
PE-8

STABILIZATORY NAPIĘCIA

1 Zagadnienia teoretyczne

- Zasada działania transformatora i autotransformatora.
- Budowa i zasada działania prostownika diodowego (tzw. mostek Graetza).
- Budowa i zasada działania klasycznego zasilacza liniowego wyposażonego w: stabilizator parametryczny, stabilizator kompensacyjny.
- Parametry stabilizatorów, w szczególności:
 - współczynnik stabilizacji ze względu na zmiany napięcia wejściowego,
 - współczynnik stabilizacji ze względu na zmiany prądu obciążenia,
 - opór wewnętrzny stabilizatora,
 - współczynnik tętnień.
- Znajomość zasad bezpieczeństwa pracy z napięciem sieciowym i autotransformatorem!

Należy zapoznać się z rozdziałem 22 ze skryptu Pracownia Elektroniki (skan dostępny na Wirtualnym Kampusie), gdzie szczegółowo opisano parametry stabilizatorów [1].

Praktyczne informacje na temat gotowych (scalonych) stabilizatorów napięcia stosowanych w elektronice można znaleźć w książce Sztuka Elektroniki [2].

2 Elementy układu pomiarowego

- Transformator bezpieczeństwa o przekładni 1:1 oraz autotransformator.
- Woltomierz laboratoryjny napięcia przemiennego (50 Hz) o zakresach 150 i 300 V.
- Transformator 230 V / 2x9 V (bez prostownika).
- Płytki pomiarowe ze złączami radiowymi:
 - stabilizator parametryczny,
 - stabilizator kompensacyjny.
- Opornik dekadowy D-41.
- Multimetr Unitra VC-10T.
- Miliamperomierz analogowy.
- Oscyloskop cyfrowy Unit.

3 Wstęp i cel ćwiczenia

Stabilizator napięcia stałego to układ zapewniający możliwie niezmiennie napięcie wyjściowe niezależnie od wahań napięcia wejściowego, zmian prądu obciążenia czy warunków zewnętrznych, takich jak temperatura. Stosuje się je tam gdzie wymagany jest określony, stały poziom napięcia, czyli praktycznie we wszystkich urządzeniach elektrycznych gdzie występują układy cyfrowe wymagający np.: zasilania 5 V.

Klasyczny zasilacz liniowy zbudowany jest z następujących elementów:

- Transformator o określonej przekładni – obniża i izoluje napięcie sieciowe.
- Mostek prostowniczy (Graetza) – zamienia napięcie przemienne na pulsujące napięcie dodatnie.
- Kondensator filtrujący – wygładza tętnienia napięcia.
- Stabilizator liniowy (element aktywny) – utrzymuje zadane napięcie, nieco niższe od napięcia za kondensatorem filtrującym.

W ćwiczeniu rozpatrujemy dwa typy stabilizatorów napięcia: stabilizator parametryczny (złożony z diody Zenera oraz rezystora) oraz bardziej rozbudowany stabilizator kompensacyjny. Oprócz takich stabilizatorów, w praktyce szeroko stosuje się również gotowe stabilizatory liniowe w postaci scalonej. Do najbardziej popularnych należą układy serii 78xx (7805 - stabilizator 5V), które dostarczają stałe, z góry określone napięcia wyjściowe. Są one bardzo łatwe w zastosowaniu, są to elementy posiadające trzy kontakty, wejście, masa i wyjście i wymagają jedynie użycia zewnętrznego kondensatora. Mają wbudowane zabezpieczenia przez przegrzaniem czy zwarcie.

Drugą ważną grupę stanowią regulowane stabilizatory, takie jak popularny LM317, pozwalający ustawić napięcie wyjściowe w szerokim zakresie za pomocą dzielnika napięcia zbudowanego z dwóch rezystorów lub potencjometru.

Warto też wiedzieć, że większość stosowanych współcześnie zasilaczy użytkowych, takich jak ładowarki do telefonów, wykorzystuje stabilizatory impulsowe SMPS¹. W takich układach napięcie sieciowe najpierw prostuje się do wysokiego napięcia stałego, a następnie przełącza z dużą częstotliwością przy użyciu tranzystora mocy, w celu wytworzenia zmiennego napięcia o wysokiej częstotliwości rzędu setek kHz. Transformatory lub dławiki pracujące na tak wysokich częstotliwościach mogą mieć znacznie mniejszy rozmiar i wagę, a jednocześnie zapewniają wyższą sprawność takiego zasilacza.

