

# Uniwersytet Pedagogiczny

im. Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie

## Instytut Nauk Technicznych

Laboratorium elektroniki

### Ćwiczenie nr 5

Temat: **STABILIZATORY NAPIĘCIA**

Rok studiów	Grupa	Imię i nazwisko	Data	Podpis	Ocena

## 1. Cel ćwiczenia

Badanie szeregowych stabilizatorów napięcia i ich parametrów.

## 2. Podstawy teoretyczne

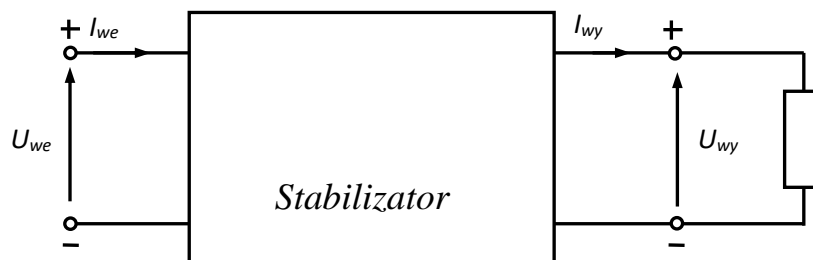
Stabilizatorem napięcia stałego nazywamy układ elektroniczny, którego zadaniem jest utrzymywanie stałej wartości napięcia wyjściowego w ściśle określonych granicach zmian napięcia zasilającego lub obciążenia oraz zmian czynników zewnętrznych, np. temperatury, ciśnienia, wilgotności, czasu itd. Obecnie stabilizatory należą do najbardziej rozpowszechnionych układów elektronicznych. W połączeniu z prostownikiem i filtrem (zasilaczem sieciowym) tworzą zasilacze jak i stanowiące oddzielne przyrządy będące wzorcowymi źródłami napięcia. Najczęściej są stosowane jako integralne części rozbudowanych układów elektronicznych.

Stabilizator napięcia powinien być praktyczną realizacją idealnego źródła napięcia, a stabilizator prądu – idealnego źródła prądu. Parametry rzeczywistych stabilizatorów różnią się od źródeł idealnych. W przybliżeniu można przyjąć, że napięcie wyjściowe  $U_{wy}$  stabilizatorów napięcia jest funkcją napięcia wejściowego  $U_{we}$ , prądu wyjściowego (obciążenia) i temperatury  $T$

$$U_{wy} = f(U_{we}, I_{wy}, T)$$

Prąd wyjściowy stabilizatora  $I_{wy}$  stabilizatorów prądu jest funkcją napięcia wejściowego, napięcia wyjściowego i temperatury

$$I_{wy} = f(U_{we}, U_{wy}, T)$$



Rys. 1. Czwórnik stabilizatora prądu.

## 3. Rodzaje stabilizatorów.

Stabilizatory można podzielić na:

- stabilizatory liniowe (linear regulators) lub inaczej stabilizatory o regulacji ciągłej,
- stabilizatory impulsowe,
- zmniejszające wartość napięcia (step-down) lub zwiększające wartość napięcia (step-up).

Oczywiście to nie wyczerpuje wszystkich możliwości gdyż pozostaje jeszcze podział na stabilizatory regulowane, stałe, dodatnie, ujemne itd.

## 4. Parametry stabilizatorów.

Do najważniejszych parametrów stabilizatorów należą:

