i prądów wejściowych na przemiennie napięcia i prądy wyjściowe o z reguły innej wartości. Zamiana ta dokonuje się za pośrednictwem pola magnetycznego i przy spełnieniu zasady zachowania energii (element idealny nie wykazuje strat). Oznacza to, że dysponując określoną mocą na wejściu nie możemy uzyskać większej mocy na wyjściu. Podstawowymi parametrami transformatora są moc pozorna (wyrażana w VA) i przekładnia, która definiuje stosunek napięć i prądów po stronie pierwotnej (wejściowej) i wtórnej (wyjściowej) (2.1):

$$n = \frac{U_p}{U_w} = \frac{I_w}{I_p} \quad (2.1),$$

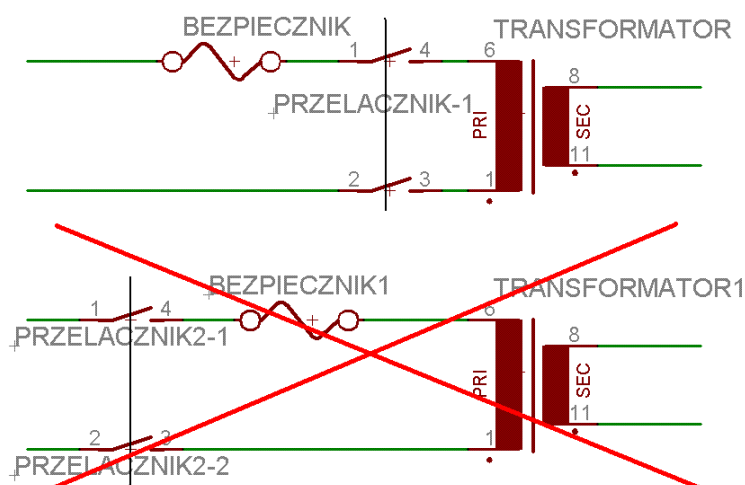
gdzie U_p i I_p to przebiegi po stronie pierwotnej, a U_w i I_w to przebiegi po stronie wtórnej. Należy pamiętać, że producent podaje napięcia po stronie pierwotnej i wtórnej **wartościach skutecznych**.

Jeśli zapadła decyzja o zastosowaniu transformatora należy skupić się na wyborze rodzaju i odpowiednich parametrów – może to być zwykły transformator sieciowy, toroidalny, pod-

wyższający napięcie, obniżający napięcie itp. [2]. Dla projektanta prostych zasilaczy najistotniejszymi parametrami są napięcie po stronie pierwotnej i wtórnej oraz wydajność prądowa.

Napięcie po stronie wtórnej należy dobierać tak, aby było co najmniej równe pożądanemu poziomowi napięcia wyjściowego zasilacza (ta zależność jest jeszcze modyfikowana przez układy prostownika i filtra tętnień, patrz rozdział 2.2 i 2.3). W przypadku wydajności prądowej zasada jest nieco prostsza – należy dbać o to, **aby maksymalna wydajność prądowa była przynajmniej 1,5 raza większa od zakładanego obciążenia**. Takie rozwiązanie zapobiegnie ew. przegrzaniu i spaleniu transformatora.

Oprócz tego warto zabezpieczyć się przed spaleniem transformatora umieszczając po stronie pierwotnej bezpiecznik (po stronie wtórnej przeważnie istnieje inne zabezpieczenie). Jego wartość możemy obliczyć ze wzoru (2.1) znając prąd obciążenia i mnożąc wynik przez kilkukrotny margines (przynajmniej 2-3x). Przeważnie stosuje się bezpieczniki zwłoczne [2]. Wbrew pozorom kolejność pozycjonowania bezpiecznika jest istotna – zaleca się umieszczenie zabezpieczenia przed głównym wyłącznikiem ze względu na to, iż istnieje ryzyko wystąpienia przebicia pomiędzy zerem, a fazą w obwodzie przełącznika (dotyczy to urządzeń przełączających jednocześnie dwa bieguny zasilające). W takiej sytuacji bezpiecznik w ogóle nie zadziała, przez co może dojść do pożaru wynikającego z przepalenia instalacji elektrycznej. Poprawną i niepoprawną konfigurację połączeń przedstawiono na rys. 2.1.

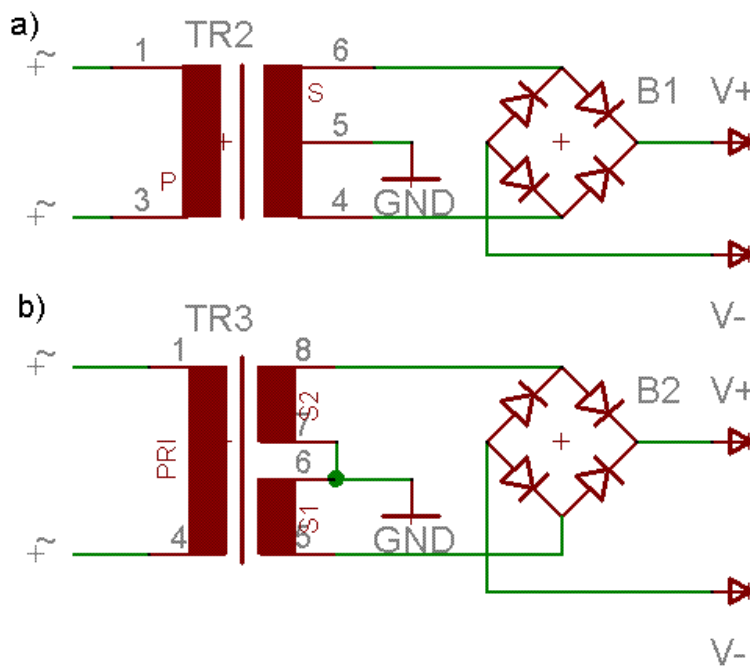


Rys. 2.1. *Poprawne i niepoprawne podłączenie bezpiecznika w obwodzie pierwotnym transformatora.*

2. 1. 1. Uzyskanie symetrycznych napięć zasilających

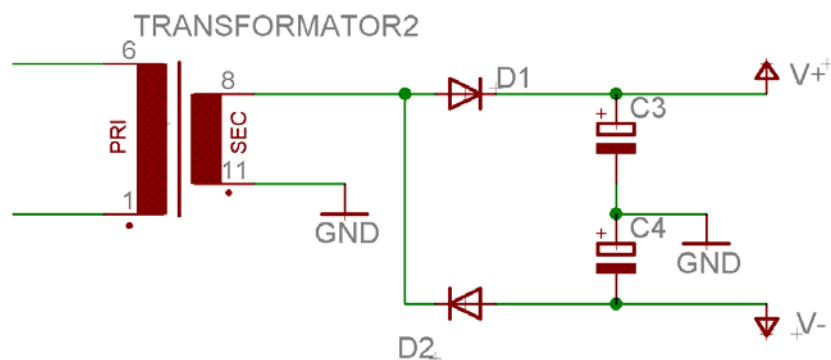
Jeśli chcemy uzyskać pojedyncze napięcie zasilające, tj. masę i pożądaną poziom wyjściowy V_{out} , to stosujemy klasyczny transformator z jednym uzwojeniem wtórnym bez odczepu (taki, jak pokazany na rys. 2.1).

