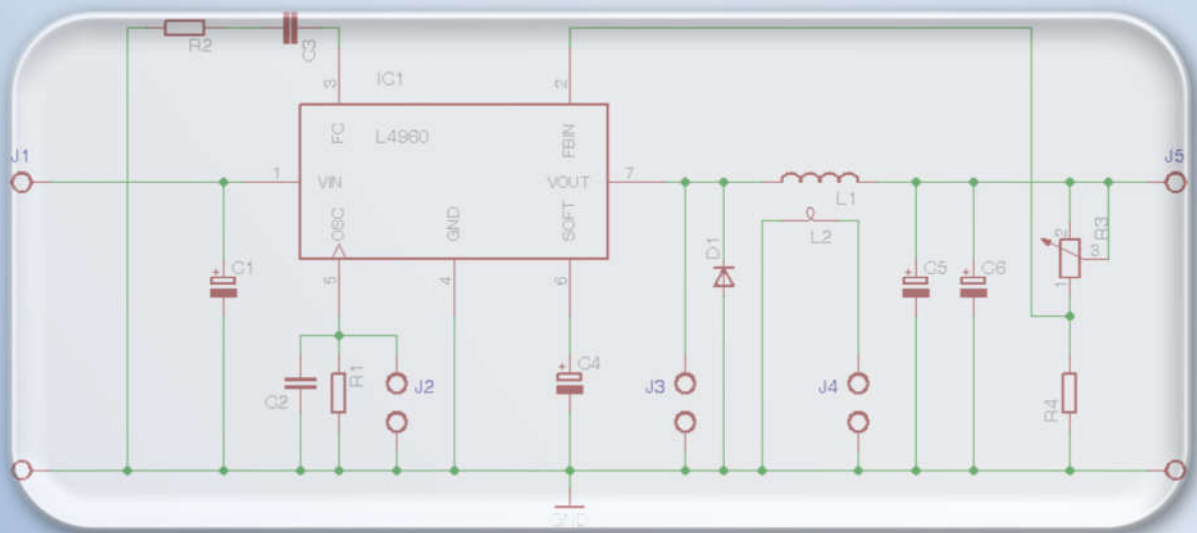


Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UMK

# Pracownia Elektroniczna

## ZESTAW 9

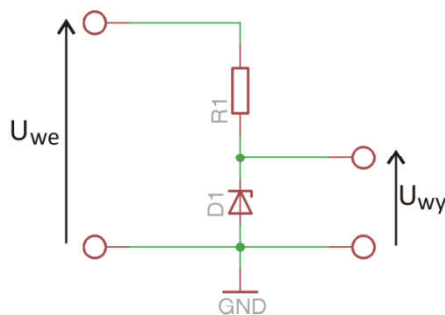
### PORÓWNANIE METOD STABILIZACJI NAPIĘCIA



## I. WSTĘP TEORETYCZNY

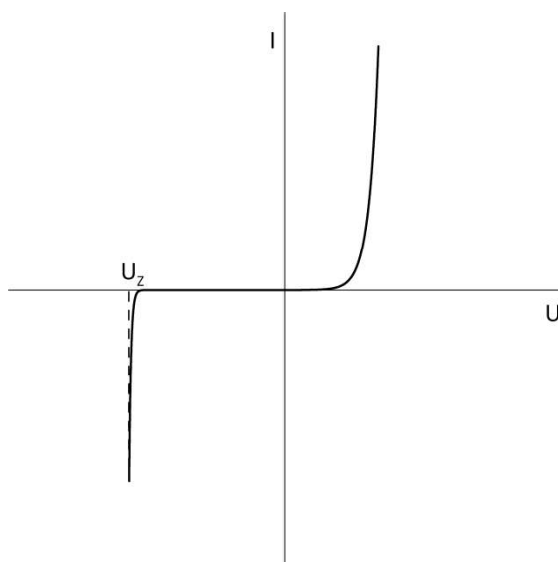
Układy stabilizatorów napięcia są powszechnie stosowane w obwodach zasilania układów elektronicznych. Umożliwiają one utrzymywanie zadanej wartości napięcia wyjściowego, w szerokim zakresie prądów obciążenia.