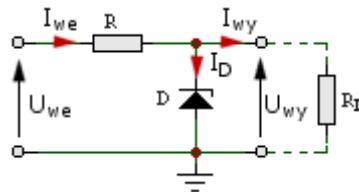
- nominalna wartość napięcia wyjściowego  $U_{wy}$  i jego tolerancja,
- maksymalne natężenie prądu wyjściowego  $I_{wy}$ ,
- maksymalny natężenie prądu zwarcia  $I_{zw}$ ,
- zakres dopuszczalnych zmian napięcia wejściowego  $U_{wemin}$  do  $U_{wemax}$ ,
- minimalny spadek napięcia pomiędzy wyjściem, a wejściem potrzebny do właściwej stabilizacji napięcia wyjściowego (*dropout voltage*),
- współczynnik stabilizacji napięciowej (*line regulation*)  $S_u = DU_{wy}/DU_{we}$  (im mniejsza wartość tym lepiej),
- współczynnik stabilizacji prądowej lub inaczej obciążeniowej (*load regulation*),
- rezystancja wyjściowa  $R_{wy} = DU_{wy}/DI_{wy}$ ,
- sprawność energetyczna  $h = (U_{wy} \cdot I_{wy}) / (U_{we} \cdot I_{we})$ .

Poniżej przedstawiona jest tabela porównująca niektóre parametry i własności stabilizatorów liniowych oraz impulsowych.

Własność	Stabilizator liniowy	Stabilizator impulsowy
Sprawność	25% ÷ 60%	75% ÷ 95%
Powierzchnia radiatorów	100%	10% ÷ 20%
Stosunek mocy do masy	20 W/kg	110 W/kg
Pojemność kondensatora wyjściowego	bardzo duża	mała
Parametry stabilizacji	bardzo dobre	dobre
Odpowiedź impulsowa (czas odpowiedzi na nagłe zmiany obciążenia)	5 ÷ 50 $\mu$ s bardzo dobrze	100 ÷ 1000 $\mu$ s słabo
Tłumienie szumów i tętnień	bardzo dobre 0,2 ÷ 2 mV	słabe 10 ÷ 60 mV
Zdolność utrzymania napięcia przy krótkotrwałym zaniku napięcia wejściowego (czas podtrzymania $t_c$ )	słaba 1 ÷ 10 ms	bardzo dobra 20 ÷ 50 ms (400 ms dla małych $I_{wy}$ )
Tłumienie zakłóceń radioelektrycznych	bez problemu (kondensatory przeciwzakłóceńowe)	konieczne dodatkowe konstrukcje (ekranowanie, filtry)

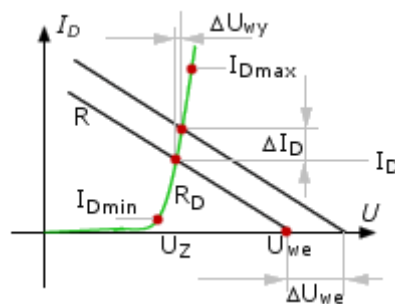
## 5. Stabilizator parametryczny z diodą Zenera

Najprostszym stabilizatorem napięcia jest układ z zastosowaniem diody Zenera, pokazany na rysunku 2. Takie oraz podobne układy nazywane są również stabilizatorami parametrycznymi.



Rys. 2. Stabilizator parametryczny z diodą Zenera

Na rysunku 3 przedstawiono ilustrację właściwości układu stabilizatora parametrycznego.



Rys. 3. Stabilizator parametryczny z diodą Zenera

Zmiany napięcia wejściowego w zakresie  $\Delta U_{we}$  powodują zmiany natężenia prądu diody  $\Delta I_D$ . Jednak z charakterystyki diody Zenera wynika, że zmiany napięcia wyjściowego  $\Delta U_{wy}$  są bardzo małe i można przyjąć, że pozostaje ono stabilne i równe napięciu Zenera  $U_Z$ .

Małe zmiany napięcia wyjściowego można wytłumaczyć w inny sposób. Układ z rysunku 2 można uznać za dzielnik napięcia składający się z rezystancji  $R$  i rezystancji diody  $R_D$  (układ ten rozpatrujemy jako nie obciążony rezystancją  $R_L$ ). Rezystancja  $R_D$  określana jest jako rezystancja przyrostowa (dynamiczna) gdyż zależy od  $\Delta U_{wy}$  oraz  $\Delta I_D$  i można ją przedstawić za pomocą wzoru:

$$R_D = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta I_D}$$

Rozpatrując ten układ jako dzielnik napięcia można powiedzieć, że znikomy przyrost napięcia wyjściowego  $\Delta U_{wy}$  jest wynikiem podziału przyrostu napięcia wejściowego  $\Delta U_{we}$  w stosunku wyznaczonym przez rezystancje  $R$  i  $R_D$ , co można przedstawić za pomocą wzoru:

$$S_u = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta U_{we}} = \frac{R_D}{R + R_D}$$