Zasilacze impulsowe wymagają prostowania napięcia sieciowego 230 V, sterownika kluczującego tranzystor (często z aktywnym sprzężeniem zwrotnym), a także filtrów ograniczających zakłócenia generowane przez układy pracujące na wysokich częstotliwościach. Funkcje te realizują zwykle dedykowane układy scalone, które regulują napięcie wyjściowe, dostarczając sygnał sprzężenia zwrotnego do stopnia kluczującego dławik lub transformator. Nowoczesne kontrolery często wspierają komunikację z urządzeniem i dynamiczną zmianę napięcia lub mocy (np.: w standardach szybkiego ładowania typu Quick Charge).

Mimo tych możliwości, zasilacze liniowe pozostają niezastąpione tam, gdzie liczy się prostota, niezawodność i bardzo niski poziom zakłóceń.

Celem tego ćwiczenia jest zbadanie właściwości dwóch typów stabilizatorów, a w szczególności należy określić:

- Współczynnik stabilizacji ze względu na zmiany napięcia wejściowego.
- Współczynnik stabilizacji ze względu na zmiany prądu obciążania stabilizatora.
- Opór wewnętrzny stabilizatora.
- Współczynnik tętnień.

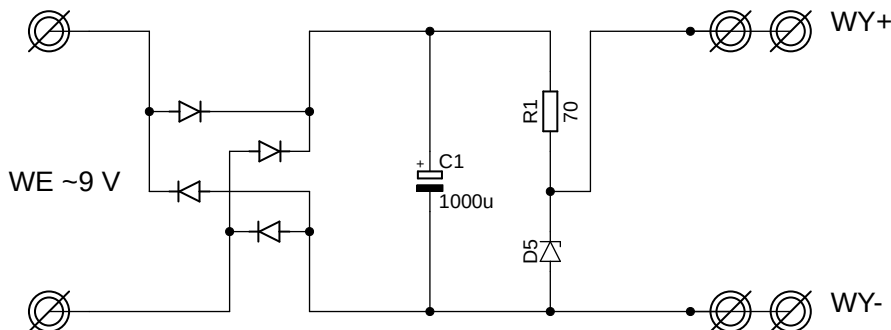
Szczegółowe informacje dotyczące sposobu wyznaczenia tych parametrów opisane są w dalszej części instrukcji.

3.1 Opis badanych stabilizatorów

W ćwiczeniu wykorzystujemy dwie płytki zawierające: stabilizator parametryczny oraz stabilizator kompensacyjny.

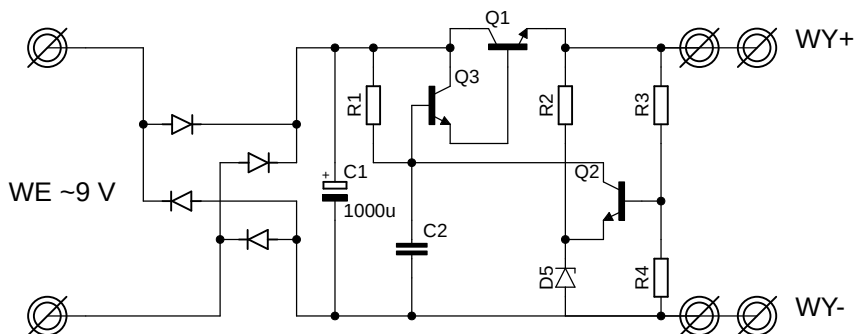
¹SMPS: z ang. Switch Mode Power Supply, czyli zasilacz impulsowy pracujący w trybie przełączanym.

Mają one jednakowy układ połączeń, czyli po lewej stronie są gniazda zasilające, do których podłączamy napięcie przemiennie 9 V oraz po prawej stronie wyjście – są tam dwie pary złącz umożliwiające podłączenie obciążenia oraz woltomierza.



Rysunek 1: Schemat badanego stabilizatora parametrycznego

Rys. 1 przedstawia schemat stabilizatora parametrycznego. Elementem stabilizującym jest tutaj dioda Zenera (D5), połączona szeregowo z rezystorem R1. Wykorzystuje się fakt, że charakterystyka prądowo-napięciowa diody Zenera w obszarze przebicia w kierunku zaporowym ma bardzo strome nachylenie. Oznacza to, że przy stosunkowo dużych zmianach prądu płynącego przez diodę napięcie na jej zaciskach zmienia się tylko w niewielkim zakresie.