W przypadku, gdy istnieje potrzeba uzyskania napięcia dodatniego i ujemnego względem masy (w szczególnym wypadku na napięciu symetrycznym) należy zastosować transformator z jednym uzwojeniem wtórnym i odczepem (rys. 2.2a) lub kilkoma uzwojeniami wtórnymi, połączonymi w sposób pokazany na rys. 2.2b, aby utworzyć węzeł stanowiący masę.



Rys. 2.2. Metody uzyskania napięć dodatnich i ujemnych względem masy z wykorzystaniem mostka Greatza.

Istnieje również inny sposób uzyskania symetrycznego napięcia bez konieczności użycia transformatora z odczepem lub kilkoma uzwojeniami wtórnymi. Rysunek 2.3 przedstawia aplikację z prostownikiem jednopółwkowym, jednak ze względu na niską efektywność takie rozwiązanie nie jest stosowane. Oprócz tego należy pamiętać, że w takiej konstrukcji absolutnie niezbędnym elementem jest filtr tętnień (choćby w postaci samych kondensatorów, tak jak na rys. 2.3). Więcej informacji na ten temat znajduje się w rozdziale 2.3.

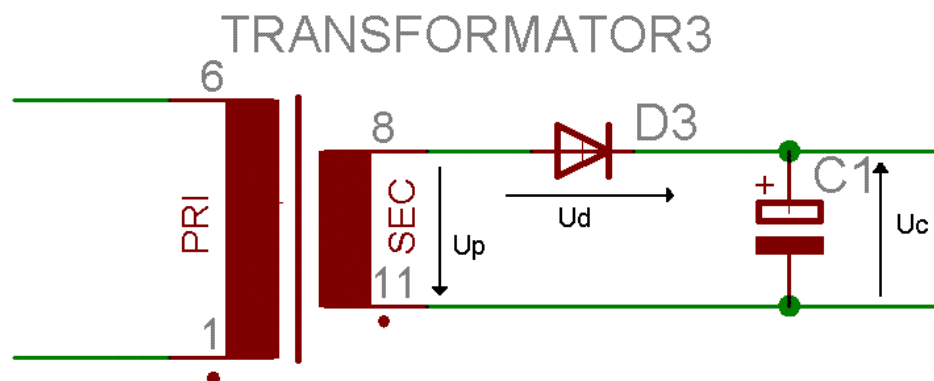


Rys. 2.3. Alternatywna metoda uzyskania symetrycznego napięcia.

2. 2. Podstawowe parametry i rodzaje prostowników wraz z zastosowaniami

Dla projektanta zasilacza najważniejszymi parametrami prostowników są **maksymalny prąd przewodzenia i maksymalne napięcie wsteczne**. W przypadku tego pierwszego istnieje zasada, że mostek powinien przepuścić **prąd przynajmniej 1,5x większy** od zakładanego obciążenia.

Problem doboru maksymalnego napięcia wstecznego prostownika wiąże się z zastosowanym filtrem tętnień (rys. 2.4).



Rys. 2.4. Ilustracja problemu doboru napięcia wstecznego prostownika.

Najczęściej w roli filtra tętnień występuje kondensator elektrolityczny o dużej pojemności. W czasie połowy okresu napięcia wtórnego, w której amplituda jest dodatnia, napięcie na diodzie D3 jest bliskie zero. Jednak w trakcie trwania drugiej połowy, kiedy amplituda jest ujemna, na diodzie odkłada się napięcie równe dwóm wartościom szczytowym napięcia wtórnego (rys. 2.4). Z tego powodu napięcie rewersyjne powinno być przynajmniej 2,83x większe od wartości skutecznej napięcia po stronie wtórnej (przeważnie stosuje się przelicznik 3,4x).

W przypadku braku filtra tętnień stosuje się zwykle 20% margines bezpieczeństwa, tj. napięcie rewersyjne powinno być przynajmniej 1,7x większe od wartości skutecznej napięcia po stronie wtórnej.

Ostatnią ważną rzeczą, o której należy pamiętać, jest występowanie pewnego spadku napięcia na prostowniku, co powoduje, iż na wyjściu mamy trochę niższy potencjał niż ten uzyskiwany przez uzwojenie wtórne transformatora. Przyczyna tego zjawiska wiąże się z występowaniem spadku napięcia na diodzie przy polaryzacji w kierunku przewodzenia. Tabela 2.1 zawiera parametry typowych mostków prostowniczych.

Symbol	V_{RRM} [V]	V_{RMS} [V]	V_{DC} [V]	$I_{(AV)}$ [A]	V_F [V]	Obudowa
DB107	1000	700	1000	1	1,1	DIL-4
2KBP01	100	-	-	2	1	D-44
2KBP10	1000	-	-	2	1	D-44
KBPC110	1000	-	-	3	1,1	D-46
KBPC610	1000	-	-	6	1,2	D-46

Tab. 2.1. Parametry popularnych mostków prostowniczych.