Na rysunku 1 przedstawiono najprostszy układ stabilizatora napięcia, wykorzystujący jako element stabilizujący diodę Zenera.



Rys. 1. Stabilizator napięcia z diodą Zenera.

Układ ten jest stosowany w praktyce jako proste źródło napięcia referencyjnego. Skończona stromość nachylenia charakterystyki diody Zenera w kierunku zaporowym (patrz rysunek 2) powoduje jednak, że dla dużych zmian wartości prądu wyjściowego (prądu obciążenia stabilizatora) układ charakteryzuje się niewielką stabilnością napięcia wyjściowego.



Rys. 2. Charakterystyka prądowo-napięciowa diody Zenera.  $U_z$  - napięcie Zenera, charakterystyczne dla danego typu diody.

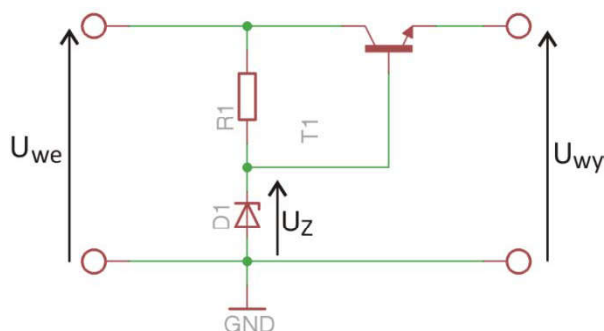
Na rysunku 3 przedstawiono bardziej rozbudowany układ stabilizatora wykorzystujący wzmacniacz tranzystorowy pracujący w układzie ze wspólnym emiterem. Napięcie wyjściowe układu, równe jest

napięciu referencyjnemu  $U_z$ , pomniejszonym o napięcie przewodzenia złącza baza-emiter tranzystora  $U_p$ :

$$U_{wy} = U_z - U_p$$

Dla tranzystorów krzemowych  $U_p = 0.6 \div 0.7 \text{ V}$ .

Ze względu na sposób podłączenia tranzystora, układy takie są nazywane stabilizatorami napięcia z tranzystorem szeregowym.



Rys. 3. Stabilizator napięcia z tranzystorem szeregowym.

Wadą powyższego układu jest duża moc cieplna wydzielana na tranzystorze szeregowym:

$$P = I_{wy}(U_{wy} - U_{we})$$

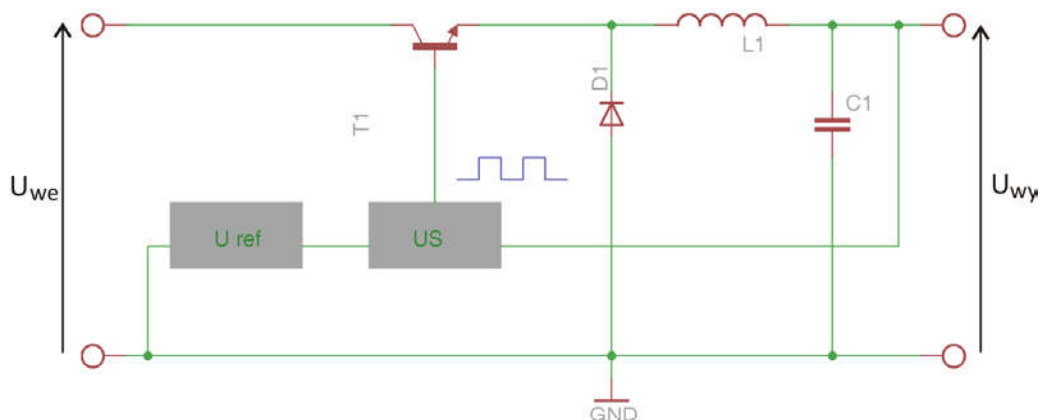
gdzie  $I_{wy}$  jest prądem wyjściowym (prądem obciążenia stabilizatora).

W skrajnie niekorzystnych warunkach pracy stabilizatora:

- duża różnica napięć na wejściu i wyjściu układu,
- duży pobór prądu,

stabilizator wykazuje małą sprawność energetyczną.