Rysunek 2: Schemat badanego stabilizatora kompensacyjnego

Schemat badanego stabilizatora kompensacyjnego został przedstawiony na Rys. 2. W tym przypadku elementem wykonawczym jest tranzystor mocy Q1, zamocowany na radiatorze na płytce pomiarowej. To on przewodzi główny prąd obciążenia i reguluje wartość napięcia wyjściowego, zmieniając swoją rezystancję w stanie aktywnym.

Sterowanie tranzystorem Q1 odbywa się pośrednio poprzez tranzystor Q3, ponieważ prąd emitera Q3 jest jednocześnie prądem bazy Q1, dlatego im większy prąd płynie przez Q3, tym bardziej otwiera się tranzystor mocy Q1. Natomiast prąd bazy Q3 ustala z kolei tranzystor Q2 razem z rezystorem R1.

Tranzystor Q2 pełni funkcję elementu porównującego. Do jego bazy doprowadzone jest napięcie z dzielnika R3-R4, które jest proporcjonalne do napięcia wyjściowego. Emiter Q2 ma natomiast stałe napięcie referencyjne utworzone przez diodę Zenera D5 i rezystor R2.

Działanie układu najprościej zrozumieć analizując przypadek, gdy z powodu np.: zwiększenia obciążenia, napięcie wyjściowe zaczyna spadać. Jeśli napięcie wyjściowe zmaleje w stosunku do napięcia nominalnego to:

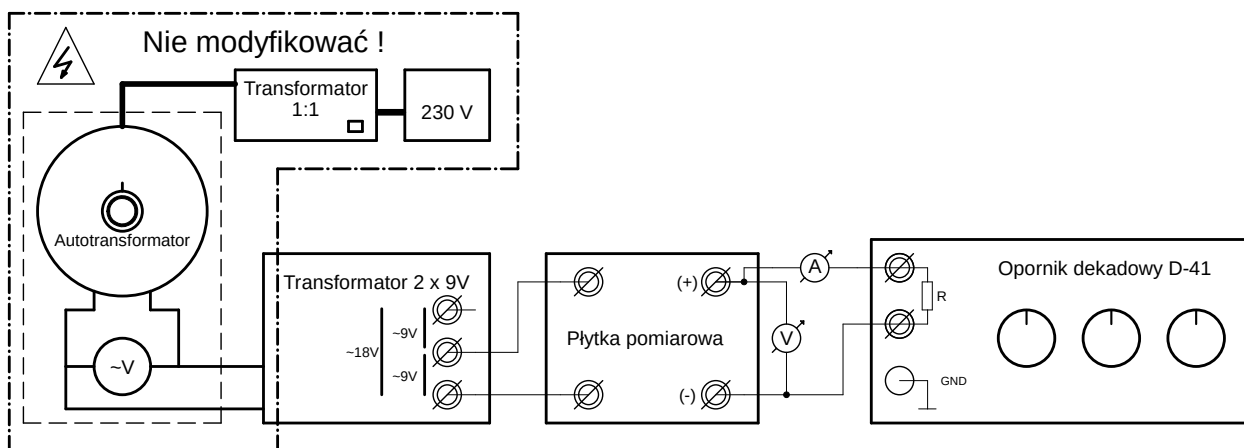
- spada napięcie na dzielniku utworzonego z rezystorów R3-R4,
- baza tranzystora Q2 ma niższy potencjał względem jego emitera (który trzyma stałe napięcie Zenera),
- prąd bazy Q2 maleje, a w efekcie prąd kolektora również Q2 maleje,
- R1 odkłada się mniejszy spadek napięcia, więc rośnie napięcie na bazie Q3,
- większe napięcie na bazie tranzystora Q3 oznacza większy prąd emitera tego tranzystora,
- zwiększony prąd emitera Q3 jest doprowadzany do bazy tranzystora Q1,
- tranzystor mocy Q1 bardziej się otwiera,
- napięcie wyjściowe wzrasta do wartości zadanej.

W takim stabilizatorze kompensacja polega na tym, że układ aktywnie przeciwdziała zmianom napięcia wyjściowego, wykrywając odchyłkę od wartości zadanej i wyrównując ją przez odpowiednią zmianę przewodzenia tranzystora mocy.