V_{RRM} – maksymalne powtarzalne napięcie wsteczne

V_{RMS} – maksymalne skuteczne napięcie wejściowe

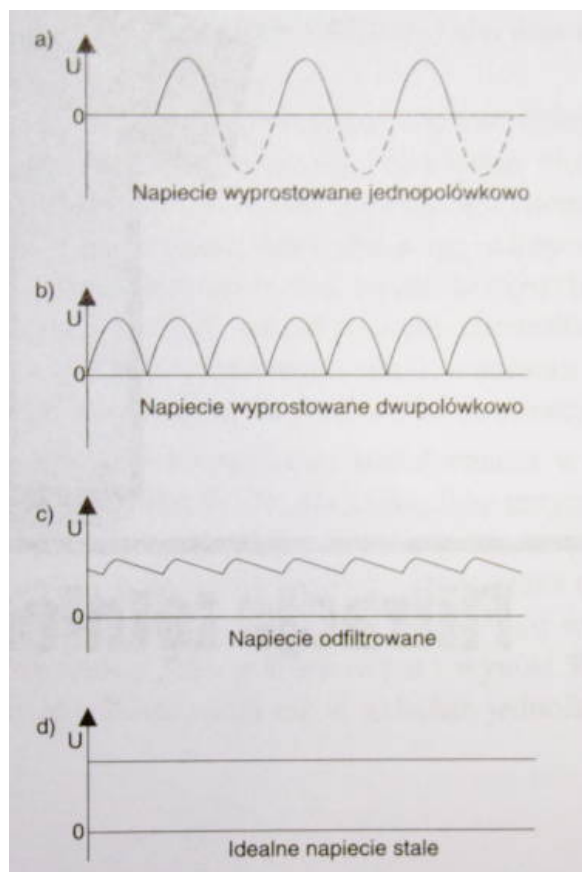
V_{DC} – maksymalne stałe napięcie wsteczne

$I_{(AV)}$ – maksymalny średni prąd przewodzenia

V_F – napięcie przewodzenia

2. 3. Filtracja tętnień

Kształt napięcia na wyjściu prostownika jedno lub dwupołówkowego jest daleki od idealnej, poziomej linii (rys. 2.5a i b). Aby wyeliminować tę niedogodność, co ma podstawowe znaczenie w układach akustycznych i pomiarowych, stosuje się różnego rodzaju filtry tętnień. W niniejszym opracowaniu przedstawione zostaną dwa najprostsze: filtr pojemnościowy z pojedynczym kondensatorem oraz filtr RC. Pozostałe stosowane układy są szerzej opisane w [1].



Rys. 2.5. Przebiegi występujące w zasilaczu. Źródło: [1]

2. 3. 1. Filtr pojemnościowy z pojedynczym kondensatorem

Zastosowanie kondensatora elektrolitycznego o odpowiednio dużej wartości zaraz za prostownikiem (rys. 5a) może znacznie zredukować tętnienia i przybliżyć przebieg napięcia do postaci z rysunku 6c. Odpowiednią wartość pojemności możemy obliczyć z gotowego wzoru (2.2) zakładając pożądaną współczynnik tętnień (zawsze poniżej 10%):

$$C[\mu F] = \frac{1000000}{2\sqrt{3}f[Hz]\Gamma R_L[\Omega]} \quad (2.2),$$

gdzie:

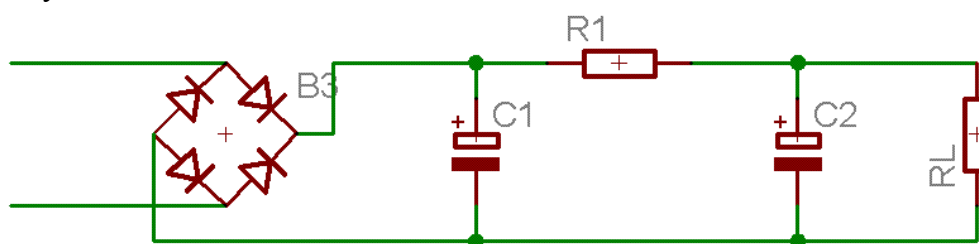
- f to częstotliwość tętnień (50Hz dla prostownika dwupołówkowego i 100Hz dla jednopółkowego),
- Γ to zakładany współczynnik tętnień,
- R_L to wartość rezystancji obciążenia: $R_L = U_O / I_O$.

Istnieje również bardziej praktyczna reguła, która mówi, iż na każdy 1A prądu obciążenia należy stosować kondensator o pojemności co najmniej 1000 μ F.

Ważnym krokiem jest dobór maksymalnego napięcia roboczego kondensatora. Minimalny margines to 20% odchyłu od amplitudy napięcia, czyli 1,7x wartości skutecznej.

2. 3. 2. Obwód filtrujący RC

Istnieją urządzenia o szczególnej wrażliwości na wszelkiego rodzaju zakłócenia w napięciu zasilającym. W takich wypadkach stosowanie pojedynczego kondensatora jest często niewystarczające (ze względu na konieczność użycia ogromnej pojemności), przez co konstruktorzy decydują się na inne rozwiązania. Jednym z nich jest prosty obwód filtrujący RC przedstawiony na rys. 2.6.



Rys. 2.6. Prosty filtr RC.

Zapewnia on dalszą redukcję współczynnika tętnień, jednak odbywa się to kosztem zwiększenia rezystancji szeregowej o wartość R_1 , co ogranicza stosowanie tego układu do urządzeń o niskim i stałym poborze prądu (przedwzmacniacze akustyczne itp.).

Wartości elementów należy dobrać korzystając ze wzorów:

$$\Gamma = \frac{1,44 * 10^{-5}}{C_1 C_2 R_1 R_L} \quad (2.3) \text{ dla prostownika jednopółkowego,}$$

$$\Gamma = \frac{3,6 * 10^{-6}}{C_1 C_2 R_1 R_L} \quad (2.4) \text{ dla prostownika dwupółkowego.}$$

Tabela 2.2 zawiera wzory na napięcia wyjściowe wyżej wymienionych filtrów:

Rodzaj filtra	Prostownik jednopółkowy	Prostownik dwupółkowy
Pojedynczy kondensator	$U_o = U_p - \frac{I_o}{100C}$	$U_o = U_p - \frac{I_o}{200C}$
Układ C-R-C	$U_o = U_p - I_o \left(\frac{1}{100C_1} + R_1 \right)$	$U_o = U_p - I_o \left(\frac{1}{200C_1} + R_1 \right)$

