

4. MATERIAŁ NAUCZANIA

4.1 Budowa, rodzaje i parametry zasilaczy

4.1.1 Materiał nauczania

Zasilaczem sieciowym prądu stałego (lub krótko zasilaczem) nazywamy urządzenie, które przetwarza energię elektryczną prądu przemiennego (sieci energetycznej) w energię prądu stałego o żądanej wartości napięcia lub prądu, przeznaczone zwykle do zasilania urządzeń elektronicznych. Wyróżniamy dwa rodzaje zasilaczy:

- zasilacze napięcia stałego – charakteryzujące się stałą wartością napięcia wyjściowego i prądem obciążenia zależnym od poboru mocy (rezystancji obciążenia),
- zasilacze prądu stałego – dostarczające do obciążenia stały prąd o zadanej wartości przy napięciu wyjściowym zmieniającym się w zależności od obciążenia (rzadko stosowane).

Elektroniczne zasilacze sieciowe mogą być budowane jako odrębne jednostki (m. in. zasilacze uniwersalne) lub wspólnie z układami zasilanymi (m. in. zasilacze specjalizowane).

Zasilacze uniwersalne charakteryzują się:

- ustalonym lub regulowanym napięciem wyjściowym,
- ściśle określonym dopuszczalnym obciążeniem,
- ściśle określonym zakresem temperatury pracy,
- mają znormalizowane parametry takie jak: moc, napięcie wejściowe i wyjściowe, rozmiary.

Zasilacze specjalizowane konstruowane są z myślą o uzyskaniu układu najlepiej dopasowanego do zasilania danego urządzenia.

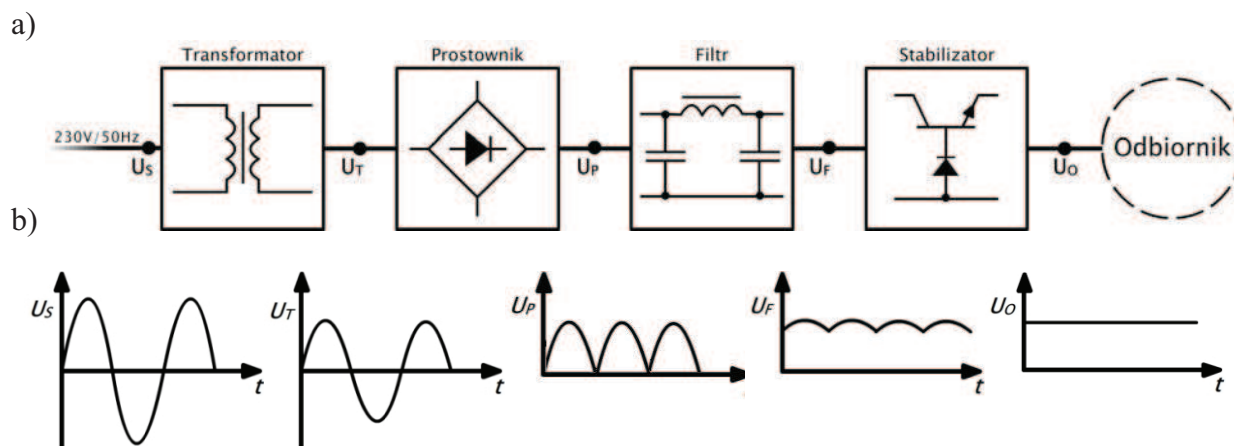
Zasilacze sieciowe składają się z kilku podstawowych elementów i układów:

- transformatora, którego zadaniem jest odpowiednie dopasowanie napięć zasilających i odizolowanie galwaniczne obwodów zasilanych od sieci energetycznej,
- układu prostowniczego służącego do przekształcania prądu przemiennego w prąd jednokierunkowy,
- filtru wygładzającego, który tłumi tętnienia (składową zmienną) napięcia na wyjściu układu prostowniczego,
- stabilizatora, czyli układu służącego do wytwarzania na wyjściu określonej wartości napięcia lub prądu niezależnie od zmian wielkości wejściowej oraz obciążenia,
- elementów i układów zabezpieczających, które chronią zasilacz przed uszkodzeniami (wskutek wydzielenia się w nim zbyt dużej mocy, chwilowych przepięć lub niewielkich przeciążeń).

Jeżeli w skład zasilacza wchodzi stabilizator, zasilacz taki jest zasilaczem stabilizowanym. Ze względu na zasadę działania stabilizatora zasilacze takie dzieli się na dwie główne grupy:

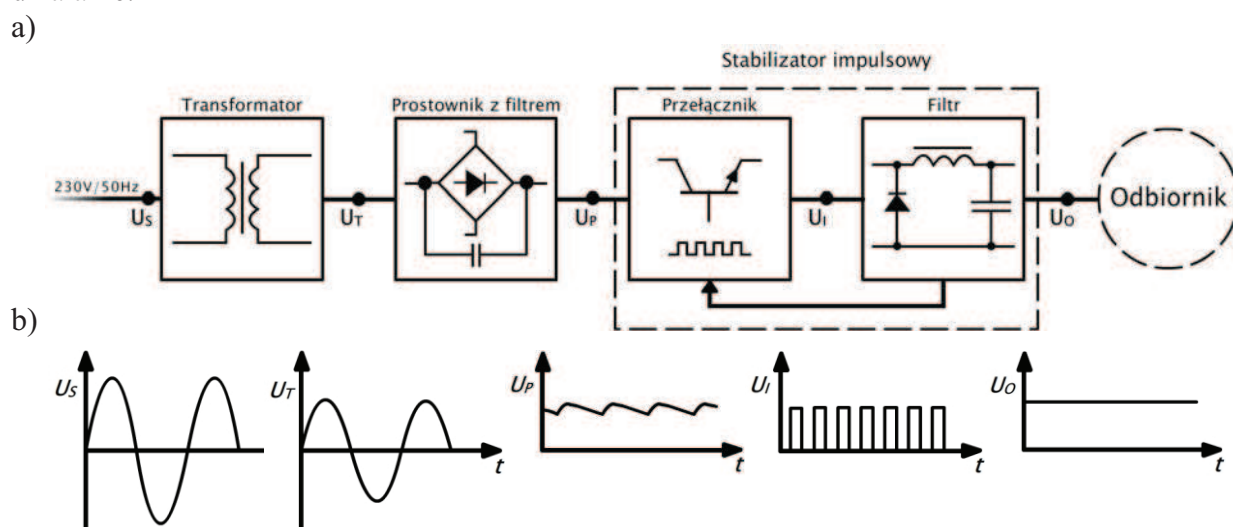
- zasilacze ze stabilizatorem o działaniu ciągłym nazywane zasilaczami stabilizowanymi lub liniowymi,
- zasilacze ze stabilizatorem o działaniu impulsowym nazywane zasilaczami impulsowymi.

Zasilacze ze stabilizatorem o działaniu ciągłym zapewniają lepszą stabilizację napięcia wyjściowego, mniejsze tętnienia i małą impedancję wyjściową w porównaniu do zasilaczy impulsowych. Napięcie przemienną z sieci energetycznej jest przetwarzane w sposób ciągły w kolejnych układach zasilacza w napięcie stałe dostarczane do odbiornika. Na rys.1. przedstawiono schemat blokowy zasilacza o działaniu ciągłym oraz przebiegi napięć w poszczególnych punktach układu obrazujące działanie zasilacza.



Rys. 1. Zasilacz ze stabilizatorem o działaniu ciągłym: a) schemat blokowy, b) przebiegi napięć w poszczególnych punktach układu. [6, s. 201]

Wadą zasilaczy ze stabilizatorem o działaniu ciągłym jest mała sprawność (rzędu 30 – 40 %), podczas gdy zasilacze ze stabilizatorem o działaniu impulsowym osiągają sprawność dużo większą (rzędu 70 – 90%). W zasilaczu impulsowym napięcie sieciowe po wyprostowaniu zostaje przekształcone w napięcie impulsowo – zmienne o dużej częstotliwości (rzędu kHz) i ponownie prostowane przed doprowadzeniem do odbiornika, przy czym w trakcie tego przekształcenia jest ono filtrowane i stabilizowane. Schemat blokowy zasilacza impulsowego przedstawiono na rys.2. Przebiegi napięć w poszczególnych punktach układu ilustrują jego działanie.



Rys. 2. Zasilacz ze stabilizatorem o działaniu impulsowym: a) schemat blokowy, b) przebiegi napięć w poszczególnych punktach układu. [6, s. 201]

Wadą zasilaczy impulsowych jest długi czas reakcji na wszelkie zmiany wielkości wymuszających oraz generowanie zakłóceń elektromagnetycznych.

Dla użytkownika urządzeń elektronicznych ważne mogą być następujące parametry użytkowe zasilaczy:

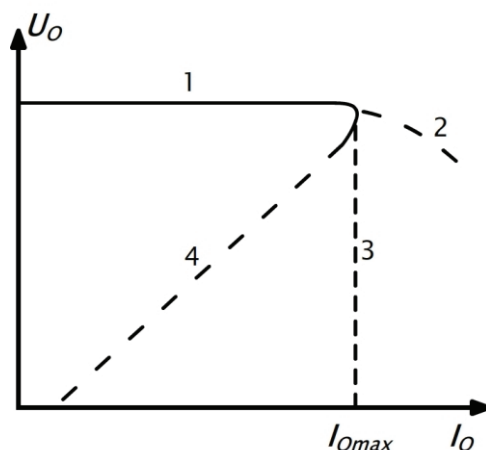
- wartość skuteczna i częstotliwość napięcia zasilającego (sieciowego) – np. 230V/50Hz,
- wartość średnia (składowa stała) napięcia wyjściowego,
- maksymalny prąd obciążenia lub maksymalna moc jaką może wydzielić się w zasilaczu,
- współczynnik tętnień (lub wartość napięcia tętnień na wyjściu), czyli stosunek amplitudy harmonicznej podstawowej napięcia na wyjściu do wartości składowej stałej napięcia na wyjściu,
- współczynnik stabilizacji napięcia,

- impedancja wyjściowa (moduł impedancji wyjściowej) – można obliczyć na podstawie pomiarów w układzie poprawnie mierzonego prądu z wzoru:

$$Z_{WY} = \frac{U_O - U_{OR}}{I_{OR}} [\Omega]$$

U_{OR} – wartość napięcia na obciążeniu, I_{OR} – wartość prądu płynącego przez obciążenie, U_O – wartość napięcia na zaciskach nieobciążonego zasilacza.

- sprawność, czyli stosunek mocy oddawanej do obciążenia do mocy pobieranej z sieci,
- warunki eksploatacji (zwłaszcza zakres temperatury pracy),
- charakterystyka obciążeniowa.



Rys. 3. Charakterystyka obciążeniowa: (1) w zakresie stabilizacji ($I_O \leq I_{Omax}$), (2) w przypadku przeciążenia bez ograniczenia prądowego, (3) w przypadku przeciążenia ze stałym ograniczeniem prądowym, (4) w przypadku przeciążenia z progresywnym ograniczeniem prądowym [6, s. 200]

Badanie parametrów zasilaczy jest proste i sprowadza się do pomiarów prądów i napięć oraz obserwacji przebiegów w niektórych punktach układu. Napięcie tętnień można oszacować z obserwacji przebiegów na ekranie oscyloskopu lub też korzystając z woltomierza elektronicznego napięcia zmiennego (dokładniejsze pomiary przeprowadza się za pomocą miliwoltomierza selektywnego). Podczas pomiarów należy pamiętać, że większość woltomierzy napięcia zmiennego mierzy wartość skuteczną, przy czym ich wskazania są poprawne w przypadku, gdy napięcie to ma przebieg sinusoidalny.

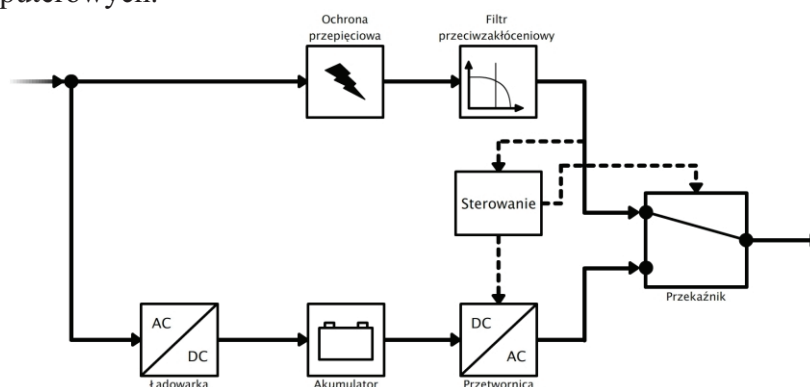
„Awaria zasilania” kojarzy się powszechnie z przerwą w dostawie energii elektrycznej i to na tyle długotrwałą, że można ją zaobserwować bez użycia sprzętu pomiarowego. W praktyce w sieci energetycznej występuje o wiele więcej zjawisk, często dużo groźniejszych niż długotrwały zanik napięcia. Nie doceniamy tego zagrożenia, ponieważ nie pojawia się ono na co dzień. Często zastanawiamy się, dlaczego komputer przestał reagować. Nie kojarzymy tego faktu z zakłóceniami sieciowymi, które przedostały się do komputera i spowodowały modyfikację drobnego fragmentu pamięci, na tyle jednak istotnego, że system się zawiesza. Dlatego dla odróżnienia tych zjawisk od potocznego pojęcia „awarii zasilania”, przyjęły one nazwę zdarzeń energetycznych. Wyróżniamy wśród nich:

- Zaniki napięcia sieciowego – czyli przerwy w dostawie energii elektrycznej (mogą być krótko- lub długotrwałe). Mogą spowodować restart systemu operacyjnego komputera lub jego wyłączenie, a co za tym idzie utratę nie zapisanych danych.
- Spadki napięcia sieciowego – czyli znaczne obniżenie napięcia w sieci w stosunku do wartości znamionowej (230V). Może to spowodować niestabilną pracę zasilacza komputera, a w konsekwencji restart systemu operacyjnego, utratę nie zapisanych danych oraz powstanie błędów na twardym dysku.

- Przepięcia – czyli wzrost napięcia sieciowego powyżej wartości znamionowej, który może spowodować uszkodzenie sprzętu.
- Wyładowania atmosferyczne – bezpośrednie uderzenie pioruna przejmie na siebie zazwyczaj instalacja odgromowa budynku czy sieci energetycznej, ale tysiące amperów przepływające impulsowo w pobliżu przewodów sieciowych indukują w nich tak wysokie przepięcia, że może wystąpić przeskok iskry wewnątrz urządzeń przyłączonych do sieci.