4 Instrukcja wykonania ćwiczenia

4.1 Uwagi ogólne

Przed rozpoczęciem ćwiczenia należy zestawić układ pomiarowy zgodnie ze schematem przedstawionym na Rys. 3. Ten sam układ wykorzystujemy do wykonania wszystkich punktów ćwiczenia, z tą różnicą, że w przypadku wyznaczania współczynnika tętnień do wyjścia stabilizatora, w miejsce woltomierza podłączamy wejście oscyloskopu.



Rysunek 3: Schemat układu pomiarowego

W układzie pomiarowym transformator 230 V / 2x9 V jest na stałe podłączony do wyjścia autotransformatora, do którego podłączono również woltomierz napięcia przemiennego ustawiony na odpowiedni zakres 300 V. Ta część układu jest dodatkowo osłonięta przed przypadkowym dotknięciem.

⚠ Występują tam napięcia niebezpieczne!

Autotransformator jest podłączony do napięcia sieciowego 230 V przez dodatkowy transformator separacyjny – ma on wbudowany włącznik umożliwiający odcięcie zasilania. Opisany tutaj fragment obwodu pomiarowego, zaznaczony przerywaną linią na Rys. 3, nie może być modyfikowany!

⚠ Wyjście autotransformatora traktujemy jako źródło napięcia niebezpiecznego dla życia nawet wtedy gdy jest on ustawiony na 0 V!

W ćwiczeniu należy zwrócić **szczególną uwagę** na ustawienia opornika dekadowego – im mniejszy ustawiona wartość oporu, tym większy będzie pobór prądu ze stabilizatora. Na początkowym etapie można ten opornik odłączyć od obwodu pomiarowego.

Wszystkie punkty ćwiczenia wykonujemy dla obu stabilizatorów – mają one identyczny rozkład gniazd wejściowych oraz wyjściowych, więc wystarczy je przełączać. Te dwa stabilizatory mają jednak inne dopuszczalne maksymalne prądy obciążenia I_{max} .

Przed przystąpieniem do wykonania kolejnych punktów ćwiczenia należy wykonać następujące czynności dla obu stabilizatorów:

- odłączamy opornik dekadowy,
- autotransformator ustawiamy na wartość napięcia sieciowego 230 V,
- przy odłączonym obciążeniu (odłączamy opornik dekadowy) należy zmierzyć napięcie wyjściowe poszczególnych stabilizatorów,
- znając napięcie wyjściowe obliczamy opór obciążenia² dla podanych wartości I_{max} .

Notujemy wartości oporu, dla poszczególnych wzmacniaczy.



Opór ustawiony na oporniku dekadowym nigdy nie powinien być istotnie mniejszy od wyznaczonych wartości!

4.2 Wyznaczyć współczynnik stabilizacji ze względu na zmiany napięcia wejściowego

Napięcie zasilające zmieniamy w granicach $230 \pm 20\%$ V. Należy obliczyć jakim napięciom odpowiada podany zakres – napięcia te będą ustawione przy pomocy autotransformatora (odczytujemy je z zainstalowanego przy nim woltomierza).

Pomiar wykonujemy dla trzech prądów obciążenia równych:

- $I_0 = I_{max}$.
- $I_0 = 1/2 \cdot I_{max}$,
- $I_0 = 0$ mA,

Najwygodniej zacząć pomiar od prądu równego I_{max} , co oznacza, że na oporniku dekadowym ustawiamy wyznaczoną wcześniej wartość oporu dla danego stabilizatora.

Ustawiamy nominalne napięcie (230 V) przy pomocy autotransformatora, a następnie korygujemy wartość oporu ustawioną na oporniku dekadowym (jeśli jest to konieczne) w celu uzyskania dokładnej wartości prądu obciążenia I_0 . W kolejnych krokach ustawiamy napięcie w wyznaczonym uprzednio zakresie przy pomocy pokrętki autotransformatora, odczytujemy to napięcie z podłączonego do niego woltomierza, notujemy je jako U_{we} . Dla każdego punktu pomiarowego zapisujemy napięcie wyjściowe stabilizatora U_{wy} .

Opisaną procedurę powtarzamy dla prądu obciążenia mniejszego o 1/2 (w tym celu **zwiększamy** wartość oporu) i w końcu dla przypadku gdzie prąd obciążenia wynosi zero, czyli po całkowitym odłączeniu opornika dekadowego.

²Korzystając z prawa Ohma.

4.2.1 Analiza wyników

W tym punkcie uzyskujemy ostatecznie dwa komplety danych (po jednym dla każdego stabilizatora). Każdy komplet danych zawiera trzy serie punktów pomiarowych zebranych dla różnych prądów obciążenia. Takie trzy serie należy przedstawić na jednym wykresie w postaci zależności $U_{wy} = f(U_{we})$.