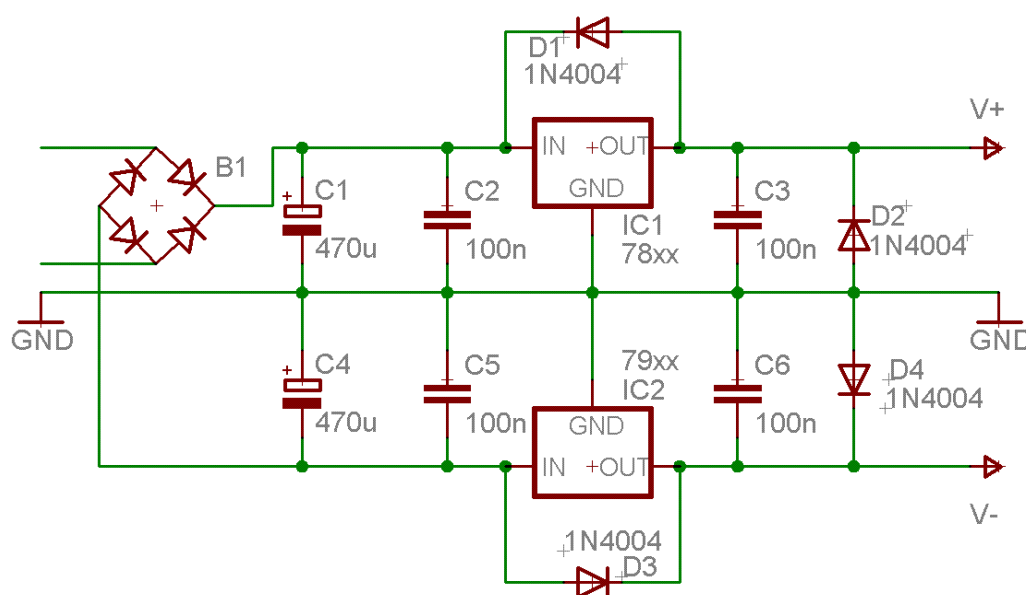
Tab. 2.2. Napięcia wyjściowe dla poszczególnych filtrów.

3. Scalone stabilizatory napięcia i ich podstawowe aplikacje

W nowoczesnych zasilaczach stosowane są praktycznie tylko scalone stabilizatory napięcia i z tego powodu niniejszy artykuł koncentruje się na najbardziej popularnych układach. W dalszej części omówione zostaną stabilizatory serii 78/79xx, LM317/337 oraz układy LDO wraz z ich podstawowymi aplikacjami.

3. 1. Stabilizatory ciągle serii 78xx i 79xx

Są to najprostsze trójkońcówkowe stabilizatory o ustalonym napięciu wyjściowym określonym przez ostatnie dwie cyfry w oznaczeniu (05, 08, 10, 12, 15, 24). Układy o numerach 78xx służą do stabilizacji napięć dodatnich względem masy, a 79xx do ujemnych. Typowa aplikacja tych stabilizatorów przedstawiona jest na rys. 3.1:



Rys. 3.1. Typowa aplikacja stabilizatorów 78xx i 79xx.

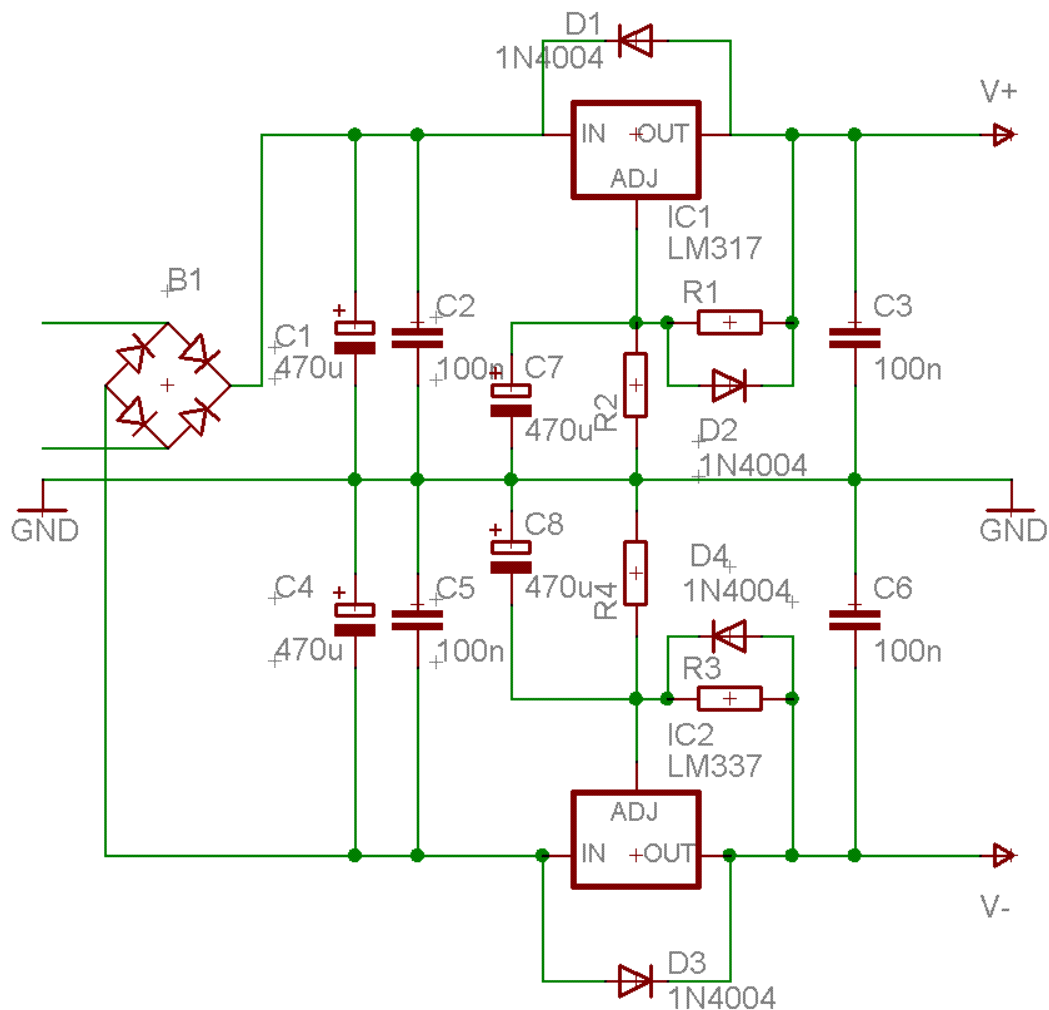
Kondensatory C2 i C3 służą do zwierania wysokoczęstotliwościowych zakłóceń i są standardem w aplikacjach stabilizatorów. Należy je umieszczać jak najbliżej wyprowadzeń układu (w sensie fizycznym, a nie topologicznym na schemacie).

Dioda D1 stanowi zabezpieczenie przeciwko zbyt wysokiemu napięciu wyjściowemu – taka sytuacja może mieć miejsce zaraz po wyłączeniu zasilania. Wtedy dioda zaczyna przewodzić i odprowadza „wsteczny” prąd z końcówki stabilizatora.