Dużo większą sprawność osiągają układy stabilizatorów impulsowych. W przedstawionym na rysunku 4 stabilizatorze impulsowym, tranzystor szeregowy  $T_1$  pracuje jako przełącznik, cyklicznie dołączający cewkę indukcyjną  $L_1$  do źródła napięcia wejściowego.



Rys. 4. Schemat stabilizatora impulsowego.

W czasie trwania impulsu włączającego tranzystor, prąd płynący przez cewkę wzrasta liniowo. W polu magnetycznym cewki gromadzi się energia proporcjonalna do kwadratu natężenia prądu

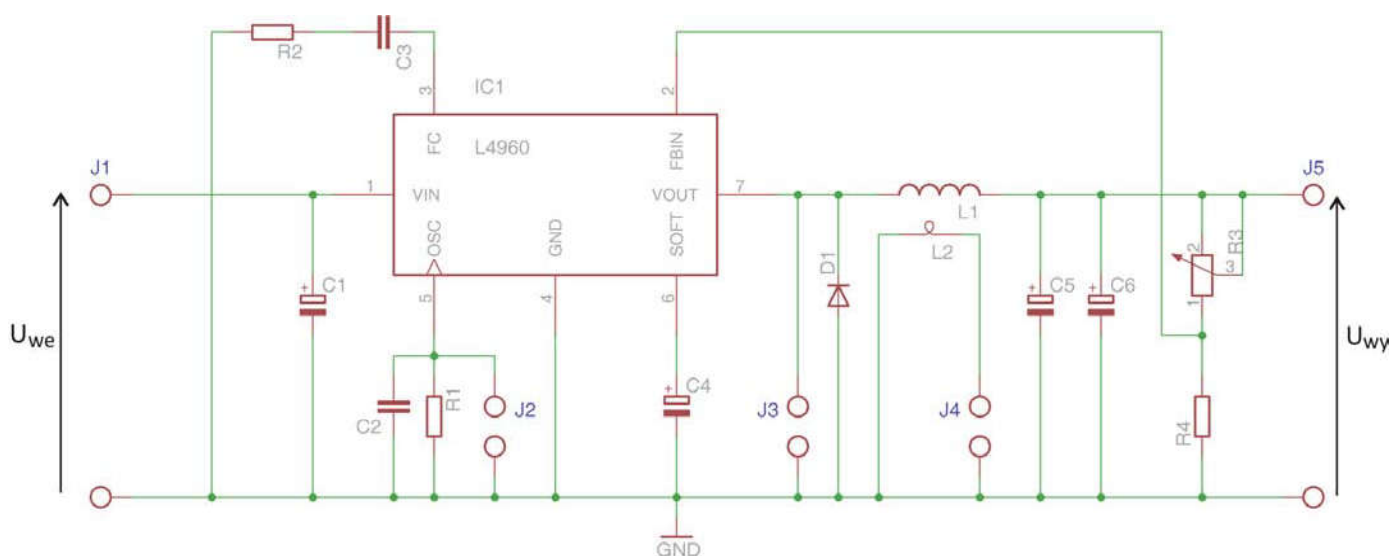
$$E = \frac{1}{2}LI^2$$

Dioda  $D_1$  jest wtedy spolaryzowana w kierunku zaporowym. Po wyłączeniu tranzystora  $T_1$ , do wyjścia układu dostarczana jest energia zmagazynowana w kondensatorze  $C_1$  oraz cewce indukcyjnej  $L_1$ . Powoduje to podtrzymanie ciągłości prądu obciążenia, gdy tranzystor nie przewodzi.

W tej fazie cyklu dioda  $D_1$  jest spolaryzowana w kierunku przewodzenia. Układ sterujący pracą tranzystora szeregowego - US, dokonuje porównania chwilowej wartości napięcia wyjściowego z wartością napięcia referencyjnego -  $U_{ref}$ . Napięcie wyjściowe jest korygowane poprzez zmianę częstotliwości przełączania tranzystora szeregowego, lub zmianę szerokości impulsu włączającego tranzystor.