Dla każdego prądu obciążenia obliczamy współczynnik stabilizacji zgodnie z zależnością:

$$\mu_U = \frac{\Delta U_{wy}/U_{wy}}{\Delta U_{we}/U_{we}} \quad (1)$$

gdzie: U_{wy} oraz U_{we} to nominalne wartości napięcia wejściowego oraz wyjściowego, natomiast ΔU_{wy} oraz ΔU_{we} to zmiany tych napięć, które należy odczytać ze sporządzonych wykresów.

W przypadku ΔU_{we} będzie to zakres zmian napięcia wejściowego, czyli zwykle:

$$\Delta U_{we} = 1.2 \cdot U_{we} - 0.8 \cdot U_{we} \quad (2)$$

Należy tutaj wstawić realnie zmierzony zakres zastosowanych napięć wejściowych.

Wartość ΔU_{wy} odczytujemy bezpośrednio z wykresu jako maksymalną różnicę napięć wyjściowych. Ostatecznie współczynnik stabilizacji μ_U podajemy w procentach.

4.3 Wyznaczyć współczynnik stabilizacji ze względu na zmiany prądu obciążenia

Ten punkt ćwiczenia wykonujemy korzystając z tego samego obwodu co w poprzednim ćwiczeniu. Tym razem ustawiamy napięcie zasilające na autotransformatorze na wartość nominalną 230 V. Zmieniamy natomiast prąd obciążenia od wartości zero do wartości I_{max} . Prąd obciążenia jest regulowany poprzez zmianę oporu, czyli jego stopniowe zmniejszanie, aż do uzyskania określonego prądu maksymalnego.

Ćwiczenie wykonujemy dla obu stabilizatorów.

4.3.1 Analiza wyników

Uzyskane w ten sposób wyniki przedstawiamy na wykresie w postaci krzywych $U_{wy} = f(I_0)$. Przeważnie, krzywa ta ma pewne nachylenie, i dla większych prądów obciążenia, uzyskuje się niższe napięcie wyjściowe. Nachylenie tego wykresu jest miarą wartości tego współczynnika, który wyznaczamy z poniższej zależności:

$$\mu_I = \frac{\Delta U_{wy}/U_{wy}}{\Delta I_0/I_0} \quad (3)$$

W celu lepszego porównania obu stabilizatorów, współczynnik μ_I możemy wyznaczyć dla prądu obciążenia $I_0 = 25 \pm 10$ mA.

Wiedząc jak zmienia się napięcie wyjściowe ΔU_{wy} w funkcji prądu obciążenia ΔI_0 można, korzystając z poniższej zależności obliczyć opór wewnętrzny stabilizatora.

$$R_I = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta I_0} \quad (4)$$

Wielkość ta jest wyrażona w Ω i jest odpowiednikiem oporu wewnętrznego ogniwa.

4.4 Wyznaczyć współczynnik tętnień

Napięcie wyjściowe stabilizatorów zasilanych poprzez transformator i prostownik z napięcia sieciowego zawiera zwykle, oprócz składowej stałej, również składową zmienną (tzw. tętnienia sieciowe) o amplitudzie U_{\sim} . Aby wyznaczyć amplitudę tętnień należy dla każdego stabilizatora ustawić obciążenie równe I_{max} , poprzez ustawienie odpowiedniego oporu na opornicy dekadowe. Dodatkowo, w miejsce woltomierza podłączamy oscyloskop cyfrowy.

Oscyloskop należy ustawić w ten sposób, żeby podstawa czasu była rzędu 10 ms, tryb wejścia: AC oraz amplituda stosownie do obserwowanych przebiegów. Z ekranu oscyloskopu odczytujemy amplitudę tętnień.

Stosunek tej amplitudy do napięcia wyjściowego określa współczynnik tętnień stabilizatora zgodnie z zależnością (wyrażany zwykle w %):

$$\mu_{\sim} = \frac{U_{\sim}}{U_{wy}} \quad (5)$$

5 Literatura

- [1] L. Gładyszewski i in. *Pracownia Elektroniki*. Lublin: Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, 1972.
- [2] Paul Horowitz i Winfield Hill. *Sztuka Elektroniki. Tom 1*. Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 2014.

Marek Kopciuszynski

Lublin, 13 marca 2026