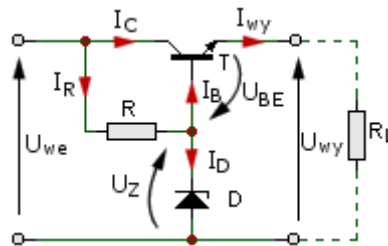
Przekształcając ten wzór można obliczyć współczynnik stabilizacji napięcia:

$$S_u = \Delta U_{wy} / \Delta U_{we} = R_D / (R + R_D)$$

Z przedstawionego wyżej wzoru wynika, że uzyskanie dobrej stabilizacji, czyli małego współczynnika  $S_u$ , jest możliwe przez zwiększenie rezystancji  $R$  i powinna ona być znacznie większa do rezystancji  $R_D$ . Dla większości diod Zenera wartość rezystancji  $R_D$  wynosi od kilku do kilkudziesięciu omów i zależy od natężenia prądu  $I_D$  płynącego przez diodę. Zwiększając rezystancję  $R$  poprawiony zostanie współczynnik stabilizacji, ale jednocześnie ulegnie zmniejszeniu wartość natężenia prądu wyjściowego, co bardzo mocno ogranicza praktyczne zastosowanie układu z rysunku 2.

## 6. Stabilizator parametryczny szeregowy z tranzystorem

Lepszym rozwiązaniem układu z rysunku 2 jest jego modyfikacja przedstawiona na rysunku 4.



Rys. 4. Stabilizator parametryczny szeregowy z tranzystorem

Jest to układ wzbogacony o tranzystor  $T$  pracujący jako wtórnik emiterowy. Na wyjściu tego układu występuje napięcie równe:

$$U_{wy} = U_Z - U_{BE}$$

Stosując w układzie tranzystor, można zwiększyć wartość rezystora  $R$ , nie powodując zmniejszenia natężenia prądu wyjściowego. Nawet przy bardzo małym natężeniu prądu bazy  $I_B$ , który jest dla diody  $D$  prądem obciążenia, prąd wyjściowy  $I_{wy}$ , może mieć duże natężenie i można go przedstawić za pomocą wzoru:

$$I_{wy} = I_B \cdot (b + 1)$$

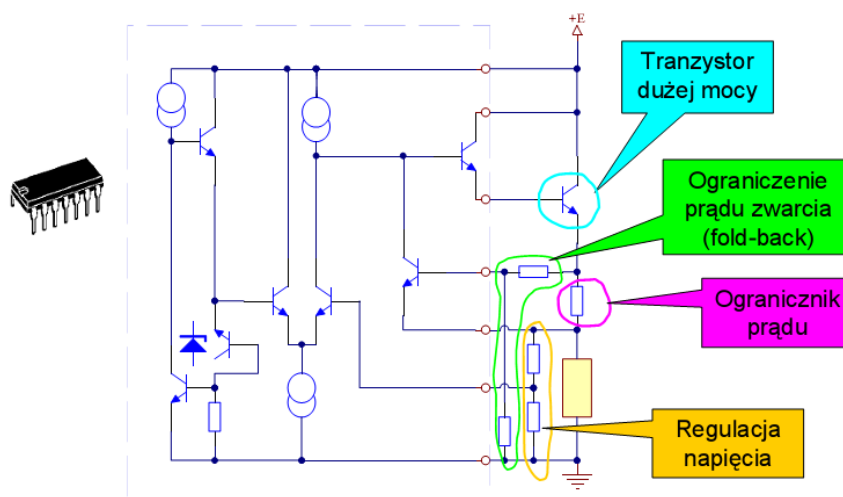
Układ z rysunku 4 jest lepszym rozwiązaniem układowym, lecz jego zastosowania są ograniczone do prostych i nie wymagających wysokich parametrów układów stabilizatorów napięcia.