Dioda D2 stosowana jest do protekcji przed zmianą polaryzacji napięcia na wyjściu stabilizatora. Do takiej sytuacji może dojść, gdy stabilizator zasila elementy pracujące z bipolarnym napięciem zasilającym - podczas zwarcia lub uruchamiania urządzenia może dojść do zmiany polaryzacji napięcia na wyjściu stabilizatora (por. [5]).

Rola poszczególnych elementów obwodu stabilizatora 79xx jest analogiczna do obwodu 78xx.

Rysunek 3.3 przedstawia aplikację stabilizatorów LM317 i LM337 z redukcją współczynnika tętnień i zastosowaniem diod zabezpieczających.



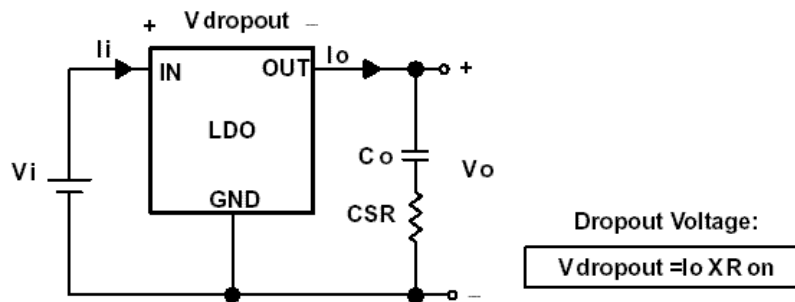
Rys. 3.3. Bardziej zaawansowana aplikacja układów LM317 i LM 337.

Rolę kondensatorów C1-C6 oraz diod D1 i D3 opisano w rozdziale 3.1. W innym miejscu pojawiła się dioda D2 (por. rys. 3.1) – jest to spowodowane umieszczeniem kondensatora C7 w obwodzie źródła referencyjnego o wartości 1,25V. Jej podstawową funkcją jest odprowadzanie prądów rozładowania kondensatora C7, natomiast sam element pojemnościowy służy do redukcji zakłóceń w napięciu wyjściowym.

Zabezpieczenia wewnętrzne są takie same, jak w przypadku stabilizatorów 78xx/79xx - protekcja termiczna i przeciwzwarceniowa. Również minimalna różnica potencjałów pomiędzy wejściem, a wyjściem wynosi 3V.

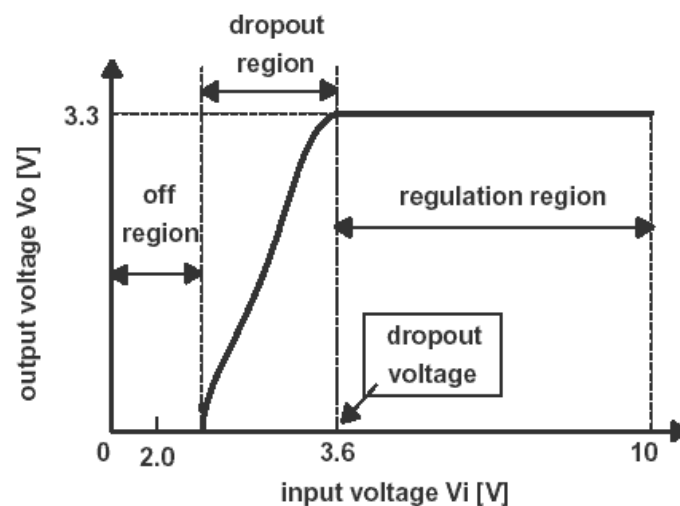
3. 3. Stabilizatory ciągle typu LDO

W układach 78/79xx oraz LM317/337 napięcie pomiędzy wejściem, a wyjściem (tzw. Dropout Voltage) musi wynosić co najmniej 3V. Poniżej tej wartości stabilizator w ogóle nie działa, co jest podstawową wadą tych elementów – ze względu na straty mocy nie nadają się do zastosowania we współczesnych urządzeniach zasilanych bateryjnie. Tymczasem układy LDO (Low Dropout Voltage, rys. 3.4) umożliwiają spadek tego potencjału nawet do kilkudziesięciu miliwoltów (np. MAX8563 – 56mV).



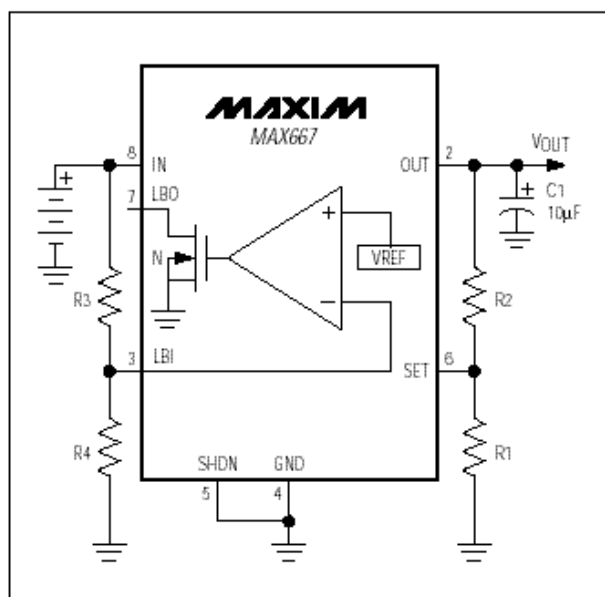
Rys. 3.4. Typowa aplikacja stabilizatora LDO. Źródło: [4]

Jest to możliwe dzięki zastosowaniu tranzystora PMOS jako elementu przepuszczającego prąd, który po przekroczeniu minimalnej wartości Dropout Voltage staje się rezystorem o wartości R_{DSON} i przepuszcza napięcie wejściowe na wyjście (rys. 3.5) z uwzględnieniem spadku na R_{DSON} ($U_{RDSON} = I_o * R_{DSON}$). Dzięki temu nie musimy dbać o odpowiednią wysokość potencjału wejściowego i jednocześnie obawiać się strat mocy. Ta zaleta bezpośrednio wskazuje potencjalne zastosowanie – zasilacze bazujące na bateriach, akumulatorach itp.



Rys. 3.5. Charakterystyka pracy stabilizatorów LDO. Źródło: [4].