Zdarzeniom energetycznym można przeciwdziałać stosując odpowiednie zabezpieczenia. Podstawowym zabezpieczeniem jest układ przeciwprzepięciowy. Stanowi on podstawowe wyposażenie wszystkich listew zasilających i zasilaczy UPS. Jego działanie powoduje niwelowanie skutków słabszych przepięć, a w przypadku dużych - przepalenie się bezpieczników w listwie lub też tymczasowe odłączenie zasilanego urządzenia od sieci. Kolejne zabezpieczenie stanowi filtr przeciwzakłóceńowy. Eliminuje on w znacznym stopniu zakłócenia występujące w sieci i powoduje wygładzenie kształtu napięcia sieciowego. Ostatecznym zabezpieczeniem jest zasilacz UPS. Jego typ oraz wielkość powinny być dobrane odpowiednio do typu i wielkości poboru mocy przez chronione urządzenia. Różnorodność typów zasilaczy UPS wynika z różnorodności odbiorników energii, które są z nich zasilane. Parametry wyznaczające granice pomiędzy różnymi technologiami to koszt wyrobu, moc obciążenia i jakość napięcia na wyjściu. Poniżej przedstawiono charakterystykę najpopularniejszych typów zasilaczy UPS:

- Off – line (z tzw. bierną rezerwą) – najprostszy typ zasilaczy UPS. Posiada prostą budowę wewnętrzną (przedstawiona na rys.4.). W normalnych warunkach napięcie sieci po przepuszczeniu przez prosty pasywny filtr przeciwprzepięciowy podawane jest bezpośrednio na wyjście. Jednocześnie wbudowany prostownik doładowuje akumulator. Zanik zasilania zewnętrznego powoduje odłączenie wejścia od sieci energetycznej (odłączane są wszystkie trzy przewody, łącznie z uziemieniem) i uruchomienie zasilanego z akumulatora falownika. Uruchomienie falownika wiąże się z chwilowym zanikiem napięcia na wyjściu, jednak trwa to na tyle krótko, że nie stanowi problemu dla większości urządzeń komputerowych.



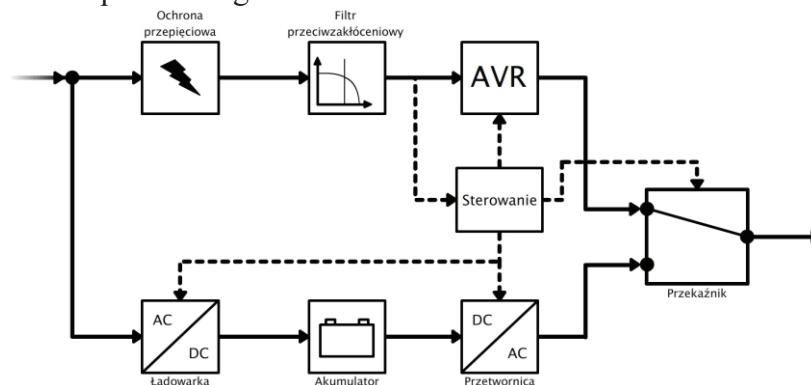
Rys. 4. Schemat blokowy zasilacza UPS typu off – line

Zaletą zasilacza off-line jest niska cena, jest to jednak okupione wieloma wadami. Podczas normalnej pracy kształt napięcia na wyjściu stanowi niemal odzwierciedlenie napięcia sieci, zaś przy pracy z akumulatora przebieg jest bardzo daleki od sinusoidy - prosty falownik wytwarza przebieg prostokątny lub w najlepszym razie trapezowy.

- Line – interactive - obecnie to najpopularniejszy z typów zasilaczy stosowany do ochrony sprzętu domowego i biurowego. Jego budowa częściowo bazuje na technologii off-line (przedstawiona na rys. 5.). Jednak sterowanie zasilacza monitoruje nie tylko wartość napięcia sieci, ale też jego częstotliwość i fazę. Wszystko po to, aby praca przetwornicy w momencie jej uruchomienia była zsynchronizowana z siecią elektryczną. Dodatkowo przełącznik jest przełączany dokładnie w momencie wystąpienia zerowego napięcia w sieci,

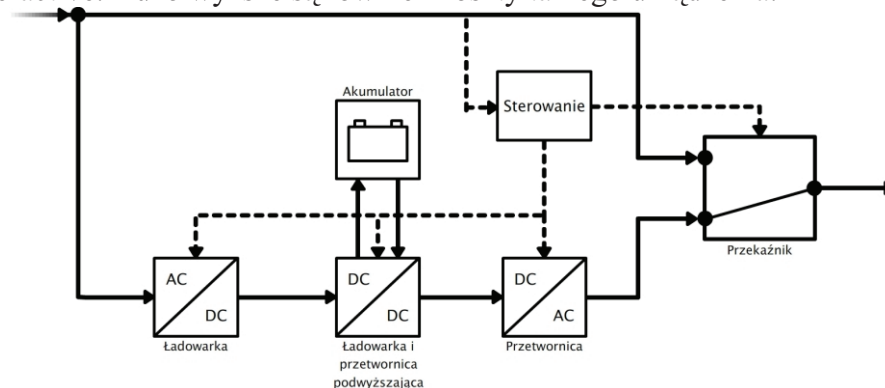
przez co nie występuje przeskok iskry. Przedłuża to żywotność styków przełącznika i eliminuje całkowicie zakłócenia radiowe pojawiające się podczas iskrzenia.

Często zasilacze typu line-interactive są wyposażone w układ AVR. Działa on w momencie wykrycia przekroczenia przez napięcie sieciowe granic wyznaczonych założoną tolerancją. Powoduje podwyższenie lub obniżenie napięcia sieciowego za pomocą autotransformatora bez konieczności czerpania energii z akumulatora.



Rys. 5. Schemat blokowy zasilacza UPS typu line – interactive

- On – line – zasilacze te stosowane są wszędzie tam, gdzie ważne jest nie tylko nieprzerwane zasilanie, ale też jego jakość. Zasilacze te przetwarzają energię w sposób ciągły (ang. on-line), wytwarzając na wyjściu napięcie o bardzo dobrych parametrach – wolne od zakłóceń, o stałej częstotliwości. W związku z tym wymagania stawiane wobec komponentów użytych do budowy takiego zasilacza są dużo wyższe niż w przypadku zasilacza typu off-line, czy też line-interactive. Dużo wyższe są również koszty takiego urządzenia.



Rys. 6. Schemat blokowy zasilacza typu on – line

Schemat blokowy (rys. 6.) przedstawia budowę wewnętrzną zasilacza typu on-line o potrójnej konwersji. Oznacza to zastosowanie trzech układów przekształcających napięcie wewnątrz zasilacza. Pierwszy, znajdujący się na wejściu, przekształca napięcie sieciowe zmienne na wysokie napięcie stałe. Dodatkowym zadaniem tego przetwornika jest zapewnienie liniowości obciążenia sieci energetycznej. Drugi to przetwornik napięcia stałego na stałe (DC-DC). Jeżeli jest obecne napięcie sieciowe, działa on jak ładowarka baterii akumulatorów, obniżając napięcie z wyjścia pierwszego przetwornika. Jeżeli nastąpi zanik napięcia sieciowego, przechodzi na pracę podwyższającą napięcie akumulatorów do poziomu niezbędnego dla prawidłowej pracy trzeciego przetwornika. Trzeci układ to przetwornica napięcia stałego na zmienne, która pracuje w sposób ciągły (stąd nazwa ang. on-line).

Dodatkowe funkcje zasilaczy UPS małej mocy:

- RST – układ „zimnego startu” umożliwiający uruchomienie zasilacza przy braku napięcia w sieci zasilającej.

- AVR (ang. automatic voltage regulation - automatyczna regulacja napięcia) – układ stabilizacji napięcia wyjściowego. Regulacja napięcia wyjściowego realizowana jest z reguły skokowo przez podwyższenie lub obniżenie napięcia na wyjściu UPS odwrotnie do zmian napięcia na wejściu zasilacza awaryjnego bez przechodzenia na pracę awaryjną.
- AG – układ umożliwiający współpracę zasilacza z agregatem prądotwórczym. Generowana przez agregat sinusoida jest często zniekształcona, posiada inny współczynnik szczytu niż przebieg sieciowy oraz niezbyt stabilną częstotliwość. Układ AG zapewnia mniejszą czułość zasilacza awaryjnego na tego typu odstępstwa. Zasilacz UPS z układem AG zapewnia podtrzymanie zasilania w czasie, gdy na skutek awarii zasilania realizowane jest przełączenie na zasilanie z agregatu prądotwórczego.
- KF – układ umożliwiający zabezpieczenie zasilania urządzeń biurowych innych niż komputery, np.: kas fiskalnych, centralek telefonicznych, telefaksów itp. Mowa tu o urządzeniach, które tolerują przebieg quasi-sinusoidalny, ale z ograniczonym współczynnikiem szczytu. Układ KF umożliwia obniżenie maksymalnej wartości przebiegu quasi-sinusoidalnego przy zachowaniu wartości skutecznej.
- COM – układ złącza szeregowego do monitorowania pracy UPS przez komputer. Złącze szeregowe może być zrealizowane w standardzie RS232. Korzystna jest galwaniczna separacja sygnałów elektrycznych w takim złączu np. przy pomocy transoptorów. Coraz częściej do komunikacji komputera z zasilaczem awaryjnym wykorzystywane jest złącze USB.
- TEL – filtr linii telefonicznej do zabezpieczania urządzeń telekomunikacyjnych przed przepięciami w sieci telefonicznej.
- CPM – układ ciągłego pomiaru mocy pobieranej przez zabezpieczane urządzenia. Zasilacz awaryjny może być wyposażony w układ pomiaru mocy, który działa w stanie pracy awaryjnej jak również przy poprawnej sieci zasilającej informując użytkownika o przekroczeniu dopuszczalnego obciążenia wyjścia UPS. Przy pomocy odpowiedniego oprogramowania można ocenić poziom obciążenia wnoszony przez zabezpieczany sprzęt.
- GWA – „gorąca” wymiana akumulatorów przez użytkownika. Układ GWA powinien posiadać jednoznaczną sygnalizację zużycia akumulatorów, możliwość wymiany bez wyłączania zasilacza oraz brak możliwości błędnego podłączenia akumulatorów.
- SOW – sekwencyjne odłączanie wyjść. Układ umożliwiający programowe odłączanie wyjść zasilacza awaryjnego w celu maksymalnego wydłużenia czasu pracy urządzeń podłączonych do wybranych wyjść UPS podczas awarii zasilania.
- ZR – „zbiornik rezerwowy” – układ uniemożliwiający załączenie napięcia na wyjściach zasilacza awaryjnego przed naładowaniem akumulatorów do zadanego poziomu.
- KCP – kalibracja czasu podtrzymania. Układ taki umożliwia oszacowanie czasu podtrzymania zasilania podczas awarii sieci zasilającej przy znanym obciążeniu na wyjściu UPS. Szacowanie tego czasu następuje w procesie cyklicznych testów prowadzonych przez użytkownika lub uruchamianych automatycznie przez UPS.
- AS – automatyczny start zasilacza po podłączeniu do sieci zasilającej. Włożenie wtyczki zasilającej od UPS do gniazda zasilającego powoduje załączenie napięcia na wyjściu UPS, uruchomienie układu ładowania akumulatorów, oraz układu ciągłego pomiaru mocy. W przypadku awarii zasilania zasilacz przechodzi na pracę z akumulatorów pod warunkiem występowania obciążenia na wyjściu UPS. W przypadku braku obciążenia następuje wyłączenie zasilacza. Układ może być wyposażony w regulator poziomu mocy minimalnej, przy którym UPS nie podtrzymuje zasilania.

Dla użytkowników zasilaczy awaryjnych ważne są ich parametry użytkowe takie jak :

- U_{skmin} – minimalne napięcie skuteczne na wyjściu zasilacza awaryjnego,
- U_{skmax} – maksymalne napięcie skuteczne na wyjściu zasilacza awaryjnego,
- ΔU_{sk} – zmiany napięcia skutecznego na wyjściu zasilacza awaryjnego podczas testu,
- U_{max} – maksymalne napięcie szczytowe na wyjściu zasilacza awaryjnego,
- U_{akuLB} – napięcie na akumulatorach, przy którym następuje sygnalizacja „akumulator bliski rozładowania”,
- U_{akuEND} – napięcie akumulatorów, przy którym następuje wyłączenie zasilacza awaryjnego,

- $t_{\max}$ – całkowity czas pracy awaryjnej przy określonym obciążeniu (zawiera również t_{LB}),
- t_{LB} – czas sygnalizacji „akumulator bliski rozładowania”.

W celu sprawdzenia wartości parametrów użytkowych zasilacza należy testy wykonać w symulowanych warunkach zaniku zasilania. Powinny one być poprzedzone 24 godzinnym ładowaniem akumulatorów. Testy wykonuje się z obciążeniem rezystancyjnym (żarówkowym) wyjścia UPS i z obciążeniem komputerowym. Aby określić wydajność ładowania akumulatorów UPS należy przeprowadzić testy z tym samym obciążeniem po trzech godzinach ładowania akumulatorów. Oprócz testów parametrów podstawowych można dodatkowo:

- obserwować kształt napięcia wyjściowego podczas pracy awaryjnej z uwzględnieniem: symetrii przebiegu napięcia wyjściowego względem zera (obciążenie żarówką 15W), poziomu przepięć (obciążenie żarówką 15W), szczytowej wartości napięcia wyjściowego przy braku obciążenia i w pełni naładowanych akumulatorach,
- mierzyć czas przełączania przy przejściu na pracę awaryjną (obciążenie żarówką 15W), przy powrocie z pracy awaryjnej na zasilanie z sieci energetycznej (obciążenie żarówką 15W),
- obserwować reakcję zasilacza UPS na obciążenie (zachowanie zasilacza podczas przeciążenia w czasie pracy awaryjnej i sieciowej, zachowanie zasilacza podczas zwarcia wyjścia na pracy awaryjnej, reakcja zasilacza na zdjęcie obciążenia podczas pracy awaryjnej).