## 7. Stabilizatory monolityczne

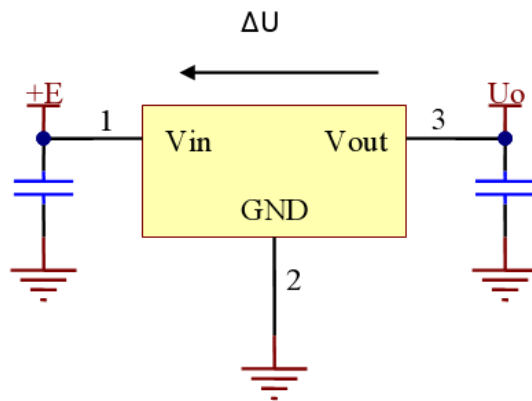
Stabilizatory monolityczne są przeznaczone do pracy w zasilaczach niewielkich urządzeń elektronicznych lub jako zasilacze lokalne w dużych systemach. W pierwszym przypadku umożliwia to realizację prostych zasilaczy z minimalną liczbą elementów dyskretnych. W drugim umożliwia uniknięcie spadków napięć i zakłóceń mogących powstać w długich doprowadzeniach z zasilacza centralnego. Wadą stabilizatorów monolitycznych jest możliwość stosowania ich do zasilania układów elektronicznych o niezbyt dużych wymaganiach co do wartości współczynników stabilizacji (typowa wartość współczynnika stabilizacji wynosi 1,5%). Najczęściej są produkowane stabilizatory o napięciach (5, 6, 8, 12, 15, 18, 24) V, zarówno dodatnich jak i ujemnych oraz prądach o natężeniu do 1,5 A. Stabilizatory monolityczne mogą poprawnie pracować w szerokim zakresie napięć wejściowych. Stosując dodatkowe elementy można uzyskać inne napięcia wyjściowe. Standardowo są wyposażone w zabezpieczenie termiczne oraz nadprądowe.

## 8. Stabilizatory monolityczne precyzyjne

Oprócz stabilizatorów monolitycznych są wytwarzane stabilizatory o napięciu regulowanym w szerokim zakresie, tj. stabilizatory nazywane inaczej precyzyjnymi. Nazwa precyzyjny ma swoje uzasadnienie w wysokiej jakości stabilizacji, która wyraża się wartością współczynnika stabilizacji na poziomie ok. 0,01%. Na podkreślenie zasługuje uniwersalność zastosowań tych układów. Duża liczba różnych konfiguracji pracy stabilizatorów precyzyjnych umożliwia projektowanie zasilaczy o działaniu zarówno ciągłym i impulsowym. Z dodatnim lub ujemnym napięciem wyjściowym oraz regulowanym w zakresie od zera do kilkuset woltów. Natężenie prąd wyjściowego tych stabilizatorów może być zwiększone przez przyłączenie zewnętrznych tranzystorów regulacyjnych. Najbardziej popularne typy scalonych stabilizatorów precyzyjnych to: LM317, LM350, LM339, MC 1569, MC 1563. Schemat blokowy precyzyjnego stabilizatora napięcia dodatniego  $\mu A723$  jest przedstawiony na rysunku 5.