Jednym z bardziej rozbudowanych (i zarazem droższych) programowalnych stabilizatorów LDO jest układ MAX667. Dostępny w obudowie DIP-8 posiada szereg interesujących wejść i wyjść sterujących, takich jak opcja wyłączenia, sygnalizacji zużycia baterii i wyboru napięcia wyjściowego z zakresu 3,5-16,5V. Rysunek 3.6 przedstawia przykładową aplikację tego stabilizatora.



Rys. 3.6. Przykładowa aplikacja układu MAX667. Źródło: [6].

Regulację napięcia wyjściowego uzyskuje się podłączając dzielnik rezystorowy (R_1 , R_2 na rys. 3.6) do pinu SET, którego potencjał ustalony jest na poziomie 1,22 V. Napięcie wyjściowe wyraża się wzorem:

$$V_{OUT} = V_{SET} \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad (3.3).$$

Ze względu na niski pobór prądu wejścia SET (ok. 10nA) wartości rezystorów mogą być znaczne - typowo R_1 wynosi 1M Ω . Gdy SET zostanie podłączone bezpośrednio do masy, to napięcie wyjściowe ustali się na poziomie 5V.

Stabilizator MAX667 może zostać wprowadzony w tryb czuwania poprzez podanie na wejście SHDN napięcia większego niż 1,5V. W tym trybie wyjście OUT jest odłączone i pobór prądu układu spada poniżej 1 μ A.

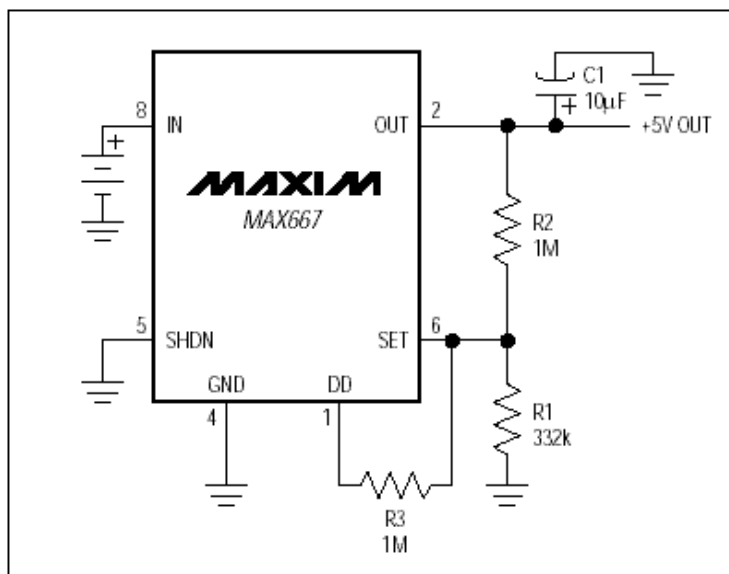
Bardzo użyteczną funkcją jest detekcja niskiego poziomu naładowania baterii. Jeśli napięcie na wejściu LBI spadnie poniżej wartości referencyjnej 1,22V, to tranzystor FET na rys. 3.6 zostanie włączony i zewrze wyjście LBO do masy. Zastosowanie dzielnika rezystorowego (R_3 i R_4) umożliwi regulację poziomu napięcia odniesienia zgodnie ze wzorem:

$$V_{odn.} = V_{LBI} \frac{R_3 + R_4}{R_4} \quad (3.4).$$

Podobnie jak dla wejścia SET, niski prąd wejściowy LBI (ok. 10nA) umożliwia zastosowanie sporych rezystancji R_3 i R_4 .

Ostatnim ważnym wyprowadzeniem jest wyjście DD (pin nr 1). Końcówka ta połączona jest z otwartym kolektorem wewnętrznego tranzystora PNP i związana z funkcją detektora spadku napięcia Dropout Voltage (por [6]). Gdy różnica potencjałów pomiędzy wejściem, a wyjściem spada poniżej 300mV (co jest równoznaczne z końcem czasu życia baterii), to tranzystor PNP zaczyna przewodzić. Podłączenie wyprowadzenia DD poprzez rezystor o wartości ok. 100k Ω do masy umożliwi monitorowanie napięcia Dropout Voltage przez zewnętrzne obwody.

Rysunek 3.7 przedstawia inne zastosowanie wyjścia DD.



Rys. 3.7. Przykładowe zastosowanie wyjścia Dropout Detector. Źródło: [6].

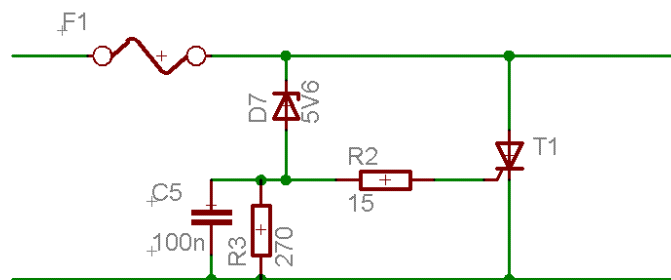
Zasada działania powyższego obwodu jest następująca: spadek Dropout Voltage (np. na skutek rozładowania baterii) spowoduje odpowiednio obniżenie potencjału V_{SET} i napięcia wyjściowego V_{OUT} . Jest to konieczne, ponieważ w przypadku, gdy ustalone V_{OUT} zaczyna być większe od V_{IN} , to stabilizator pobiera prąd dochodzący do 10mA – jest to konsekwencja wewnętrznej konstrukcji układu (por. [6]). Rozwiązanie z rysunku 3.7 zapobiega nadmiernemu wzrostowi pobieranego prądu i umożliwia wykorzystanie baterii do granic możliwości.

Pozostałe konfiguracje pracy opisane są w karcie katalogowej stabilizatora [6].

3. 4. Zabezpieczenia przeciwprzepięciowe stabilizatorów ciągłych

Napięcie wejściowe stabilizatora jest zawsze wyższe od napięcia wyjściowego. Gdyby doszło do przepięcia, tj. przyłożenia potencjału z wejścia na wyjście, mogłoby dojść do uszkodzenia zasilanego urządzenia (takie sytuacje zdarzają się, gdy np. spalimy stabilizator). Aby uniknąć poważnych konsekwencji stosuje się moduły zabezpieczające podłączone do wyjścia stabilizatora.

Jednym z prostych obwodów przeciwprzepięciowych jest układ z diodą Zenera i tyrystorem (rys. 3.8). Gdy napięcie wejściowe przekroczy napięcie Zenera, dojdzie do załączenia (zwarcia) tyrystora, co spowoduje przepalenie bezpiecznika F1.