4.1.2 Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Czy potrafisz rozpoznać główne bloki funkcjonalne zasilaczy?
2. Czy potrafisz wymienić główne bloki funkcjonalne zasilaczy?
3. Czy potrafisz wymienić funkcje podstawowych bloków zasilacza?
4. Czy potrafisz wymienić parametry zasilaczy?
5. Czy potrafisz zmierzyć podstawowe parametry zasilaczy?
6. Czy potrafisz wymienić podstawowe parametry użytkowe zasilaczy UPS?
7. Czy potrafisz zmierzyć podstawowe parametry użytkowe zasilaczy UPS?

4.1.3 Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Na schemacie ideowym lub eksponacie zasilacza przedstawionym Ci przez nauczyciela rozpoznaj główne elementy budowy i nazwij je.

Sposób wykonania ćwiczenia.

Aby wykonać ćwiczenie powinienś:

- 1) przypomnieć sobie z jakich głównych elementów składa się zasilacz,
- 2) na schemacie ideowym lub eksponacie zasilacza wskazać rozpoznane elementy, nazwać je,
- 3) zaprezentować rozwiązanie koledze,
- 4) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia,
- 5) na wykonanie ćwiczenia masz 15 minut.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- katalogi, eksponaty i schematy ideowe różnych zasilaczy.

Ćwiczenie 2

Zmierz wartości parametrów zasilacza wskazanego przez nauczyciela (praca w zespole 3 – 4 osobowym).

Sposób wykonania ćwiczenia.

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) przypomnieć sobie definicje podstawowych parametrów zasilaczy,
- 2) zapoznać się z dokumentacją badanego zasilacza,
- 3) zaplanować pomiary, narysować schematy pomiarowe i zaproponować tabele, w których będą zapisywane wyniki pomiarów,
- 4) skompletować aparaturę potrzebną do przeprowadzenia niezbędnych pomiarów,
- 5) przy doborze mierników zwracać uwagę na zakresy pomiarowe,
- 6) dokonać pomiaru parametrów zasilacza: wartość średnia (składowa stała) napięcia wyjściowego, współczynnik tętnień (lub wartość napięcia tętnień na wyjściu), współczynnik stabilizacji napięcia, impedancja wyjściowa, wykreślić charakterystykę obciążeniową,
- 7) porównać otrzymane wyniki z parametrami zasilacza zawartymi w jego dokumentacji technicznej,
- 8) zaprezentować wyniki i sformułować wnioski,
- 9) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia,
- 10) na wykonanie ćwiczenia masz 90 minut.

Uwaga:

Zanim zostanie przyłączone napięcie, połączony układ pomiarowy musi sprawdzić nauczyciel.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zasilacz wraz z dokumentacją techniczną,
- biały papier formatu A3 dla każdego zespołu,
- przyrządy pomiarowe (oscylloskop z sondami pomiarowymi, amperomierz, woltomierz).

Ćwiczenie 3

Zaplanuj czynności kontrolujące pracę zasilacza UPS.

Sposób wykonania ćwiczenia.

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) przypomnieć sobie definicje podstawowych parametrów zasilaczy UPS,
- 2) zapoznać się z dokumentacją badanego zasilacza,
- 3) zaplanować pomiary, konieczne do sprawdzenia czy zasilacz UPS, do którego podłączony jest zestaw komputerowy, pracuje prawidłowo oraz czy zachowane są jego główne parametry użytkowe, narysować schematy pomiarowe i zaproponować tabele, w których będą zapisywane wyniki pomiarów,
- 4) zaprezentować plan pracy koledze,
- 5) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia,
- 6) na wykonanie ćwiczenia masz 30 minut.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- dokumentacja techniczna zasilacza UPS,
- biały papier formatu A3 dla każdego zespołu.

Ćwiczenie 4

Sprawdź czy zasilacz UPS, do którego podłączony jest zestaw komputerowy, pracuje prawidłowo oraz czy zachowane są jego główne parametry użytkowe.

Sposób wykonania ćwiczenia.

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) przygotować plan czynności opracowany w ćwiczeniu 3,
- 2) zapoznać się z dokumentacją badanego zasilacza,
- 3) skompletować aparaturę potrzebną do przeprowadzenia niezbędnych pomiarów,
- 4) przy doborze mierników zwracać uwagę na zakresy pomiarowe,
- 5) dokonać pomiaru parametrów zasilacza,
- 6) porównać otrzymane wyniki z parametrami zasilacza zawartymi w jego dokumentacji technicznej,
- 7) zaprezentować wyniki i sformułować wnioski,
- 8) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia.
- 9) na wykonanie ćwiczenia masz 45 minut.

Uwaga:

Zanim zostanie przyłączone napięcie, połączony układ pomiarowy musi sprawdzić nauczyciel.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zasilacz UPS wraz z dokumentacją techniczną,
- zestaw komputerowy,
- plan czynności ze schematami pomiarowymi,
- przyrządy pomiarowe (oscylloskop z sondami pomiarowymi, amperomierz, woltomierz).

4.1.4 Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

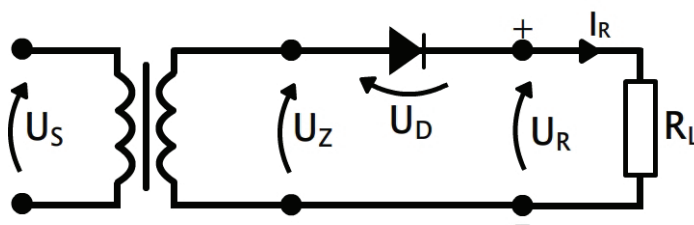
	Tak	Nie
1) wymienić rodzaje zasilaczy?	☐	☐
2) wymienić główne bloki funkcjonalne zasilaczy?	☐	☐
3) wymienić funkcje podstawowych bloków zasilacza?	☐	☐
4) omówić zasadę działania zasilacza ze stabilizatorem o działaniu ciągłym?	☐	☐
5) omówić zasadę działania zasilacza ze stabilizatorem o działaniu impulsowym?	☐	☐
6) porównać zasilacze ze stabilizatorami o działaniu ciągłym z zasilaczami impulsowymi?	☐	☐
7) wymienić parametry zasilaczy?	☐	☐
8) podać przykład wartości parametrów zasilaczy?	☐	☐
9) zmierzyć podstawowe parametry zasilaczy?	☐	☐
10) określić wpływ jaki mają zakłócenia sieci energetycznej na działanie urządzeń elektronicznych?	☐	☐
11) wymienić rodzaje zasilaczy UPS ?	☐	☐
12) omówić budowę zasilaczy UPS?	☐	☐
13) wyjaśnić zasadę działania zasilaczy UPS?	☐	☐
14) wymienić parametry użytkowe zasilaczy UPS?	☐	☐
15) zmierzyć podstawowe parametry użytkowe zasilaczy UPS?	☐	☐

4.2 Układy prostownicze. Filtracja napięć

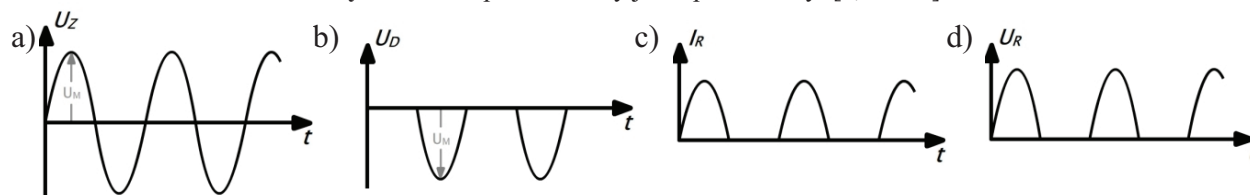
4.2.1 Materiał nauczania

Układ prostowniczy służy do przekształcania prądu przemiennego (dwukierunkowego) w prąd jednokierunkowy, zwany prądem wyprostowanym. Sercem układów prostowniczych są elementy prostownicze. Muszą one spełniać wymaganie asymetrii rezystancji, tzn. zależnie od biegunowości doprowadzonego napięcia – powinny mieć rezystancję małą dla kierunku przewodzenia oraz dużą dla kierunku zaporowego. Elementem prostowniczym w układach prostowniczych małej mocy są najczęściej diody półprzewodnikowe, natomiast w układach prostowniczych dużej mocy (wielofazowych) tyrystory. Właściwości układu prostowniczego zależą od rodzaju i liczby elementów prostowniczych, sposobu zasilania, konfiguracji elementów oraz charakteru obciążenia. Zajmiemy się układami prostowniczymi małej mocy, czyli tymi zawierającymi diody prostownicze, zasilanymi napięciem jednofazowym, ponieważ takie układy stosuje się w obwodach zasilaczy.

Najprostszy układ prostowniczy zawiera tylko jedną diodę półprzewodnikową. Przedstawiony on został na rys.7. W dodatniej połówce napięcia zasilającego U_Z (rys.8.a) dioda D jest w stanie przewodzenia, w obwodzie płynie prąd I_R (rys.8.c) powodujący, że na rezystorze R_L odkłada się napięcie (rys.8.d) $U_R = U_Z - U_D$. (U_D to spadek napięcia na przewodzącej diodzie). W ujemnej połówce napięcia zasilającego dioda D jest spolaryzowana w kierunku zaporowym, prąd w obwodzie nie płynie, a całe napięcie zasilania odkłada się na diodzie (rys.8.b). Ponieważ prąd obciążenia płynie tylko w czasie jednej połowy okresu, to prostownik taki nazywa się jednopołówkowym lub półokresowym. Charakteryzuje się on małą sprawnością napięciową oraz niską wartością średnią napięcia wyjściowego (wyprostowanego) – $0,45 U_Z$. Na wyjściu prostownika występują duże tętnienia. Tak więc pomimo, iż układ jest prosty i tani w realizacji, może być stosowany tylko tam, gdzie są małe obciążenia i gdzie nie zależy nam na małych tętnieniach napięcia wyjściowego.



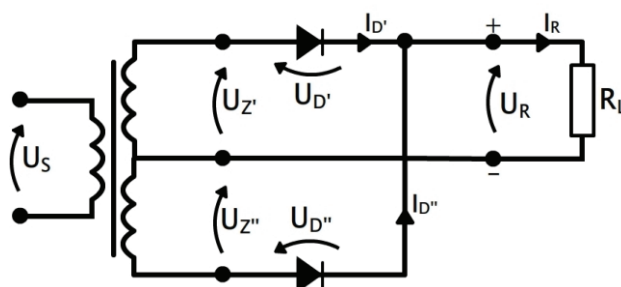
Rys. 7. Układ prostowniczy jednopołówkowy [6, s. 203]



Rys. 8. Przebiegi prądów i napięć w układzie prostowniczego jednopołówkowego z diodą półprzewodnikową idealną i obciążeniem rezystancyjnym: a) napięcie zasilające, b) napięcie na diodzie, c) prąd obciążenia, d) napięcie na obciążeniu [6, s. 203]

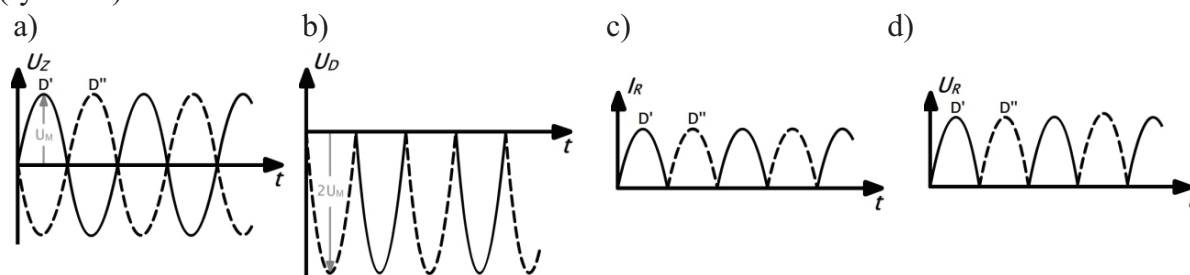
Aby zniwelować wymienione wyżej wady można zastosować połączenie dwóch prostowników jednopołówkowych w taki sposób, że w czasie dodatniej połówki napięcia zasilającego będzie przewodziła dioda D' , a w czasie ujemnej dioda D'' . W ten sposób powstaje prostownik dwupołówkowy z dzielonym uzwojeniem wtórnym. Układ takiego prostownika został przedstawiony na rys.9. Nazwa tego prostownika wskazuje na jego cechę charakterystyczną –

środkowy odczep uzwojenia transformatora (lub punkt połączenia dwóch identycznych uzwojeń) jest dołączony do masy układu.



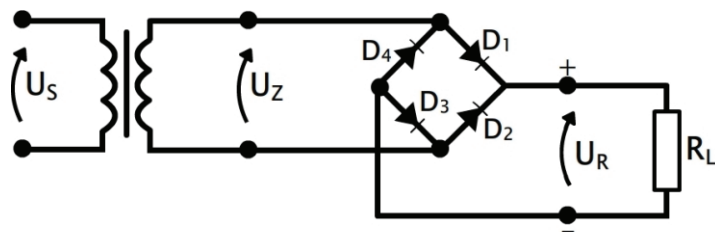
Rys. 9. Prostownik dwupołwkowy z dzielonym uzwojeniem wtórnym. [6, s. 203]

Zasada działania prostownika z dzielonym uzwojeniem wtórnym została zilustrowana na rys. 10. W dodatniej półokcie napięcia zasilającego U_Z (rys.10.a) dioda D' jest w stanie przewodzenia, natomiast dioda D'' w stanie zatkania. W obwodzie diody D' płynie prąd $I_{D'}$ (rys.10.c) powodujący, że na rezystorze R_L odkłada się napięcie (rys. 10.d) U_R . Przez diodę D'' nie płynie prąd, natomiast na diodzie tej odkłada się napięcie dwukrotnie większe niż w przypadku układu prostownika jednopołwkowego (rys.10.b). W ujemnej półokcie napięcia zasilającego sytuacja się odwraca. Dioda D'' jest w stanie przewodzenia, natomiast dioda D' w stanie zatkania. W obwodzie diody D'' płynie prąd $I_{D''}$ (rys.10.c) powodujący, że na rezystorze R_L odkłada się napięcie (rys.10.d) U_R . Przez diodę D' nie płynie prąd, natomiast na diodzie tej odkłada się napięcie dwukrotnie większe niż w przypadku układu prostownika jednopołwkowego (rys.10.b).