Przedstawiony na rysunku 5, badany układ stabilizatora impulsowego \*) , wykorzystuje specjalizowany układ scalony L4960.

\*) W budowie układu wykorzystano zestaw "Miniaturowy stabilizator impulsowy" kit AVT 1081



Rys. 5. Schemat stabilizatora impulsowego z układem scalonym L4960.

Opis wyprowadzeń układu scalonego L4960:

- 1 - VIN - *voltage input* - napięcie wejściowe,
- 2 - FBIN - *feedback input* - wejście sygnału sprzężenia zwrotnego,
- 3 - FC - *frequency compensation* - kompensacja charakterystyk częstotliwościowych
- 4 - GND - *ground* - masa,
- 5 - OSC - *oscillator* - podłączony obwód równoległy RC ustala częstotliwość układu taktującego,
- 6 - SOFT - *soft start* - podłączony kondensator ustala stałą czasową łagodnego startu stabilizatora,
- 7 - VOUT - *voltage output* - napięcie wyjściowe,

Układ scalony IC<sub>1</sub> typu L4960 zawiera wewnętrzny układ taktujący sterowanie pracą tranzystora wyjściowego. Jego częstotliwość ustalana jest poprzez odpowiedni dobór zewnętrznych elementów: opornika R<sub>1</sub> oraz kondensatora C<sub>2</sub>.

Aby uniknąć gwałtownych impulsów prądowych na wyjściu stabilizatora, w momencie włączania napięcia wejściowego, układ stabilizatora jest wyposażony w obwód łagodnego startu. Stała czasowa załączenia jest ustalana przez dobór pojemności C<sub>4</sub>.

Praca stabilizatora, polega na porównywaniu napięcia z dzielnika oporowego, równego

$$\frac{R_4}{R_3 + R_4} U_{wy}$$

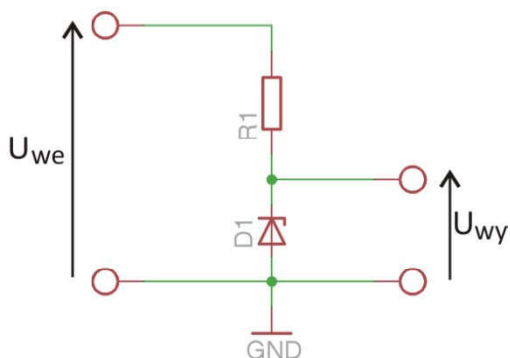
podanego na wejście FBIN stabilizatora, z wewnętrznym napięciem referencyjnym układu L4960, równym 5.1V. Występująca różnica napięć, steruje generacją sygnału o ustalonej częstotliwości i modulowanej szerokości impulsu, sterującego stopniem wyjściowym układu L4960. Charakterystyczny dla stabilizatorów impulsowych obwód dioda-cewka indukcyjna-kondensator, zbudowany jest z elementów D<sub>1</sub>, L<sub>1</sub> oraz C<sub>5</sub> i C<sub>6</sub>.

Zastosowanie dwóch kondensatorów (C<sub>5</sub> i C<sub>6</sub>) zamiast jednego o większej pojemności wynika z faktu, pogarszania się parametrów kondensatorów, ze wzrostem częstotliwości sygnałów. Ma to niekorzystny wpływ na jakość filtrowania (zmniejszanie tętnień) napięcia wyjściowego stabilizatora.

Zastosowanie w dzielniku napięcia wyjściowego (oporniki R<sub>3</sub> oraz R<sub>4</sub>), jako opornika R<sub>3</sub>, wielobrotowego potencjometru, umożliwia płynną regulację napięcia wyjściowego. Cewka indukcyjna L<sub>2</sub>, sprzężona z cewką L<sub>1</sub> umożliwia obserwację zmian strumienia magnetycznego w rdzeniu toroidalnym cewki L<sub>1</sub>, podczas pracy stabilizatora.