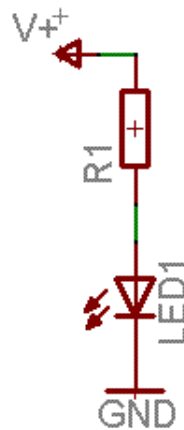


Rys. 3.8. Prosty układ zabezpieczający przed przepięciami.

4. Sygnalizatory napięć i przepalonych bezpieczników

W projektowanych urządzeniach warto zastosować sygnalizatory napięć wyjściowych i przepalonych bezpieczników, ponieważ w przypadku wystąpienia awarii potrafią szybko wskazać lub wyeliminować przyczynę ze strony obwodu zasilającego.

Typowy układ wskaźnika napięcia wyjściowego przedstawia rysunek 4.1.



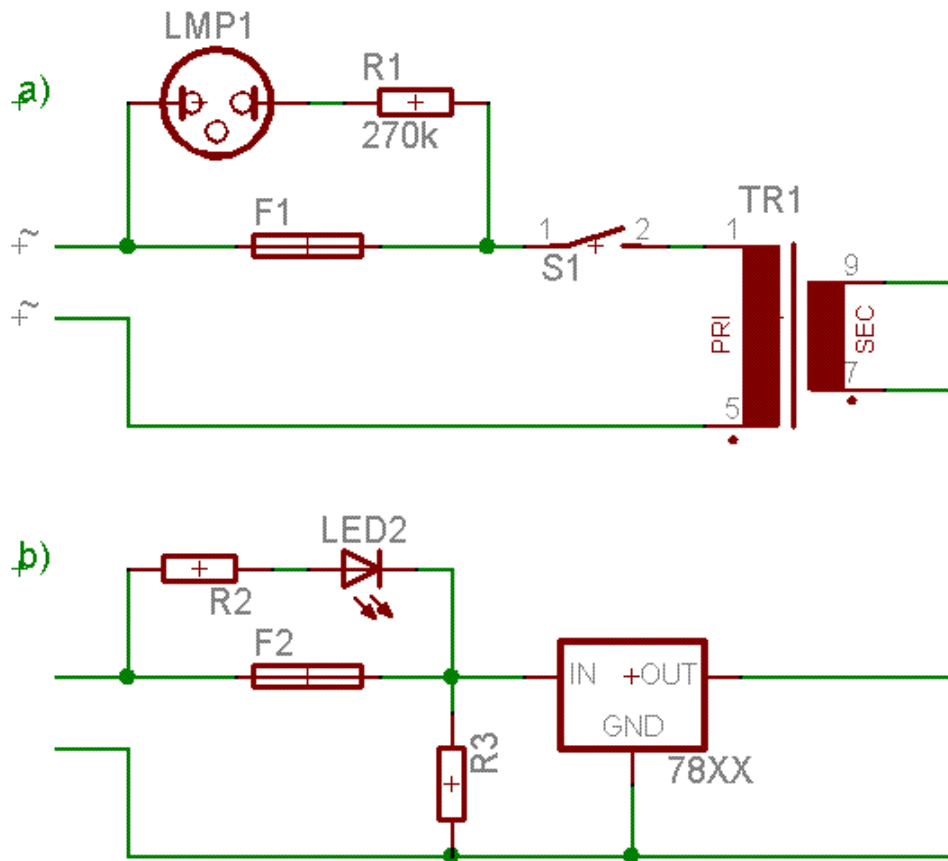
Rys. 4.1. Wskaźnik napięcia z diodą LED.

Elementem sygnalizacyjnym jest dioda LED D1 połączona szeregowo z rezystorem ograniczającym prąd R1. Wartość rezystora należy dobrać tak, aby przy znanym napięciu zasilającym U_O i napięciu przewodzenia diody U_D przepływał przez nią prąd I_D z zakresu 10-15mA (dokładne wartości znajdują się w kartach katalogowych producenta diody). Odpowiedni wzór opisujący te zależności można wyprowadzić za pomocą napięciowego prawa Kirchoffa:

$$R_1 = \frac{U_O - U_D}{I_D} \quad (4.1).$$

W przypadku zasilaczy wysokonapięciowych sygnalizatorem są lampki neonowe, których napięcie pracy przekracza 67V (w zależności od typu). Schemat obwodu i sposób wyznaczania wartości rezystora R1 jest taki sam, jak w przypadku wskaźnika z diodą LED.

Rysunek 4.2 przedstawia obwody sygnalizatorów przepalonych bezpieczników dla napięcia zmiennego (4.2a) i stałego (4.2b). Gdy bezpiecznik nie jest przepalony, zwiera obwód lampki neonowej (LMP1) lub diody LED i sygnalizator nie świeci się. Po przepaleniu bezpiecznika na jego zaciskach wystąpi różnica potencjałów, o czym poinformuje zastosowany wskaźnik.



Rys. 4.2. Sygnalizacja przepalonego bezpiecznika w obwodzie prądu zmiennego (a) i prądu stałego (b).

W obwodzie z rysunku 4.2b zastosowano rezystor R3, aby zapewnić kontakt z masą w przypadku, gdy stabilizator ulegnie nietypowemu uszkodzeniu. W takiej konfiguracji wzór 4.1 musi ulec przekształceniu do postaci:

$$R_2 + R_3 = \frac{U_o - U_D}{I_D} \quad (4.2),$$

przy czym obliczona rezystancja powinna być podzielona na połowę pomiędzy rezystory R2 i R3. Podczas dobierania wartości rezystorów należy zwrócić uwagę na fakt, że zbyt niska rezystancja R3 spowoduje wystąpienie dużego poboru prądu ze źródła zasilającego.

Dla obwodu z rysunku 4.2a przy dobieraniu rezystancji obowiązuje wzór 4.1.