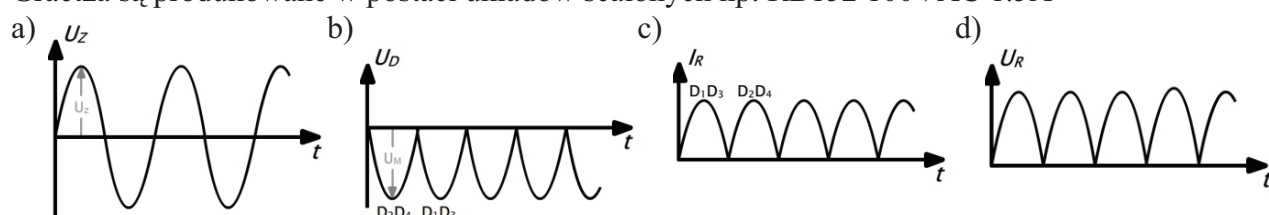
Rys. 10. Przebiegi prądów i napięć w układzie prostownika dwupołwkowego z dzielonym uzwojeniem wtórnym (z diodami półprzewodnikowymi idealnymi i obciążeniem rezystancyjnym): a) napięcie zasilające, b) napięcie na diodzie, c) prąd obciążenia, d) napięcie na obciążeniu [6, s.203]

Sprawność tego układu w porównaniu z prostownikiem jednopołwkowym jest dwukrotnie większa, natomiast strata napięcia wyjściowego spowodowana spadkiem napięcia na diodach jest taka, jak dla układu jednopołwkowego. Trzeba pamiętać o tym, że na diodzie spolaryzowanej w kierunku zaporowym odkłada się dwukrotnie większe napięcie niż amplituda napięcia prostowanego. Wadą układu jest to, że zamiast jednego uzwojenia wtórnego potrzebne są dwa uzwojenia o tych samych napięciach wyjściowych. Rozwiązanie tego problemu jest układ mostkowy, składający się z czterech diod prostowniczych, zwany mostkiem Graetza (rys.11.). Wprawdzie w układzie z dzielonym uzwojeniem uzwojenia te mogą być o mocy dwa razy mniejszej niż dla układu mostkowego, lecz będzie to okupione dwukrotnym zwiększeniem rezystancji wewnętrznej transformatora, a co za tym idzie większymi stratami napięcia na transformatorze. Przy małych napięciach wyjściowych, dla których spadki napięcia na diodzie są znacznymi, lepiej jest stosować układ z dzielonym uzwojeniem wtórnym, natomiast dla dużych napięć wyjściowych korzystniejszy jest układ mostkowy. Prostownik dwupołwkowy z mostkiem Graetza zawiera cztery diody połączone w taki sposób, że zawsze dwie z nich przewodzą, dostarczając prąd do obciążenia.



Rys. 11. Prostownik dwupołkowy z mostkiem Graetza [6, s. 203]

W dodatniej połówce napięcia zasilającego U_Z (rys.12.a) przewodzą diody D_1 i D_3 , przez obciążenie płynie prąd I_R (rys.12.c) powodujący, że na rezystorze R_L odkłada się napięcie (rys.12.d) U_R . Diody D_2 i D_4 nie przewodzą, odkłada się na nich napięcie odpowiadające wartości napięcia zasilającego (rys.12.b). W dodatniej połówce napięcia zasilającego przewodzą diody D_2 i D_4 , natomiast diody D_1 i D_3 są spolaryzowane w kierunku zaporowym. Mostki Graetza są produkowane w postaci układów scalonych np. RB152 100VAC 1.5A



Rys. 12. Przebiegi prądów i napięć w układzie prostownika dwupołkowego z mostkiem Graetza (z diodami półprzewodnikowymi idealnymi i obciążeniem rezystancyjnym): a) napięcie zasilające, b) napięcie na diodzie, c) prąd obciążenia, d) napięcie na obciążeniu. [6, s. 203]

Aby ocenić poznane układy prostownicze trzeba je porównać pod względem charakterystycznych parametrów. Podstawowymi parametrami układów prostowniczych są:

- napięcie wyprostowane (wartość średnia) – $\bar{U}_O \cong \frac{U_M}{\pi} [\text{V}]$,
- napięcie wsteczne na pojedynczej diodzie (wartość maksymalna),
- sprawność napięciowa η – iloraz wartości średniej napięcia wyprostowanego i wartości maksymalnej napięcia zasilającego,
- częstotliwość podstawowa tętnień,
- współczynnik tętnień t – iloraz wartości skutecznej składowej zmiennej i wartości składowej stałej napięcia wyprostowanego,
- kąt przepływu prądu - $\lambda = 2 \arccos \frac{U_F}{U_M} [\text{rad}]$,

(U_M – amplituda napięcia zasilającego, U_F – spadek napięcia na przewodzącej diodzie)

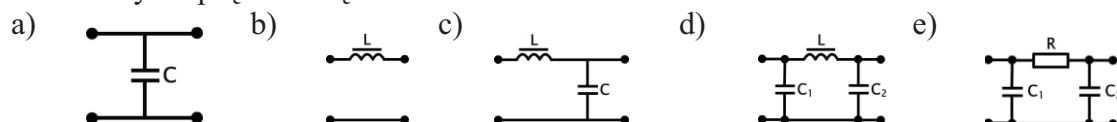
Z porównania parametrów układów prostowniczych zamieszczonych w tabeli 1. wynika, że najkorzystniej jest stosować układy prostownicze dwupołkowe. Mimo, iż składają się one z większej liczby elementów to mają lepsze parametry elektryczne (większa wartość napięcia wyprostowanego, większa sprawność, większa częstotliwość podstawowa tętnień). Pod względem napięcia wstecznego na pojedynczej diodzie najgorzej wypada w tym porównaniu prostownik z dzielonym uzwojeniem.

Tabela 1. Porównanie parametrów podstawowych układów prostowniczych [6, s. 204]

Parametr	Prostownik jedenpołówkowy	Prostownik dwupołówkowy z dzielonym uzwojeniem wtórnym	Prostownik dwupołówkowy z mostkiem Graetza
Ilość diod	1	2	4
Napięcie zasilające (wartość skuteczna)	U	U (napięcie na połowie uzwojenia)	U
Napięcie wyprostowane (wartość średnia)	$0,45U$	$0,9U$	$0,9U$
Napięcie wsteczne na pojedynczej diodzie (wartość maksymalna)	$\sqrt{2}U$	$2\sqrt{2}U$	$\sqrt{2}U$
Sprawność napięciowa	0,318	0,637	0,637
Częstotliwość podstawowa tętnień (określona częstotliwością napięcia zasilającego f)	f	$2f$	$2f$
Współczynnik tętnień	1,21	0,48	0,48

Zmniejszenie tętnień układów prostowniczych można uzyskać dołączając do wyjścia układu prostowniczego filtr dolnoprzepustowy, zwany filtrem wygładzającym. Na rys.13. przedstawiono schematy filtrów wygładzających:

- pojemnościowego – najprostszy, jak również najczęściej stosowany w układach zasilaczy; wyróżnia się on dużą skutecznością tłumienia tętnień, tym większą im większa pojemność C ;
- indukcyjny – stosowany w układach dwupołówkowych wielofazowych dużej mocy; jego skuteczność wzrasta, gdy rezystancja obciążenia maleje.
- LC (typu L oraz typu π) – stosowane w zasilaczach impulsowych pracujących przy częstotliwości 20 – 300kHz ze względu na rozmiary cewki (przy wyższych częstotliwościach może być mniejsza),
- RC – często stosowane w zasilaczach małej mocy, chociaż wartość napięcia wyjściowego zależy od prądu obciążenia.



Rys. 13. Schematy filtrów wygładzających: a) pojemnościowego, b) indukcyjnego, c) LC typu L , d) LC typu π , e) RC typu π . [6, s. 205]

Wadą filtrów z wejściem pojemnościowym jest to, że po włączeniu zasilacza do sieci prąd ładowania kondensatora jest bardzo duży. Należy więc pamiętać o starannym doborze elementów prostownika, wymaga to stosowania diod o kilkakrotnym zapasie dopuszczalnego prądu przewodzenia. Można również włączyć szeregowo w obwód prostownika rezystor o względnie małej wartości rezystancji.

4.2.2 Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Czy potrafisz porównać poznane układy prostownicze?
2. Czy potrafisz narysować schematy poznanych układów prostowniczych?
3. Czy potrafisz wyjaśnić zasady działania poznanych prostowników?
4. Czy potrafisz wymienić parametry układów prostowniczych?
5. Czy potrafisz zdefiniować parametry układów prostowniczych?
6. Czy potrafisz zmierzyć oraz obliczyć parametry układów prostowniczych ?
7. Czy potrafisz narysować przebiegi w poszczególnych punktach układów prostowniczych?
8. Czy potrafisz wyjaśnić, jak wpływa układ filtracji napięć na kształt napięcia wyprostowanego?

4.2.3 Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Rozpoznaj, w których punktach dostarczonego Ci przez nauczyciela schematu ideowego prostownika zostały wykonane poszczególne oscylogramy.

Sposób wykonania ćwiczenia.

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) przypomnieć sobie zasady działania poznanych układów prostowniczych,
- 2) rozpoznać, w których punktach dostarczonego Ci przez nauczyciela schematu ideowego prostownika zostały wykonane poszczególne oscylogramy,
- 3) oznaczyć te punkty na schemacie ideowym odpowiednimi literami,
- 4) zaprezentować rozwiązanie koledze uzasadniając swój wybór,
- 5) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia,
- 6) na wykonanie ćwiczenia masz 15 minut.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- oscylogramy przedstawiające przebiegi napięcia w różnych punktach układu prostowniczego,
- schemat ideowy układu prostowniczego, w którym badano kształt przebiegów napięcia.

Ćwiczenie 2

Oblicz wartość współczynnika tętnień dla przebiegów wyjściowych napięcia przedstawionych na oscylogramach dostarczonych Ci przez nauczyciela.

Sposób wykonania ćwiczenia.

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) przypomnieć sobie definicje parametrów układów prostowniczych,
- 2) zapisać wzory, z których będziesz korzystać, wypisać dane i szukane,
- 3) obliczyć wartość współczynnika tętnień dla przebiegów wyjściowych napięcia przedstawionego na oscylogramach dostarczonych Ci przez nauczyciela,
- 4) rozpoznać, w którym z poznanych układów prostowniczych kształt napięcia wyjściowego U_O odpowiada temu z oscylogramów,
- 5) zaprezentować rozwiązanie koledze,

- 6) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia,
- 7) na wykonanie ćwiczenia masz 15 minut.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- oscylogramy przedstawiające przebiegi napięcia w różnych punktach układu prostowniczego, biały papier formatu A4 dla każdego zespołu.

Ćwiczenie 3

Zmierz wartości parametrów układu prostowniczego (praca w zespole 3 – 4 osobowym).

Sposób wykonania ćwiczenia.

Aby wykonać ćwiczenie powinienś:

- 1) przypomnieć sobie definicje podstawowych parametrów układów prostowniczych,
- 2) mając do dyspozycji cztery diody prostownicze, transformator, kondensatory i rezystory, połączyć te elementy tak, aby powstał układ prostowniczy,
- 3) zaplanować prace związane z uruchomieniem i pomiarem parametrów zbudowanego układu prostowniczego, narysować schematy pomiarowe i zaproponować tabele, w których będą zapisywane wyniki pomiarów,
- 4) skompletować aparaturę potrzebną do przeprowadzenia niezbędnych pomiarów,
- 5) przy doborze mierników zwracać uwagę na zakresy pomiarowe,
- 6) przeprowadzić niezbędne pomiary i testy w symulowanych warunkach obciążenia,
- 7) na podstawie uzyskanych wyników pomiarów sformułować wnioski dotyczące działania układu oraz określić wartości parametrów układu prostowniczego,
- 8) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia,
- 9) na wykonanie ćwiczenia masz 90 minut.

Uwaga:

Zanim zostanie przyłączone napięcie, połączony układ pomiarowy musi sprawdzić nauczyciel.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- makietę z transformatorem, czterema diodami prostowniczymi, kondensatorami, rezystorami, umożliwiającą dowolne połączenie tych elementów i przeprowadzenie pomiarów, przewody łączeniowe,
- biały papier formatu A3 dla każdego zespołu,
- przyrządy pomiarowe (oscyloskop z sondami pomiarowymi, amperomierz, woltomierz).

Ćwiczenie 4

Zbadaj wpływ zastosowanego układu filtracji napięć na kształt napięcia wyjściowego prostownika.

Sposób wykonania ćwiczenia.

Aby wykonać ćwiczenie powinienś:

- 1) mając do dyspozycji makietę z układami prostowniczymi zbadać, jak wpływa układ filtracji napięć na kształt napięcia wyjściowego prostownika,
- 2) skompletować aparaturę potrzebną do przeprowadzenia niezbędnych pomiarów,
- 3) przy doborze mierników zwracać uwagę na zakresy pomiarowe,
- 4) przeprowadzić niezbędne pomiary,

- 5) na podstawie uzyskanych wyników pomiarów sformułować wnioski dotyczące wpływu zastosowanego filtra na kształt przebiegu wyprostowanego,
- 6) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia.

Uwaga:

Zanim zostanie przyłączone napięcie, połączony układ pomiarowy musi sprawdzić nauczyciel.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- treść zadania dla każdego zespołu uczniów,
- makieta z układami prostowniczymi, kondensatory, cewki i rezystory o różnych wartościach, przyrządy pomiarowe (oscylloskop z sondami pomiarowymi).
- biały papier formatu A3 dla każdego zespołu.