## II. POMIARY I ICH OPRACOWANIE

### 1. BADANIE CHARAKTERYSTYKI PRĄDOWO-NAPIĘCIOWEJ DIODY ZENERA.



Wykaz elementów:

$R_1 = 2 \text{ k}\Omega$

$D_1$  – dioda Zenera 6.8 V

- 1) Do wejścia układu stabilizatora z diodą Zenera (rys. 1) podłączyć napięcie regulowane z zasilacza stabilizowanego.
- 2) Z badać zależność napięcia wyjściowego  $U_{wy}$  w funkcji napięcia wejściowego  $U_{we}$ , zmienianego w granicach od 1 V do 20 V, z krokiem 1 V. Pomiary napięcia wyjściowego wykonywać przy pomocy woltomierza cyfrowego.

- 3) Dla każdego punktu pomiarowego obliczyć wartość prądu  $I_D$ , płynącego przez diodę, korzystając z zależności:

$$I_D = (U_{we} - U_{wy}) / R.$$

Wyniki przedstawić w Tabeli 1, uzupełniając ją odpowiednimi wartościami oszacowanych błędów.

Błąd zmierzonego spadku napięcia na diodzie Zenera -  $U_{wy}$  oszacować korzystając ze specyfikacji miernika cyfrowego.

Szacując błąd wartości prądu  $I_D$ , płynącego przez diodę przyjąć tolerancję oporności R, równą 10%,

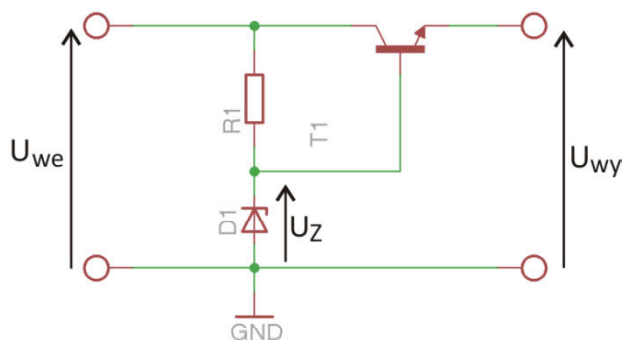
Tolerancja - określa maksymalne dopuszczalne odchyłki, wyrażone w procentach wartości znamionowej.

Tabela 1 Wartości prądu płynącego -  $I_D$ , oraz spadku napięcia -  $U_{wy}$  na diodzie Zenera, w funkcji napięcia wejściowego  $U_{we}$ .

$U_{we}$ [V]	1	2	3	4	5	...	20
$U_{wy}$ [V]							
$I_D$ [mA]							

- 4) Przedstawić na wykresach:
  - a) zależność spadku napięcia -  $U_{wy}$  na diodzie Zenera, w funkcji napięcia wejściowego  $U_{we}$ ,
  - b) charakterystykę prądowo-napięciową diody Zenera - zależność prądu płynącego przez diodę Zenera  $I_D$ , w funkcji spadku napięcia -  $U_{wy}$ , na niej. Korzystając ze zmierzonej charakterystyki, stosując metodę graficzną, wyznaczyć wartość napięcia stabilizacji  $U_Z$  badanej diody Zenera.

## 2. BADANIE STABILIZATORA NAPIĘCIA Z TRANZYSTOREM SZEREGOWYM.

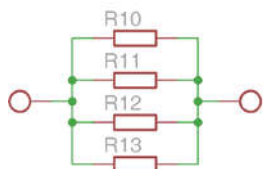
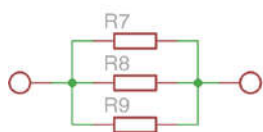
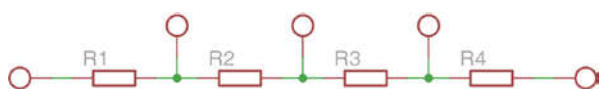


Wykaz elementów:

$R_1 = 330 \Omega$

$D_1$  – dioda Zenera 6.8 V

$T_1$  – tranzystor BC141



Rys. 6. Oporności obciążenia  $R_{obc}$ , zbudowane z jednakowych oporników

Wykaz elementów:

$R_1 = R_2 = R_3 = \dots = R_{13} = 100 \Omega$

1) Do wejścia układu stabilizatora z tranzystorem szeregowym (rys. 3) podłączyć napięcie stałe  $U_{we} = 10 \text{ V}$ .