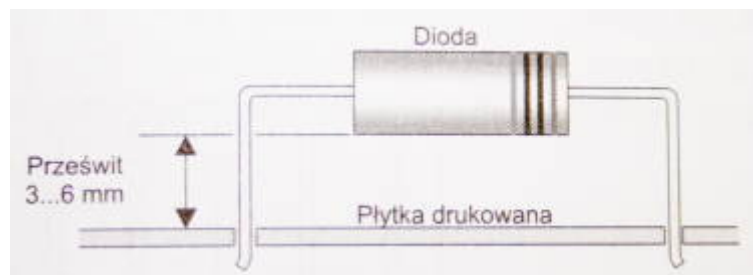
5. Chłodzenie zasilacza

Nadmierna temperatura jest jedną z głównych przyczyn uszkodzeń elementów elektronicznych. Praktyka wskazuje, że zwiększenie temperatury pracy urządzenia o 10°C powoduje skrócenie średniego czasu międzyawaryjnego (MTBF) o połowę. W urządzeniach o wysokiej wydajności prądowej i o dużym poborze mocy muszą być stosowane systemy chłodzenia, aby nie przekroczyć dopuszczalnej temperatury pracy wykorzystywanych elementów.

Istnieją trzy sposoby utrzymywania optymalnej temperatury pracy urządzeń:

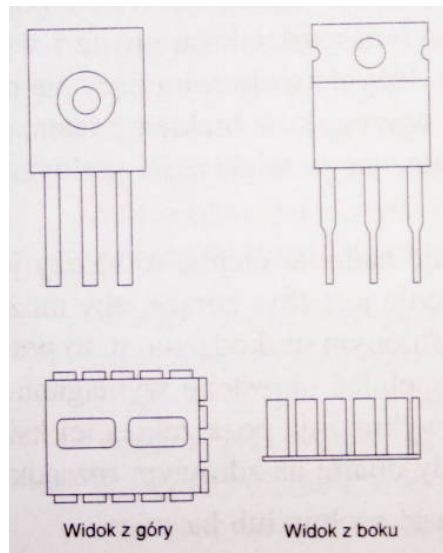
1. zastosowanie/poprawienie naturalnej wentylacji,
2. rozproszenie większej ilości ciepła za pomocą radiatorów,
3. zastosowanie aktywnego systemu chłodzenia powietrzem lub wodą.

W ramach pierwszej metody należy dbać o to, aby obudowa urządzenia posiadała wystarczającą ilość otworów wentylacyjnych. Istotne jest również rozmieszczenie wydzielających ciepło elementów na płytce PCB – wokół wzmacniaczy i stabilizatorów należy zostawić trochę wolnego miejsca celem zamontowania radiatora oraz usprawnienia obiegu powietrza. W przypadku zastosowania metalowej obudowy korzystnie jest umieścić aktywny element na krawędzi płytki i przykręcając go do obudowy wykorzystać dużą powierzchnię do odprowadzenia ciepła. Diody i rezystory mocy powinny być zamontowane powyżej powierzchni płytki drukowanej, jak na rys. 5.1.



Rys. 5.1. Prawidłowy sposób montażu diod i rezystorów mocy. Źródło: [1].

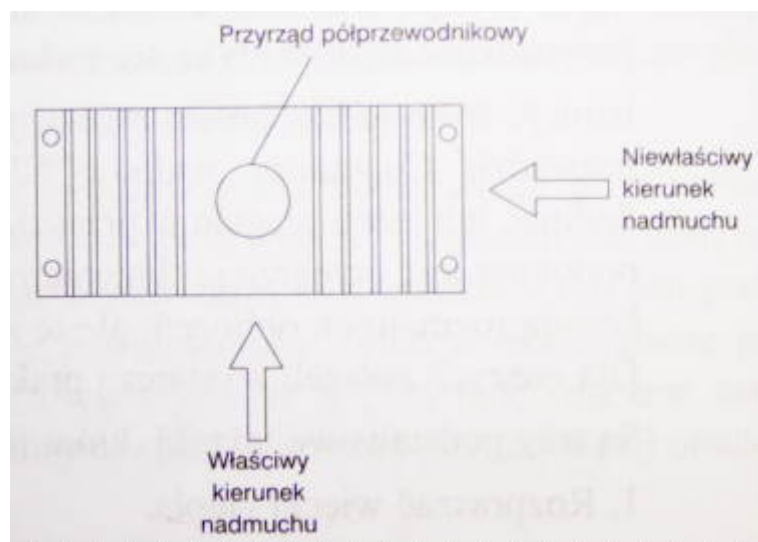
Kiedy naturalny obieg powietrza jest niewystarczający, należy zamontować radiatory na grzejące się elementy. W zasilaczach najbardziej podatne na uszkodzenie termiczne są stabilizatory napięcia lub tranzystory kluczujące (zasilacze impulsowe). W typowych aplikacjach stosuje się elementy w obudowie TO-220 i dla bezpieczeństwa zawsze warto zastosować radiator. Dla mocy do ok. 10W lub prądów wypływających do 1,5A (w przypadku stabilizatorów) wystarczy zastosować mały radiator z wygiętej blachy, rys. 5.2. Większe moce wymagają zastosowania uźebrowanych radiatorów o dużych gabarytach.



Rys. 5.2. Popularne radiatory dla obudowy TO-220. Źródło: [1].

Istotny jest sposób zamocowania radiatora – obudowę elementu należy posmarować pastą termoprzewodzącą i dobrze dokręcić śrubę montażową. W przypadku, gdy kilka elementów korzysta z jednego radiatora, pomiędzy obudowy i radiator należy włożyć izolacyjne podkładki mikowe – zazwyczaj obudowa połączona jest z jednym z wyprowadzeń układu i takie rozwiązanie zapobiega zwarciom lub przedostaniu się dużych potencjałów na radiator.

Układy o dużym poborze mocy wymagają stosowania aktywnych systemów chłodzenia. Najczęściej wykorzystuje się chłodzenie powietrzem wymuszając jego obieg za pomocą jednego lub kilku wentylatorów. Oprócz tego istotne jest zachowanie właściwego kierunku przepływu powietrza względem radiatorów, rys. 5.3. W przypadku, gdy konieczne jest wykorzystanie zespołu wentylatorów, warto podzielić je na dwie grupy, z których jedna włacza powietrze, a drugą odprowadza je z obudowy.



Rys. 5.3. Właściwy kierunek przepływu powietrza chłodzącego. Źródło: [1].

6. Bibliografia

- [1] „Zasilacze urządzeń elektronicznych. Przewodnik dla początkujących.” Joseph J. Carr, wydawnictwo BTC, Warszawa 2004 r.
- [2] „Układy RLC i transformatory”, Marcin Mądrzyk, AGH Kraków 2006 r.
- [3] „Elementy półprzewodnikowe”, Robert Lasko, AGH Kraków 2006 r.
- [4] <http://focus.ti.com/lit/an/slva079/slva079.pdf>
- [5] <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/ua7805.pdf>
- [6] <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX667.pdf>