4.2.4 Sprawdzian postępów

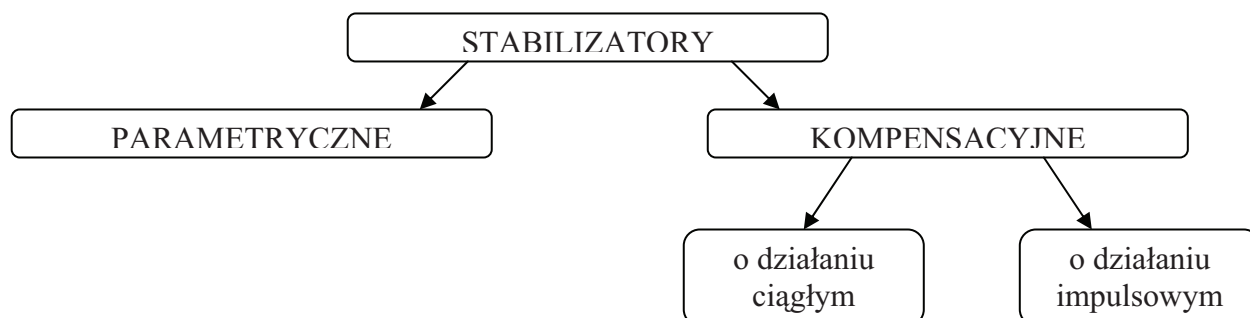
Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) porównać poznane układy prostownicze?	☐	☐
2) wyjaśnić do czego służy układ prostowniczy?	☐	☐
3) wymienić cechy układu prostowniczego jednopółkowego?	☐	☐
4) narysować schemat prostownika jednopółkowego?	☐	☐
5) wyjaśnić zasadę działania prostownika jednopółkowego?	☐	☐
6) wymienić cechy układu prostowniczego dwupółkowego z dzielonym uzwojeniem?	☐	☐
7) narysować schemat prostownika dwupółkowego z dzielonym uzwojeniem?	☐	☐
8) wyjaśnić zasadę działania prostownika dwupółkowego z dzielonym uzwojeniem?	☐	☐
9) wymienić cechy układu prostowniczego dwupółkowego z mostkiem Graetza?	☐	☐
10) narysować schemat prostownika dwupółkowego z mostkiem Graetza?	☐	☐
11) wyjaśnić zasadę działania prostownika dwupółkowego z mostkiem Graetza?	☐	☐
12) wymienić parametry układów prostowniczych?	☐	☐
13) zdefiniować parametry układów prostowniczych?	☐	☐
14) zmierzyć parametry układów prostowniczych?	☐	☐
15) podać typowe wartości parametrów układów prostowniczych?	☐	☐
16) wyjaśnić po co stosuje się układy filtrów dołączane do wyjścia układów prostowniczych?	☐	☐
17) narysować przykład układu filtru wygładzającego?	☐	☐
18) porównać filtry C, L, LC i CR?	☐	☐
19) narysować przebiegi w poszczególnych punktach układów prostowniczych?	☐	☐
20) określić wpływ parametrów filtru na kształt przebiegów wyprostowanych?	☐	☐

4.3 Stabilizatory

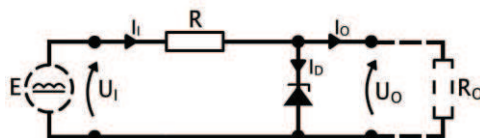
4.3.1 Materiał nauczania

Stabilizatory elektroniczne są to układy służące do wytwarzania na wyjściu określonej wartości napięcia lub prądu niezależnej od zmian wielkości wyjściowej oraz obciążenia. Stabilizatory napięcia i prądu stałego używane do zasilania urządzeń elektronicznych. Ze względu na zasadę działania dzieli się w następujący sposób:

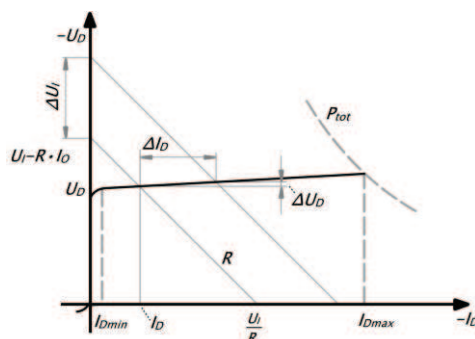


Rys. 14. Rodzaje stabilizatorów

Stabilizatory parametryczne (stabilizatory bez sprzężenia zwrotnego) utrzymują stałą wartość wielkości wyjściowej dzięki zastosowaniu elementu stabilizacyjnego o charakterystyce prądowo – napięciowej wykazującej w pewnym zakresie stałość przebiegu w funkcji napięcia lub prądu. Powszechnie stosuje się diody stabilizacyjne (diody Zenera), rzadziej warystory i termistory. Na rys.15. przedstawiono układ stabilizacyjny z diodą Zenera. Jest to układ dzielnika napięciowego złożonego z diody stabilizacyjnej D i rezystora szeregowego R. Zmiany spadku napięcia na diodzie stabilizacyjnej są bardzo małe, ponieważ punkt pracy znajduje się na charakterystyce w zakresie przebicia. W efekcie zmiana napięcia wejściowego U_i kompensowana jest zmianą spadku napięcia na rezystorze, gdyż element regulacyjny (dioda Zenera) przewodzi odpowiednio większy lub mniejszy prąd, utrzymując stałą wartość napięcia wyjściowego U_o . Z drugiej strony zmiana obciążenia R_o , a więc prądu obciążenia I_o powoduje odpowiednią zmianę prądu I_D tak, że napięcie stabilizowane U_o nie ulega zmianie (rys.16.).



Rys. 15. Stabilizator parametryczny z diodą Zenera [6, s. 209]



Rys. 16. Charakterystyka prądowo – napięciowa stabilizatora parametrycznego z diodą Zenera [6, s. 209]

Zaletą układu stabilizatora z diodą Zenera jest jego prostota. Łatwo więc przeanalizować jego zasadę działania i dobrać parametry elementów tak, by dostosować układ do założonych wymagań. Wykorzystując model diody dla odcinkowo – liniowej charakterystyki prądowo

napięciowej można wyprowadzić wzory opisujące parametry stabilizatora (r_z – rezystancja dynamiczna diody):

- prąd płynący przez diodę w zakresie stabilizacji

$$I_D = \frac{U_O - U_Z}{r_z} [\text{mA}]$$

- prąd i napięcie wyjściowe układu

$$I_O = \frac{U_O}{R_O} [\text{mA}] \quad U_O = U_I - I_O R - I_D R [\text{V}]$$

- zależność napięcia wejściowego układu od oczekiwanego napięcia wyjściowego

$$U_I = U_O \left(1 + \frac{R}{R_O} + \frac{R}{r_z} \right) - U_Z \frac{R}{r_z} [\text{V}]$$

- współczynnik stabilizacji

$$S = \frac{\Delta U_I}{\Delta U_O} = 1 + \frac{R}{R_O} + \frac{R}{r_z}$$

- rezystancja wyjściowa stabilizatora

$$r_{wY} = \frac{R \cdot r_z}{R + r_z} [\Omega]$$

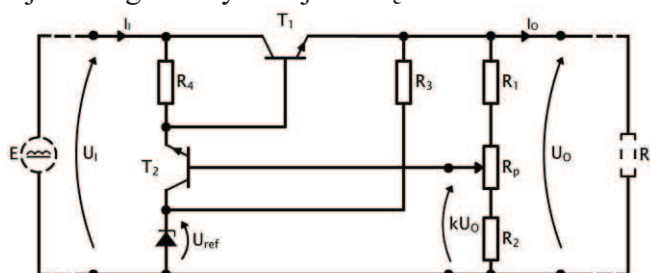
- minimalny i maksymalny prąd diody

$$I_{D\min} = \frac{U_{I\min} - U_Z}{R} - I_{O\max} [\text{mA}] \quad I_{D\max} = -\frac{U_Z}{2r_z} + \sqrt{\frac{U_Z^2}{4r_z^2} + \frac{P_{D\max}}{r_z}} [\text{mA}]$$

($P_{D\max}$ – maksymalna moc jaka może się wydzielić w diodzie, nie powodując jej uszkodzenia, U_Z – napięcie Zenera)

Taki stabilizator charakteryzuje się małym zakresem zmian prądu obciążenia, niewielką sprawnością energetyczną (rzędu 10%), małą dokładnością stabilizacji oraz brakiem możliwości regulacji stabilizowanego napięcia.

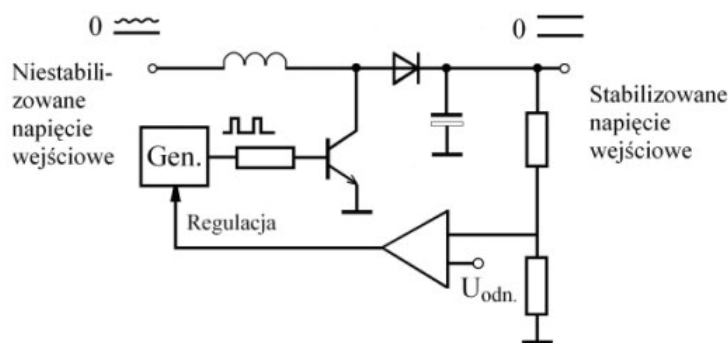
Wad tych pozbawione są stabilizatory kompensacyjne, zawierające element regulacyjny. Jakakolwiek zmiana wielkości wyjściowej jest kompensowana przez odpowiednie wysterowanie tego elementu. Działanie układu kompensacyjnego stabilizatora napięcia polega na porównywaniu stabilizowanego napięcia wyjściowego z wzorcowym napięciem odniesienia i wysterowaniu różnicą tych napięć elementu regulacyjnego w taki sposób, by zmiana spadku napięcia na nim przeciwdziałała zmianom napięcia stabilizowanego. Przykład stabilizatora kompensacyjnego o działaniu ciągłym został przedstawiony na rys.17. Elementem regulacyjnym w tym układzie jest tranzystor T_1 . Na bazę tego tranzystora podawany jest wynik porównania napięcia odniesienia (napięcie stabilizacyjne diody Zenera) z częścią napięcia wyjściowego (ustalona potencjometrem R_p). Jakość stabilizacji zależy od wartości wzmacnienia układu sterującego (tranzystor T_2) – im jest ono większe tym lepsza stabilizacja napięcia wyjściowego przy zmianach napięcia wejściowego i rezystancji obciążenia.



Rys. 17. Stabilizator kompensacyjny o działaniu ciągłym [6, s. 211]

Wadą stabilizatorów o działaniu ciągłym jest mała sprawność (rzędu 30 – 50 %) spowodowana dzieleniem napięcia wejściowego. O wiele lepsze wyniki uzyskuje się w stabilizatorach o działaniu impulsowym, należy jednak pamiętać o tym, że charakteryzują się one długim czasem reakcji na zmianę wielkości wymuszających oraz generują zakłócenia elektromagnetyczne.

Przykład stabilizatora impulsowego przedstawiono na rys.18. Tranzystor T pracuje w tym układzie jako klucz nasycony – cyklicznie dołącza na krótko cewkę indukcyjną do źródła niestabilizowanego napięcia wejściowego. W czasie trwania każdego impulsu nasycającego tranzystor, prąd płynący przez cewkę narasta liniowo. W polu magnetycznym cewki gromadzi się energia, która w następnej fazie cyklu jest przekazywana do kondensatora filtrującego, dołączonego do wyjścia stabilizatora. Kondensator wygładza tętnienia napięcia wyjściowego (dostarcza prąd do obciążenia w fazie uzupełniania energii cewki). Podobnie jak w przypadku stabilizatorów o regulacji ciągłej następuje porównanie wartości napięcia wyjściowego z napięciem odniesienia, lecz otrzymane w ten sposób napięcie błędu koryguje wartość napięcia wyjściowego przez zmianę częstotliwości przełączania klucza lub zmianę czasu trwania impulsu włączającego klucz, a nie przez liniowe sterowanie przewodnością tranzystora.



Rys. 18. Stabilizator impulsowy [3, s. 380]

Stabilizatory impulsowe mają niezwykle właściwości decydujące o ich popularności. Ponieważ element regulacyjny pracuje dwustanowo – jest albo włączony albo nasycony – traci się w nim bardzo mało mocy. Dlatego stabilizatory impulsowe charakteryzują się dużą sprawnością nawet wtedy, gdy różnica napięć między wejściem a wyjściem ma dużą wartość. Wartość napięcia wyjściowego stabilizatorów tego typu może być większa niż wartość napięcia wejściowego. Za pomocą stabilizatora impulsowego można również bez trudu przetwarzać napięcie o jednej polaryzacji na napięcie o przeciwnej polaryzacji. Dodatkowo możliwe jest zasilanie takiego stabilizatora bezpośrednio z wyjścia układu prostującego napięcie sieciowe, bez potrzeby stosowania transformatora sieciowego. W efekcie można otrzymać zasilacz mały, lekki i o dużej sprawności. Te cechy decydują o powszechnym stosowaniu zasilaczy impulsowych w sprzęcie komputerowym.

Właściwości układów stabilizacji napięcia są charakteryzowane za pomocą odpowiednich parametrów technicznych, spośród których do najważniejszych zalicza się:

- Znamionowe napięcie wyjściowe U_{ON} – wartość wyjściowego napięcia stabilizacji z określoną tolerancją, w sytuacji gdy stabilizator pracuje w znamionowych warunkach pracy.
- Tolerancja napięcia wyjściowego δU_{ON} – maksymalna, dopuszczalna względna zmiana wartości napięcia stabilizowanego wywołana przez czynniki wpływające takie jak zmiany napięcia wejściowego i prądu obciążenia.
- Zakres zmian napięcia wyjściowego – jest to zakres stabilizowanego napięcia wyjściowego, w którym obowiązują parametry katalogowe stabilizatora.

- Zakres zmian napięcia wejściowego – minimalna i maksymalna wartość napięcia wejściowego, zasilającego stabilizator, w obrębie której producent zapewnia poprawną pracę układu.
- Współczynnik stabilizacji od zmian napięcia wejściowego (WSN, IR) – wielkość zmian napięcia stabilizowanego ΔU_O wywołanych ustalonymi zmianami napięcia wejściowego ΔU_I .
- Współczynnik stabilizacji od zmian obciążenia (WOSN, LR) – względna zmiana napięcia stabilizowanego wywołana ustaloną zmianą prądu obciążenia.
- Współczynnik tłumienia tętnień (WTT, RR) – miara tłumienia tętnień przez układ stabilizatora poprzez wzajemne porównanie międzyszczytowych wartości tętnień na wejściu i wyjściu.
- Napięcie różnicowe między wejściem a wyjściem $\Delta U_{OI} = |U_O - U_I|_{\min}$ – minimalna różnica napięcia między wejściem i wyjściem stabilizatora, przy której układ jeszcze pracuje poprawnie.
- Temperaturowy zakres pracy – dopuszczalny zakres temperatur pracy stabilizatora, zawarty między minimalną i maksymalną graniczną temperaturą pracy. (zakres przemysłowy to od 0°C do 70°C, militarny od - 55°C do 125°C).
- Współczynnik temperaturowy napięcia wyjściowego (TWN, ATC) – parametr umożliwiający określenie, o ile procent zmieni się napięcie wyjściowe przy zmianie temperatury otoczenia o 1°C, wyznaczony dla ustalonej zmiany tej temperatury.
- Nominalny prąd wyjściowy I_{ON} – maksymalna wartość prądu obciążenia, przy którym zachowane są jeszcze podane parametry katalogowe przy założeniu, że stabilizator pracuje w znamionowych warunkach pracy.
- Maksymalny prąd wyjściowy I_{OMAX} – prąd, przy którym włącza się (o ile stabilizator taki posiada) układ nadprądowego zabezpieczenia stabilizatora.
- Prąd zwarcia I_{OS} – wartość prądu obciążenia stabilizatora, w sytuacji gdy wyjście jest zwarte do masy.
- Minimalny prąd wyjściowy I_{OMIN} – minimalna wartość prądu obciążenia, przy którym zachowane są jeszcze podane parametry katalogowe przy założeniu, że stabilizator pracuje w znamionowych warunkach pracy.
- Prąd spoczynkowy – prąd pobierany przez układ nieobciążonego stabilizatora.
- Maksymalna moc strat – maksymalna moc, jaka może się wydzielić w stabilizatorze (lub elemencie regulacyjnym) w trakcie długotrwałej jego pracy w znamionowej temperaturze otoczenia (zwykle 25°C), nie powodując jego uszkodzenia.
- Sprawność energetyczna - η - wzajemny stosunek mocy oddanej do obciążenia i mocy dostarczonej do stabilizatora.