2) Z badać zależność napięcia wyjściowego  $U_{wy}$ , w funkcji prądu obciążenia  $I_{obc}$ . Jako oporności obciążenia  $R_{obc}$ , wykorzystać różne układy oporności, zbudowane z jednakowych oporników  $100 \Omega$ , przedstawione na rysunku 6.

Pomiary wykonać dla obciążenia:

$R_{obc} = \infty, 400 \Omega, 300 \Omega, 200 \Omega, 100 \Omega, 50 \Omega, 33 \Omega, 25 \Omega$

3) Obliczyć odpowiednie prądy obciążenia:

$$I_{obc} = \frac{U_{wy}}{R_{obc}}$$

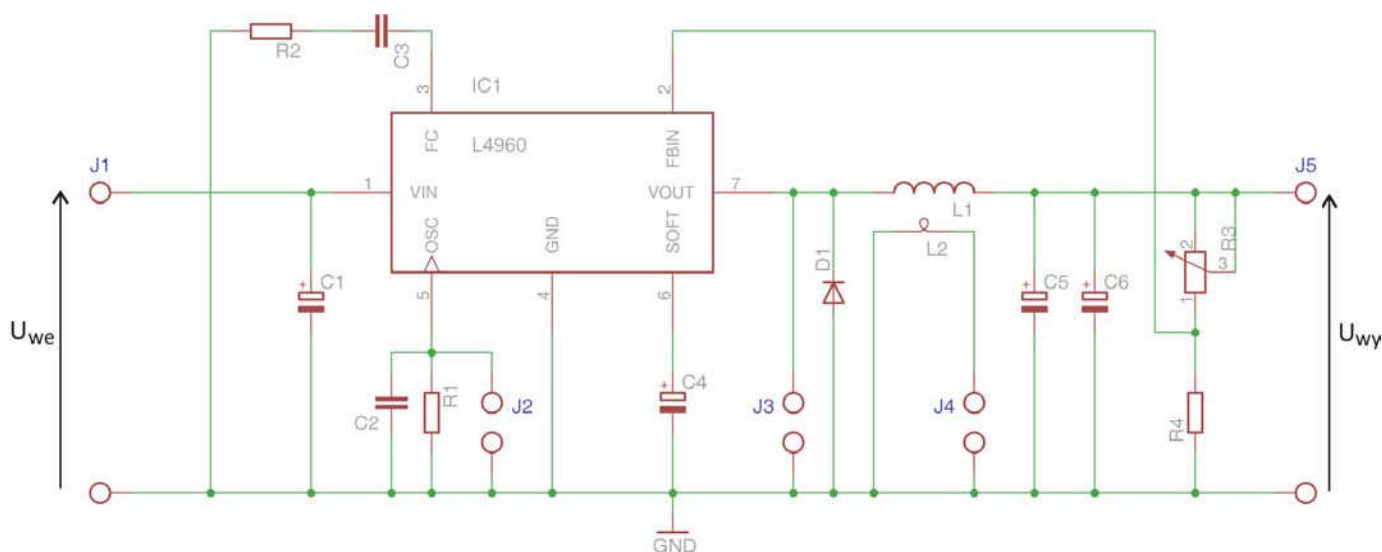
- 4) Wyniki przedstawić w Tabeli 2, uzupełniając ją odpowiednimi wartościami oszacowanych błędów.
- 5) Błędy zmierzonego napięcia wyjściowego -  $U_{wy}$ , oszacować korzystając ze specyfikacji miernika cyfrowego. Szacując błąd wartości prądu obciążenia  $I_{obc}$ , przyjąć tolerancję oporności obciążenia  $R_{obc}$ , równą 10%,

Tabela 2 Wartości napięcia wyjściowego  $U_{wy}$ , oraz prądu obciążenia -  $I_{obc}$  stabilizatora z tranzystorem szeregowym, w funkcji oporności obciążenia  $R_{obc}$

$R_{obc}$ [ $\Omega$ ]	$\infty$	400	300	200	100	50	33	25
$U_{wy}$ [V]								
$I_{obc}$ [mA]								

- 5) Przedstawić na wykresie zależność napięcia wyjściowego  $U_{wy}$ , w funkcji prądu obciążenia  $I_{obc}$ . Na wykresie, dla każdego punktu pomiarowego zaznaczyć błędy prezentowanych wielkości.