Można wyróżnić pewne cechy wspólne, charakterystyczne dla grupy stabilizatorów scalonych:

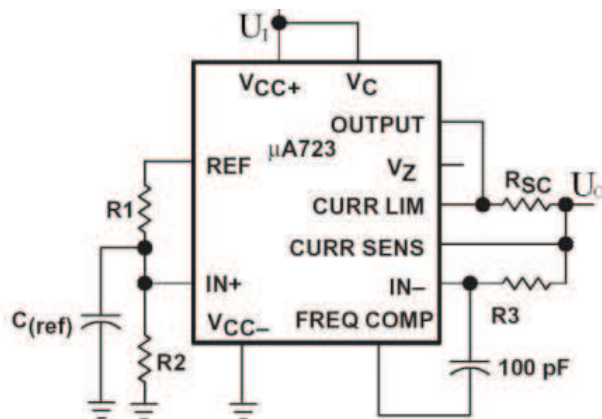
- napięcie zasilające układ jest napięciem przeznaczonym do stabilizacji,
- wartości napięć stabilizowanych mogą być zarówno dodatnie, jak i ujemne (z zakresu 2 do 40V),
- wartość prądu obciążenia zawiera się w granicach od kilkudziesięciu do kilkuset mA, a przy zastosowaniu zewnętrznych tranzystorów mocy nawet do 10A,
- dobra sprawność przy minimalnej różnicy napięcia między wejściem a wyjściem rzędu 2–3V,
- mała impedancja wyjściowa (rzędu 10 – 20 mΩ),
- dobra stabilność stałoprądowa w szerokim zakresie temperatur otoczenia.

Scalone stabilizatory napięcia wykonuje się jako:

- stabilizatory uniwersalne, o napięciu wyjściowym regulowanym za pomocą elementów zewnętrznych (np. układ $\mu A 723$),

- stabilizatory ogólnego przeznaczenia o napięciu wyjściowym ustalonym w procesie produkcji (np. μA 7805),
- stabilizatory specjalne – będące układami o wysoko wyspecjalizowanych właściwościach, jak np. stabilizatory napięć symetrycznych, napięć o wartościach wyższych niż 40V, napięć odniesienia o bardzo dużej stabilności czasowej i temperaturowej, dokładności.

Klasycznym scalonym stabilizatorem napięcia stałego jest układ $\mu A723$. Jest to układ o wszechstronnych możliwościach, łatwy w użyciu, o doskonałych parametrach elektrycznych.



Rys. 19. Układ μA 723 pracujący jako stabilizator napięcia dodatniego od 2 do 7V [dokumentacja techniczna firmy Texas Instruments]

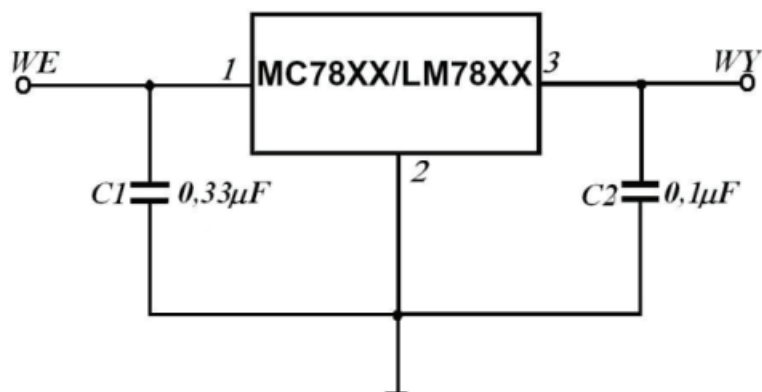
W tabeli 2. przedstawiono zestaw typowych wartości parametrów układu $\mu A723$.

Tabela 2. Typowe wartości podstawowych parametrów stabilizatora $\mu A723$ [dokumentacja techniczna firmy Texas Instruments]

Parametr	Jednostka	Wartość
Zakres napięcia U_I	[V]	9,5 ÷ 40
Zakres napięcia U_O	[V]	2 ÷ 37
Minimalne $ U_O - U_I $	[V]	3
WSN (% U_O)	[%]	0,1
WOSN (% U_O)	[%]	0,03
Temperatura pracy	[°C]	0 ÷ 70
TWN	[%/°C]	0,003
I_{OMAX}	[mA]	150
I_{SP} (prąd spoczynkowy: $I_O=0$, $U_O=30V$)	[mA]	2,3
WTT	[dB]	74
U_Z	[V]	7,15
I_{ZW} (prąd zwarcia: $R_S=10\Omega$, $U_O=0V$)	[mA]	65

Typowym przedstawicielem stabilizatorów ogólnego przeznaczenia są stabilizatory serii 7800 (produkowane m. in. przez firmę Fairchild w dwóch seriach MC78xx i LM78xx, a także przez firmę National Semiconductor - LM78xx). Dwie ostatnie cyfry w oznaczeniu stabilizatora to wartość jego napięcia wyjściowego, która może być równa 5, 6, 8, 10, 12, 15, 18 lub 24V. Na rys.20 przedstawiono typowy układ pracy stabilizatora z serii 7800. Kondensator dołączony do zacisków wyjściowych stabilizatora poprawia jego parametry impulsowe oraz powoduje, że wartość impedancji wyjściowej stabilizatora pozostaje również mała dla dużych częstotliwości. Jeżeli stabilizator jest umieszczony z dala od kondensatorów filtra prostownika, do jego zacisków wejściowych należy dołączyć kondensator o wartości pojemności co najmniej 330nF.

Do stabilizowania napięć ujemnych przeznaczone są stabilizatory z rodziny 7900. Sposób ich użycia niczym się nie różni od przedstawionego (poza napięciem wejściowym, które musi być ujemne). Układy z rodziny 7800 mogą być obciążane prądem do 1A i mają wbudowane w strukturę układy zabezpieczeń: nadprądowe i przed uszkodzeniem cieplnym.



Rys. 20. Układ pracy stabilizatora z serii 7800 [dokumentacja techniczna firmy Fairchild]

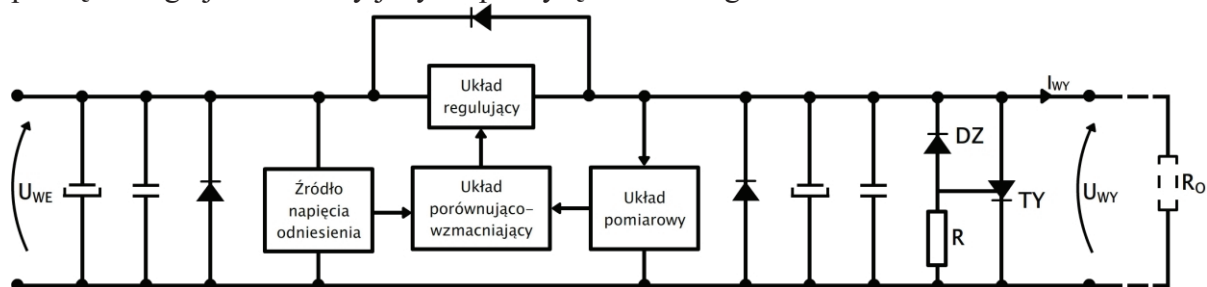
Tabela 3. Typowe wartości podstawowych parametrów stabilizatorów serii 7800 [dokumentacja techniczna firmy Fairchild]

Parametr		7805	7806	7810	7812	7815	7824
Zakres napięcia U_I	[V]	7÷20	8÷21	12,5÷25	14,5÷27	17,5÷30	27÷38
Napięcie U_O	[V]	5	6	10	12	15	24
Min. $ U_O - U_I $	[V]	2	2	2	2	2	2
WSN	[mV]	1,6	1,5	3	3	3	6
($I_O=500mA$) ΔU_I	[V]	8÷12	9÷13	13÷25	16÷22	20÷26	30÷36
WOSN	[mV]	4	3	4	5	4	5
ΔI_O	[mA]	250÷750	250÷750	250÷750	250÷750	250÷750	250÷750
I_{SP}	[mA]	5	5	5,1	5,1	5,2	5,2
WTT	[dB]	73	75	71	71	70	67
R_O	[mΩ]	15	19	17	18	19	28
I_{ZW}	[mA]	230	250	250	230	250	230
TWN	[mV/K]	- 0,8	-0,8	-1	-1	-1	-1,5
Zakres temperatur	[°C]	0÷125	0÷125	0÷125	0÷125	0÷125	0÷125

W stabilizatorach stosuje się dwie grupy zabezpieczeń:

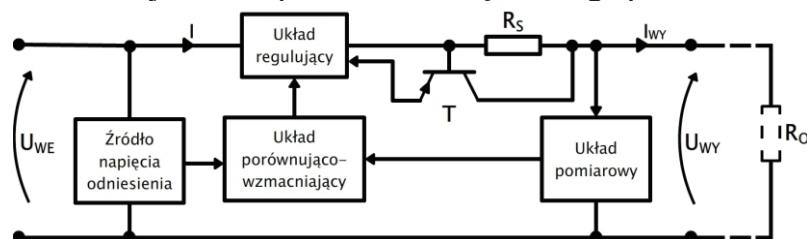
- Zabezpieczenia nadnapięciowe – czyli takie, które służą do zabezpieczenia stabilizatora lub układu obciążającego przed pojawieniem się niepożądanego napięcia. Najprostszym i najczęściej stosowanym zabezpieczeniem nadnapięciowym jest kondensator. Najczęściej stosuje się kondensatory monolityczne o wartościach z zakresu 1nF do 1μF włączane równolegle do wejścia i wyjścia stabilizatora. Innymi elementami zabezpieczeń nadnapięciowych są diody włączane na wejściu i wyjściu stabilizatora oraz równolegle do elementów regulacyjnych. Podczas normalnej pracy stabilizatora diody te są spolaryzowane zaporowo. Zabezpieczają stabilizator i układ regulacyjny przed zniszczeniem wskutek odwrotnego włączenia wejściowego napięcia niestabilizowanego lub przyłączenia wyjścia do napięcia o odwrotnej polaryzacji. Ponieważ w wyniku uszkodzenia stabilizatora jego napięcie wejściowe może przedostać się na wyjście i uszkodzić układ zasilany często stosuje się tzw. zwieracze. Na rys. 21. przedstawiono oprócz pozostałych wymienionych zabezpieczeń nadnapięciowych również układ zwieracza tyrystorowego, złożonego z diody Zenera DZ, rezystora R oraz tyrystora TY. Jeżeli wartość napięcia wyjściowego będzie

równa wartości napięcia stabilizacji diody Zenera i napięcia przewodzenia złącza bramka – katoda, nastąpi włączenie tyrystora. Zadziałanie tego zabezpieczenia powoduje zmniejszenie napięcia wyjściowego stabilizatora do 1V. Powrót układu zabezpieczenia do stanu początkowego jest możliwy jedynie po wyłączeniu całego zasilacza.



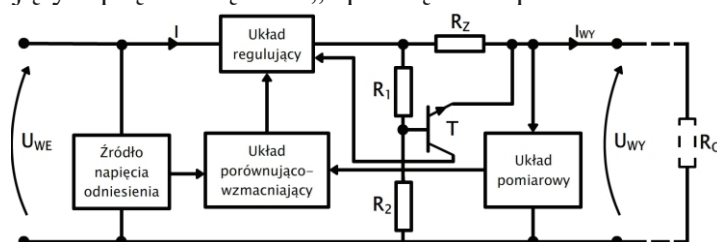
Rys. 21. Schemat funkcjonalny stabilizatora szeregowego z zabezpieczeniami nadnapięciowymi. [7, s. 253]

- Zabezpieczenia nadprądowe – czyli takie, które służą do zabezpieczenia stabilizatora lub układu obciążającego przed prądem o dużej wartości. Najczęściej stosowanym zabezpieczeniem nadprądowym jest bezpiecznik topikowy. Umieszcza się go w obwodzie pierwotnym transformatora sieciowego oraz na wyjściu stabilizatora. Zapewnia on skuteczną ochronę przed zwarcie wyjścia stabilizatora, jednak nie chroni przed wzrostem prądu obciążenia nieznacznie większym od nominalnej wartości prądu bezpiecznika. Na rys.22. przedstawiono jeden ze sposobów rozwiązania tego problemu.



Rys. 22. Stabilizator z układem ograniczającym prąd obciążenia [7, s. 254]

Wzrost prądu wyjściowego powyżej wartości maksymalnej powoduje spadek napięcia na rezystorze R_s i załączenie tranzystora T, który zmniejszy wartość prądu sterującego układ regulujący, zapewniając stałą wartość prądu obciążenia. Modyfikację tego układu, zwaną układem ograniczającym prąd obciążenia „z podcięciem” przedstawiono na rys.23.



Rys. 23. Stabilizator z układem ograniczającym prąd obciążenia „z podcięciem” [7, s. 253]

Układ ten dodatkowo zabezpiecza przed uszkodzeniem termicznym przez zmniejszenie mocy wydzielanej w układzie. Tranzystor zabezpieczający jest sterowany różnicą spadków napięć na rezystorach R_1 i R_2 . Gdy tranzystor się włączy powoduje mniejsze wysterowanie układu regulacyjnego, czyli zmniejszenie napięcia wyjściowego. Następuje zmniejszenie napięcia na bazie tranzystora, co powoduje większe wysterowanie tranzystora, czyli jeszcze większe zmniejszenie napięcia wyjściowego. Proces ten kończy się gdy $U_{wy}=0$. Projektując takie zabezpieczenie trzeba uważać dobierając prąd zwarcia I_{zw} . Wartość prądu zwarcia nie powinna być zbyt mała, gdyż stabilizator może w ogóle „nie wystartować” w warunkach normalnego obciążenia.

4.3.2 Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Czy potrafisz narysować przykład stabilizatora parametrycznego?
2. Czy potrafisz zaprojektować prosty stabilizator parametryczny?
3. Czy potrafisz narysować charakterystykę prądowo – napięciową stabilizatora parametrycznego z diodą Zenera?
4. Czy potrafisz wymienić parametry stabilizatorów?
5. Czy potrafisz zdefiniować podstawowe parametry stabilizatorów?
6. Czy potrafisz zmierzyć podstawowe parametry stabilizatorów?
7. Czy potrafisz zmierzyć i wykreślić charakterystykę obciążeniową stabilizatorów?

4.3.3 Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Zaprojektuj stabilizator parametryczny dla następujących założeń:

- napięcie wyjściowe $U_O=10V$,
- prąd wyjściowy $I_O=5mA$,
- współczynnik stabilizacji $S=0,8\%$

Sposób wykonania ćwiczenia.

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) przypomnieć sobie z jakich elementów jest zbudowany najprostszy stabilizator parametryczny oraz jak zależą jego parametry od wykorzystanych elementów dyskretnych,
- 2) wypisać dane i szukane, zapisać wzory, z których będziesz korzystać,
- 3) w katalogach elementów i układów elektronicznych wyszukać odpowiednie elementy dyskretnie, narysować schemat ideowy projektowanego stabilizatora,
- 4) zaprezentować rozwiązanie koledze uzasadniając wybór elementów,
- 5) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia,
- 6) na wykonanie ćwiczenia masz 30 minut.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- biały papier formatu A3 dla każdego zespołu,
- katalogi elementów i układów elektronicznych (w postaci drukowanej lub na płytach CD),
- stanowiska komputerowe z dostępem do Internetu oraz oprogramowaniem do projektowania schematów ideowych.

Ćwiczenie 2

Zaplanuj prace związane z pomiarem parametrów stabilizatorów oraz wyznaczaniem ich charakterystyk.

Sposób wykonania ćwiczenia.

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) przypomnieć sobie definicje podstawowych parametrów stabilizatorów,
- 2) wybrać parametry, które będziesz mierzyć,

- 3) zaplanować prace związane z pomiarem parametrów układu stabilizatora, narysować schematy pomiarowe i zaproponować tabele, w których będą zapisywane wyniki pomiarów,
- 4) zaprezentować opracowany plan prac kolegom,
- 5) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia,
- 6) na wykonanie ćwiczenia masz 30 minut.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- biały papier formatu A3 dla każdego zespołu.

Ćwiczenie 3

Zmierz podstawowe parametry układów stabilizatorów zawierających elementy dyskretne.

Sposób wykonania ćwiczenia.

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) przygotować plan czynności opracowany w ćwiczeniu 2,
- 2) skompletować aparaturę potrzebną do przeprowadzenia niezbędnych pomiarów,
- 3) przy doborze mierników zwracać uwagę na zakresy pomiarowe,
- 4) wykorzystując makiety ze stabilizatorami połączyć aparaturę pomiarową z układem badanego stabilizatora z według schematów zamieszczonych w planie czynności,
- 5) postępując zgodnie z instrukcją dokonać pomiaru parametrów stabilizatora,
- 6) wykonać konieczne obliczenia,
- 7) zaprezentować wyniki i sformułować wnioski,
- 8) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia,
- 9) na wykonanie ćwiczenia masz 60 minut.

Uwaga:

Zanim zostanie przyłączone napięcie, połączony układ pomiarowy musi sprawdzić nauczyciel.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- biały papier formatu A3 dla każdego zespołu,
- plan czynności ze schematami pomiarowymi
- makiety ze stabilizatorami o działaniu ciągłym i impulsowym zawierającymi elementy dyskretne,
- przewody łączeniowe,
- przyrządy pomiarowe (oscylloskop z sondami pomiarowymi, amperomierze, woltomierze).

Ćwiczenie 4

Zmierz podstawowe parametry układów stabilizatorów zawierających układy scalone.

Sposób wykonania ćwiczenia.

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) przygotować plan czynności opracowany w ćwiczeniu 2,
- 2) skompletować aparaturę potrzebną do przeprowadzenia niezbędnych pomiarów,
- 3) przy doborze mierników zwracać uwagę na zakresy pomiarowe,
- 4) wykorzystując makiety ze stabilizatorami połączyć aparaturę pomiarową z układem badanego stabilizatora z według schematów zamieszczonych w planie czynności,
- 5) postępując zgodnie z instrukcją dokonać pomiaru parametrów stabilizatora,
- 6) wykonać konieczne obliczenia,

- 7) zaprezentować wyniki i sformułować wnioski,
- 8) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia,
- 9) na wykonanie ćwiczenia masz 60 minut.

Uwaga:

Zanim zostanie przyłączone napięcie, połączony układ pomiarowy musi sprawdzić nauczyciel.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- biały papier formatu A3 dla każdego zespołu,
- plan czynności ze schematami pomiarowymi
- makiety ze stabilizatorami o działaniu ciągłym i impulsowym zawierającymi układy scalone,
- przewody łączeniowe,
- przyrządy pomiarowe (oscylloskop z sondami pomiarowymi, amperomierze, woltomierze).

Ćwiczenie 5

Wyznacz charakterystyki stabilizatorów o działaniu ciągłym i impulsowym zawierających układy scalone.

Sposób wykonania ćwiczenia.

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) przygotować plan czynności opracowany w ćwiczeniu 2,
- 2) skompletować aparaturę potrzebną do przeprowadzenia niezbędnych pomiarów,
- 3) przy doborze mierników zwracać uwagę na zakresy pomiarowe,
- 4) wykorzystując makiety ze stabilizatorami połączyć aparaturę pomiarową z układem badanego stabilizatora z według schematów zamieszczonych w planie czynności,
- 5) postępując zgodnie z instrukcją dokonać pomiaru charakterystyk stabilizatora,
- 6) wykreślić badane charakterystyki,
- 7) zaprezentować wyniki i sformułować wnioski,
- 8) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia,
- 9) na wykonanie ćwiczenia masz 60 minut.

Uwaga:

Zanim zostanie przyłączone napięcie, połączony układ pomiarowy musi sprawdzić nauczyciel.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- biały papier formatu A3 dla każdego zespołu,
- plan czynności ze schematami pomiarowymi,
- makiety ze stabilizatorami o działaniu ciągłym i impulsowym zawierającymi elementy dyskretne, przewody łączeniowe,
- przyrządy pomiarowe (oscylloskop z sondami pomiarowymi, amperomierze, woltomierze).

4.3.4 Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) wymienić rodzaje stabilizatorów?	☐	☐
2) narysować przykład stabilizatora parametrycznego?	☐	☐
3) wyjaśnić zasadę działania stabilizatora parametrycznego?	☐	☐
4) zaprojektować prosty stabilizator parametryczny?	☐	☐
5) narysować charakterystykę prądowo – napięciową stabilizatora parametrycznego z diodą Zenera?	☐	☐
6) wymienić cechy stabilizatorów parametrycznych?	☐	☐
7) wyjaśnić zasadę działania stabilizatora kompensacyjnego o działaniu ciągłym?	☐	☐
8) narysować schemat stabilizatora kompensacyjnego o działaniu ciągłym?	☐	☐
9) wymienić cechy stabilizatora kompensacyjnego o działaniu ciągłym?	☐	☐
10) wyjaśnić zasadę działania stabilizatora kompensacyjnego impulsowego?	☐	☐
11) narysować schemat stabilizatora kompensacyjnego impulsowego?	☐	☐
12) wymienić cechy stabilizatora kompensacyjnego impulsowego?	☐	☐
13) wymienić parametry stabilizatorów?	☐	☐
14) zdefiniować podstawowe parametry stabilizatorów?	☐	☐
15) zmierzyć podstawowe parametry stabilizatorów?	☐	☐
16) wymienić cechy stabilizatorów scalonych?	☐	☐
17) wymienić rodzaje stabilizatorów scalonych?	☐	☐
18) wyjaśnić, po co do zacisków wyjściowych stabilizatorów dołącza się kondensatory ?	☐	☐
19) narysować stabilizator z zabezpieczeniem nadprądowym?	☐	☐
20) narysować stabilizator z zabezpieczeniem nadnapięciowym?	☐	☐

4.4 Projektowanie, montowanie i uruchamianie zasilaczy.

Wykrywanie uszkodzeń w układach zasilaczy

4.4.1 Materiał nauczania

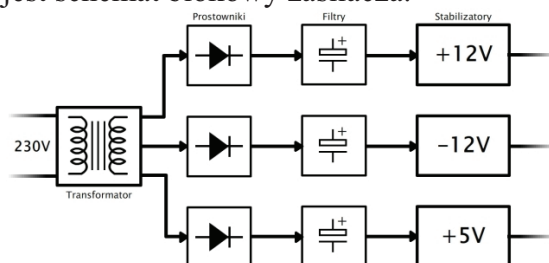
Wbrew pozorom zaprojektowanie zasilacza nie jest wcale proste, jeżeli chce się to zrobić w sposób optymalny, biorąc pod uwagę wszystkie zakładane parametry wyjściowe zasilacza, oraz warunki w jakich mu przyjdzie pracować (np. zmiany napięcia wejściowego czyli napięcia sieci). Projektowanie zasilacza należy zacząć od określenia wartości napięć wyjściowych, dopuszczalnych tętnień (czyli zmian napięcia wyjściowego) oraz maksymalnych prądów wyjściowych. Trzeba określić czy będzie to zasilacz stabilizowany. Poniżej przedstawiono etapy projektowania zasilacza sieciowego.

W pierwszej kolejności przy projektowaniu zasilacza trzeba sobie odpowiedzieć na pytanie do jakich celów będzie on używany, czyli określić parametry zasilacza. Załóżmy, że zasilacz będzie spełniał następujące warunki :

- musi to być zasilacz stabilizowany,
- powinien mieć trzy napięcia wyjściowe:
- stałe +5 V przy prądzie obciążenia przynajmniej 1,5 A,
- stałe +12 V przy prądzie obciążenia 1 A,
- stałe -12 V przy prądzie obciążenia 1 A,
- tętnienia nie powinny przekraczać 2% wartości napięcia wyjściowego,
- powinien posiadać zabezpieczenie przeciwzwarciowe,

Oczywiście są to przykładowe parametry. Jeśli projektowany zasilacz ma być fragmentem układu elektronicznego to jego parametry będą zależały od wymagań stawianych przez ten układ. Na przykład dla układów wzmacniaczy mocy nie projektuje się zasilaczy stabilizowanych.

Na rys. 24. przedstawiony jest schemat blokowy zasilacza.



Rys. 24. Schemat blokowy przykładowego zasilacza

Zasadę rysowania schematów blokowych dobrze jest stosować zawsze przy projektowaniu układów elektronicznych. Schemat blokowy podzieli cały układ na bloki funkcjonalne co ułatwia i przyspiesza projektowanie.

Najtrudniejszym zadaniem jest właściwy dobór transformatora, gdyż musi on uwzględniać wiele czynników mających wpływ na pracę zasilacza takich, jak:

- dopuszczalny zakres zmian napięcia sieciowego czyli $230V \pm 10\%$,
- spadek napięcia na prostowniku,
- spadek napięcia na stabilizatorze,
- minimalna wartość napięcia potrzebnego do poprawnej pracy układu stabilizatora,
- straty napięcia wyjściowego wynikające z rezystancji wewnętrznej uzwojeń transformatora,
- moc wyjściowa zasilacza i straty mocy na poszczególnych elementach zasilacza.

Przy projektowaniu zasilaczy dużą rolę odgrywa rezystancja wewnętrzna R_w uzwojeń transformatora. Jest to bardzo ważny parametr, jednak często zapomina się o nim. Często słyszy się określenie, że transformator jest bardziej lub mniej „miękki”, czyli że napięcie wyjściowe

zmniejsza się przy zwiększaniu obciążenia. Za taki efekt odpowiedzialna jest właśnie rezystancja uzwojeń. Rezystancję wewnętrzną można obliczyć na podstawie podawanych przez producenta transformatorów wartości znamionowych napięć i prądów (U_{nsk} , I_{nsk} - są to wartości skuteczne) oraz współczynnika s_u . Nie zawsze jest on podawany, ale można go wyliczyć znając napięcie biegu jałowego U_{0sk} (jeśli nie jest podane można je zmierzyć).

$$s_u = \frac{U_{0sk}}{U_{nsk}}$$

Korzystając z tego wzoru można wyliczyć rezystancję wewnętrzną R_w transformatora:

$$R_w = \frac{U_{0sk} - U_{nsk}}{I_{nsk}} [\Omega]$$

Rezystancja wewnętrzna transformatora ma wpływ na:

- spadek napięcia wyjściowego transformatora pod obciążeniem,
- prąd szczytowy przewodzenia diody w układzie zasilacza, a co za tym idzie również na spadek napięcia na diodzie.

Podsumowując, nie da się określić wprost, jakie będzie naprawdę napięcie wyjściowe z prostownika. Będzie ono na pewno niższe niż wynikałoby to z prostego przemnożenia katalogowej wartości napięcia nominalnego U_{nsk} pomnożonego przez $\sqrt{2}$. Dlatego należy dobierać transformator o mocy większej niż wynikałoby z porównania mocy wyjściowej, jaką potrzebujemy z katalogową wartością mocy transformatora.

Należy się zastanowić ile uzwojeń wtórnych powinien mieć transformator, który będziemy chcieli zastosować. Dla zasilacza, którego parametry i zastosowanie określono wcześniej dobrze jest zastosować transformator o trzech uzwojeniach wtórnych. Dwa uzwojenia będą o takiej samej wartości napięcia oraz obciążalności i będą służyły do uzyskania napięć zasilacza $\pm 12V$, trzecie uzwojenie będzie służyło dla uzyskania napięcia $+5V$. Wybór takiego transformatora pozwoli na zmniejszenie jego mocy (niższe napięcie jednego z uzwojeń) oraz na separację poszczególnych obwodów zasilania od siebie. Pociąga to oczywiście za sobą konieczność użycia trzech układów prostowniczych. W przypadku, gdy masa układu zasilanego z naszego zasilacza będzie wspólna, wystarczy przewidzieć w konstrukcji obudowy zasilacza zewnętrzne zwory umożliwiające połączenie mas poszczególnych napięć zasilacza. Do realizacji napięć $\pm 12V$ można by użyć jednego prostownika stosując układ z dzielonym uzwojeniem wtórnym, ale wówczas pozbawimy się możliwości separacji tych obwodów zasilania. Ostateczny wybór i tak będzie zależny od możliwości zakupu właściwego transformatora.