### 3. BADANIE IMPULSOWEGO STABILIZATORA NAPIĘCIA.



Wykaz elementów:

$R_1 = 4.3 \text{ k}\Omega$

$R_2 = 15 \text{ k}\Omega$

$R_3 = 10 \text{ k}\Omega$  (potencjometr)

$R_4 = 4.7 \text{ k}\Omega$

$D_1$  – dioda BYW29-200

$IC_1$  – układ L4960

$C_1 = 220 \text{ }\mu\text{F}$  (elektrolityczny)

$C_2 = 2.2 \text{ nF}$

$C_3 = 33 \text{ nF}$

$C_4 = 4.7 \text{ }\mu\text{F}$  (elektrolityczny)

$C_5 = 100 \text{ }\mu\text{F}$

$C_6 = 100 \text{ }\mu\text{F}$



- 1) Do wejścia układu stabilizatora impulsowego (J1) podłączyć napięcie stałe  $U_{we} = 10\text{ V}$ . Dla nieobciążonego stabilizatora ( $R_{obc} = \infty$ ), kręcąc potencjometrem wieloobrotowym  $R_3$ , ustawić napięcie wyjściowe  $U_{wy} = 6\text{ V}$ .
- 2) Zbadać zależność napięcia wyjściowego  $U_{wy}$ , w funkcji prądu obciążenia  $I_{obc}$ . Jako oporności obciążenia  $R_{obc}$ , wykorzystać różne układy oporności, zbudowane z jednakowych oporników  $100\ \Omega$ .  
Pomiary wykonać dla obciążenia:  
 $R_{obc} = \infty, 400\ \Omega, 300\ \Omega, 200\ \Omega, 100\ \Omega, 50\ \Omega, 33\ \Omega, 25\ \Omega$ .

- 3) Obliczyć odpowiednie prądy obciążenia:

$$I_{obc} = \frac{U_{wy}}{R_{obc}}$$

- 4) Wyniki przedstawić w Tabeli 4, uzupełniając ją odpowiednimi wartościami oszacowanych błędów.
- 5) Błędy zmierzonego napięcia wyjściowego -  $U_{wy}$ , oszacować korzystając ze specyfikacji miernika cyfrowego. Szacując błędy wartości prądu obciążenia  $I_{obc}$ , przyjąć tolerancję oporności obciążenia  $R_{obc}$ , równą 10%

Tabela 4 Wartości napięcia wyjściowego  $U_{wy}$ , oraz prądu obciążenia -  $I_{obc}$ , stabilizatora impulsowego, w funkcji oporności obciążenia  $R_{obc}$

$R_{obc} [\Omega]$	$\infty$	400	300	200	100	50	33	25
$U_{wy} [V]$								
$I_{obc} [mA]$								

- 6) Przedstawić na wykresie zależność napięcia wyjściowego  $U_{wy}$ , w funkcji prądu obciążenia  $I_{obc}$ . Na wykresie, dla każdego punktu pomiarowego zaznaczyć błędy prezentowanych wielkości.

## LITERATURA

1. P. Horowitz, W. Hill "Sztuka elektroniki" Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 2006
2. U. Tietze, C. Schenk " Układy półprzewodnikowe" Wydawnictwa Naukowo-Techniczne 2009
3. R. Śledziwski "Elektronika dla fizyków" Państwowe Wydawnictwo Naukowe 1984
4. T. Stacewicz, A. Kotlicki "Elektronika w laboratorium naukowym" Państwowe Wydawnictwo Naukowe 1994
5. "Miniaturowy stabilizator impulsowy" Elektronika Praktyczna nr 4, 1996
6. Nota aplikacyjna układu: Power switching regulator L4960
7. A. Bielski, R. Ciuryło "Podstawy metod opracowania pomiarów" Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika 2001