Układ prostownika jednopółkowego może być stosowany tylko tam gdzie są małe obciążenia i gdzie nie zależy nam na małych tętnieniach napięcia wyjściowego. Jeżeli mamy wyższe wymagania należy zastosować prostownik dwupółkowy. Wydawałoby się, że układ z dzielonym uzwojeniem jest lepszy od układu mostkowego, gdyż potrzebne są tylko dwie diody i są mniejsze straty napięcia wyjściowego, ale jak łatwo zauważyć zamiast jednego uzwojenia wtórnego potrzebne są dwa uzwojenia o tych samych napięciach wyjściowych. Wprawdzie uzwojenia te mogą być o mocy dwa razy mniejszej niż dla układu mostkowego, lecz będzie to okupione dwukrotnym zwiększeniem rezystancji wewnętrznej transformatora, a co za tym idzie większymi stratami napięcia na transformatorze. Przy małych napięciach wyjściowych, dla których spadki napięcia na diodzie są znacznymi, lepiej jest stosować układ z dzielonym uzwojeniem wtórnym, natomiast dla dużych napięć wyjściowych korzystniejszy jest układ mostkowy.

Jeżeli nie zależy nam na izolowanych od siebie masach napięć dodatniego i ujemnego w zasilaczu, to korzystnym jest rozwiązanie z prostownikiem z dzielonym uzwojeniem (dwa symetryczne napięcia wyjściowe). Natomiast niewątpliwą korzyścią w układzie mostkowym jest to, że można uzyskać dwa razy większy prąd stosując ten sam typ diod co w układzie

jednopołówkowym. Na przykład dla diod z serii 1N4001 ... 1N4007 prąd przewodzenia wynosi 1A - w układzie mostkowym można uzyskać 2A. Jest to spowodowane tym, że średni prąd przewodzenia każdej gałęzi mostka jest równy połowie prądu wyjściowego. Moc strat dla pojedynczej diody będzie w związku z tym o połowę mniejsza niż dla diody w układzie jednopołówkowym. Następną korzyścią jest to, że napięcie wsteczne jest dwa razy mniejsze niż w układzie prostownika jednopołówkowego. Na koniec jeszcze jedna zaleta układu mostkowego - napięcie tętnień U_{tp} jest w przybliżeniu dwukrotnie mniejsze niż w układzie jednopołówkowym. Podsumowując bardziej korzystnym i najczęściej stosowanym jest układ prostownika mostkowego. Również w naszym przykładzie zasilacza zastosujemy prostowniki mostkowe budując je np. z diod 1N4001 (lub podobnych) ewentualnie można zastosować gotowe mostki. Szczegółowe wyliczenia będą oczywiście możliwe dopiero po określeniu jakie napięcie wyjściowe jest potrzebne i jakie napięcie minimalne na wyjściu prostownika jest dopuszczalne. Jest to uzależnione od zastosowanego układu stabilizatora (musimy wiedzieć jaka jest dopuszczalna różnica napięć pomiędzy wyjściem, a wejściem stabilizatora). Zastosujemy układy stabilizatorów scalonych 7805, 7812 i 7912.

Kondensator, który należy umieścić na wyjściu układu prostownika odgrywa bardzo ważną rolę, gdyż od niego zależy wielkość tętnień napięcia wyjściowego. Im większa pojemność kondensatora tym tętnienia mniejsze. Można również zauważyć, że im większy prąd wyjściowy tym większy kondensator należałoby zastosować. Korzystając ze wzoru na napięcie tętnień prostownika dwupołówkowego U_{tp} można otrzymać zależność na wartość pojemności kondensatora filtrującego przy zakładanych wartościach tętnień i prądu wyjściowego.

$$C = \frac{I_{\text{wy}}}{2fU_{\text{tp}}} [\text{F}]$$

gdzie $f=50\text{Hz}$ jest częstotliwością napięcia sieciowego 230V. Zakładając napięcie tętnień 0,5V przy prądzie 1,5A obliczona wartość pojemności kondensatora filtrującego wyniesie $C=30000\mu\text{F}$, co jest wartością bardzo dużą. W praktyce stosuje się o wiele mniejsze pojemności, godząc się z większymi tętnieniami. Dopuszczalną wartość tętnień wyznaczy nam znamionowa wartość napięcia wyjściowego transformatora (jakim będziemy dysponować), spadek napięcia na diodach prostownika oraz wymagana różnica napięć pomiędzy wyjściem i wejściem stabilizatora a także oczywiście napięcie wyjściowe stabilizatora.

Układy stabilizacji napięć i dobór zabezpieczeń zasilaczy zostały dokładnie omówione w rozdziale poprzednim.

Wykrywanie uszkodzeń

Przed przystąpieniem do lokalizacji uszkodzenia zasilacza należy odpowiedzieć sobie na kilka pytań:

- czy urządzenie w ogóle działało poprawnie,
- jakie symptomy wskazują na to, że nie działa poprawnie,
- kiedy zaczął błędnie działać lub przestał działać,
- jakie symptomy wystąpiły tuż przed, w trakcie i tuż po awarii.

Odpowiedzi na te pytania pozwolą zaplanować pomiary w taki sposób, aby były one jak bardziej efektywne. Aby dobrze zaplanować działania, trzeba zdawać sobie sprawę z zasady działania badanego urządzenia, znać spodziewane wartości napięć w charakterystycznych punktach urządzenia oraz kształt przebiegów zmiennych w takich punktach.

4.4.2 Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Czy potrafisz określić jak zachowa się układ z zabezpieczeniem nadprądowym po przekroczeniu maksymalnej wartości prądu obciążenia?
2. Czy potrafisz podać przykład zabezpieczenia nadnapięciowego?
3. Czy potrafisz zaprojektować układ prostego zasilacza stabilizowanego?
4. Czy potrafisz wyjaśnić jakie funkcje spełniają poszczególne elementy prostego zasilacza stabilizowanego?
5. Czy potrafisz określić na podstawie pomiarów, który z elementów zasilacza może być uszkodzony?

4.4.3 Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Zbadaj wpływ zabezpieczeń nadprądowych i nadnapięciowych na pracę zasilacza.

Sposób wykonania ćwiczenia.

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) mając do dyspozycji makietę z układami zasilaczy elektronicznych, zaproponować i narysować schematy pomiarowe do wyznaczenia charakterystyk zasilacza, zaproponować tabele, w których podczas pomiarów będą zapisywane wyniki.
- 2) wyznaczyć charakterystykę obciążeniową (zależność napięcia wyjściowego od prądu obciążenia) zasilacza wyposażonego w zabezpieczenia nadprądowe i nadnapięciowe w symulowanych warunkach obciążenia
- 3) sprawdzić, jak wpływa zmiana napięcia wejściowego na pracę tego zasilacza (wyznaczyć charakterystykę $U_{WY}=f(U_{WE})$),
- 4) skompletować aparaturę potrzebną do przeprowadzenia niezbędnych pomiarów,
- 5) przy doborze mierników zwracać uwagę na zakresy pomiarowe,
- 6) przeprowadzić niezbędne pomiary i wykreślić charakterystyki,
- 7) na podstawie uzyskanych wyników pomiarów sformułować wnioski dotyczące wpływu zabezpieczeń nadprądowych i nadnapięciowych na pracę zasilacza,
- 8) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia,
- 9) na przeprowadzenie ćwiczenia masz 45 min.

Uwaga:

Zanim zostanie przyłączone napięcie, połączony układ pomiarowy musi sprawdzić nauczyciel.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- biały papier formatu A3 dla każdego zespołu,
- makiety z zasilaczami wyposażonymi w zabezpieczenia nadprądowe i nadnapięciowe,
- przewody łączeniowe,
- przyrządy pomiarowe (oscylloskop z sondami pomiarowymi, amperomierze, woltomierze).

Ćwiczenie 2

Zaprojektuj układ zasilacza spełniający następujące założenia:

- musi to być zasilacz stabilizowany,
- powinien mieć dwa napięcia wyjściowe:

- stałe +5 V przy prądzie obciążenia przynajmniej 1 A,
- stałe +12V przy prądzie obciążenia przynajmniej 1 A,
- tętnienia nie powinny przekraczać 2% wartości napięcia wyjściowego,
- powinien posiadać zabezpieczenie nadprądowe.

Sposób wykonania ćwiczenia.

Aby wykonać ćwiczenie powinien:

- 1) przypomnieć sobie z jakich elementów jest zbudowany zasilacz oraz jak zależą jego parametry od parametrów poszczególnych bloków,
- 2) narysować schemat blokowy projektowanego zasilacza,
- 3) przeprowadzić konieczne obliczenia, zapisać wzory, z których korzystasz,
- 4) w katalogach elementów i układów elektronicznych wyszukać odpowiednie elementy dyskretne, narysować schemat ideowy projektowanego zasilacza, możesz korzystać z zasobów Internetu,
- 5) zaprezentować rozwiązanie koledze uzasadniając wybór elementów,
- 6) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia,
- 7) na wykonanie ćwiczenia masz 30 minut.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- biały papier formatu A3 dla każdego zespołu,
- katalogi elementów i układów elektronicznych (w postaci drukowanej lub na płytach CD),
- stanowiska komputerowe z dostępem do Internetu oraz oprogramowaniem do projektowania schematów ideowych.

Ćwiczenie 3

Zmontuj i uruchom zasilacz na podstawie otrzymanego schematu ideowego.

Sposób wykonania ćwiczenia.

Aby wykonać ćwiczenie powinien:

- 1) przygotować schemat ideowy i montażowy, na podstawie których będziesz montował układ zasilacza,
- 2) skompletować wszystkie elementy konieczne do zmontowania układu zasilacza,
- 3) pracując na stanowisku do montowania układów elektronicznych zmontować układ zasilacza,
- 4) skompletować aparaturę potrzebną do przeprowadzenia niezbędnych pomiarów sprawdzających działanie zmontowanego zasilacza,
- 5) przy doborze mierników zwracać uwagę na zakresy pomiarowe,
- 6) sprawdzić, czy zmontowany przez Ciebie zasilacz pracuje poprawnie oraz czy spełnia założenia,
- 7) przeprowadzić niezbędne pomiary i testy w symulowanych warunkach obciążenia,
- 8) na podstawie uzyskanych wyników pomiarów sformułować wnioski dotyczące działania układu,
- 9) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia,
- 10) na wykonanie ćwiczenia masz 60 minut.

Uwaga:

Zanim zostanie przyłączone napięcie, połączony układ zasilacza musi sprawdzić nauczyciel.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- biały papier formatu A3 dla każdego zespołu, schemat ideowy zasilacza,
- stanowisko do montowania układów elektronicznych wyposażone we wszystkie niezbędne elementy elektroniczne,
- przewody łączeniowe,
- przyrządy pomiarowe (oscylloskop z sondami pomiarowymi, amperomierze, woltomierze).

Ćwiczenie 4

W podanym układzie zasilacza zlokalizuj usterkę.

Sposób wykonania ćwiczenia.

Aby wykonać ćwiczenie powinien:

- 1) podczas ćwiczenia wykorzystywać makiety z układami zasilaczy elektronicznych umożliwiające symulację uszkodzeń zasilaczy,
- 2) zapoznać się ze schematem ideowym badanego zasilacza,
- 3) zaplanować pracę tak, aby szybko i skutecznie znaleźć usterkę,
- 4) zaproponować schematy pomiarowe oraz skompletować aparaturę potrzebną do przeprowadzenia niezbędnych pomiarów,
- 5) przy doborze mierników zwracać uwagę na zakresy pomiarowe,
- 6) po zlokalizowaniu uszkodzenia nauczyciel poprosi Cię o zaproponowanie sposobu usunięcia usterki,
- 7) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia,
- 8) na wykonanie ćwiczenia masz 45 minut.

Uwaga:

Zanim zostanie przyłączone napięcie, połączony układ pomiarowy musi sprawdzić nauczyciel.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- biały papier formatu A3 dla każdego zespołu, schemat ideowy badanego zasilacza,
- makietę z układami zasilaczy umożliwiającą symulowanie uszkodzeń zasilaczy,
- przewody łączeniowe,
- przyrządy pomiarowe (oscylloskop z sondami pomiarowymi, amperomierze, woltomierze).

4.4.4 Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) podać przykład zabezpieczenia nadprądowego?	☐	☐
2) określić, jak zachowa się układ z zabezpieczeniem nadprądowym po przekroczeniu maksymalnej wartości prądu obciążenia?	☐	☐
3) podać przykład zabezpieczenia nadnapięciowego?	☐	☐
4) zaprojektować układ prostego zasilacza stabilizowanego?	☐	☐
5) wyjaśnić, jakie funkcje spełniają poszczególne elementy prostego zasilacza stabilizowanego?	☐	☐
6) powiązać parametry zasilacza z elementami, które mają wpływ na wartość tych parametrów	☐	☐
7) określić na podstawie pomiarów, który z elementów zasilacza może być uszkodzony?	☐	☐
8) dobierać zasilacze do konkretnych zastosowań, wymagań?	☐	☐

6. LITERATURA

1. Carr J.: Zasilacze urządzeń elektronicznych. Przewodnik dla początkujących. BTC, Warszawa 2004
2. Chwaleba A., Moeschke B., G. Płoszajski: Elektronika. WSiP, Warszawa 1999
3. Hill W., Horowitz P.: Sztuka elektroniki 1 i 2. WKŁ, Warszawa 2001
4. Marusak A.: Urządzenia elektroniczne. Cz. II Układy elektroniczne. WSiP, Warszawa 2000
5. Nührmann D.: Elektronika łatwiejsza niż przypuszczasz. Układy scalone. WKŁ 1985
6. Pasierbiński J., Rusek M.: Elementy i układy elektroniczne w pytaniach i odpowiedziach. WNT, Warszawa 1999
7. Pióro B., Pióro M.: Podstawy elektroniki. WSiP, Warszawa 2002
8. Schenk Ch., Tietze U.: Układy półprzewodnikowe. WNT, Warszawa 1996
9. Ziolo K. (red): Laboratorium elektroniki II. Podstawowe układy analogowe, impulsowe i cyfrowe. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000