Rys. 5. Schemat układu  $\mu A723$



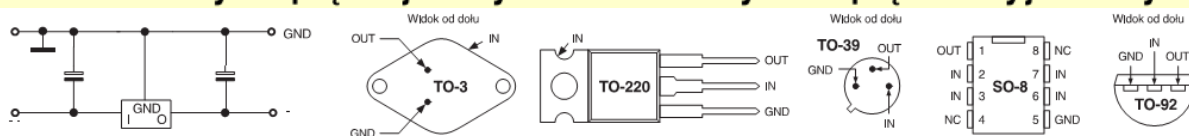
Rys. 6. Stabilizator monolityczny o napięciu dodatnim – 78xx

Przykłady popularnych stabilizatorów scalonych:

### Stabilizatory napięć dodatnich o ustalonym napięciu wyjściowym

78TXX	5;8;12;15	35	3	2,3	3	4(6)	25	2,5	TO-220
L26XX	5;8;5;10	26	0,5	1,9	0,5	20(45)		4	TO-220 LDO COUT=100μF
L48XX	5;8;5;9;2;10;12	26	0,4	0,4	0,4	65(90)		4	TO-220 LDO COUT=100μF
L4940	5;8;5;10;12	17	1,5	0,5	1,5	30(50)	20	3	TO-220 LDO COUT=22μF
L4941	5	16	1	0,45	1	20(40)	20	3	TO-220 LDO COUT=22μF
L4945	5	26	0,5	0,4	0,5	110(180)		3	TO-220 LDO COUT=47μF
L4950	8,5	26	0,5	0,4	0,5	110(180)		3	TO-220 LDO COUT=47μF
L4951	10	26	0,5	0,4	0,5	110(180)		3	TO-220 LDO COUT=47μF
LM309	5	35	1	2	1	5,2(10)	20	3	TO-3
LM323(LT323)	5	20	3	2,2	3	12(20)	30	2	TO-3
LM340	5,12,15	35	1,5	2,2	1,5	(6,5)	15	4	TO-220
LM330	5	26	0,15	0,4	0,15	18(40)		4	TO-220 LDO
LM341	5,12,15	35	0,5	2,2	0,5	4(10)		5	TO-220
LM342	5,12,15	30	0,25	2,3	0,25	(6)		15	TO-202
LM2930	5;8	26	0,15	0,4	0,15	18(40)	20	3	TO-220 LDO
LM2931	5	26	0,1	0,4	0,1	15(30)	20	5	TO-220 LDO COUT=100μF
LM2936	5	40	0,05	0,25	0,05	1,5	0,5	195	TO-92 LDO
LM2940	5;8;9;10;12;15	26	1	0,7	1	30(60)	20	3	TO-220, TO-3 LDO
LP2950	5	30	0,1	0,5	0,1	8(14)		180	TO-92
LP2954	5	30	0,25	470	0,25	21(33)	-	3	TO-220 LDO
LM3940	3,3	6	1	0,5	1	110(250)	3	-	TO-220 (5V na 3,3V)
LT1003	5	20	5	2,5	5	12(20)	40	1,5	TO-3
TEA7605	5	28	0,5	0,4	0,5	75(100)		3	TO-220 LDO COUT=10μF
TL780	5;12;15	35	1,5	2	1,5	3,5(8)	15	5	TO-220

## Stabilizatory napięć ujemnych o ustalonym napięciu wyjściowym

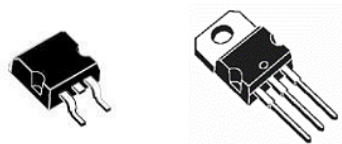


Typ układu	Napięcie wyj.	UIOmax	IL	UDO przy IL	IQ	Pmax	Rthja	Uwagi
79XX	-5...-24	-25	1	2,5	1	4(8)	15	TO-220
79MXX	-5...-15	-35	0,5			4(8)	5	TO-220
79LXX	-5...-24	-30	0,1	1,8	0,1	2(6)	180	TO-92
LM320	-5,-12,-15	-25	1,5	2,5	1,5	1(2)	15	TO-220
LM345	-5	-20	3	2	3	1(3)	25	TO-3
LM2990	-5...-15	-26	1	0,6	1	9(50)	20	TO-220 LDO

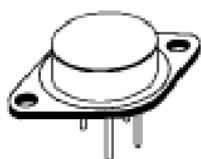
### Obudowy stabilizatorów scalonych.



TO-92 – 100mA



TO-220 – 1A



TO-3 – 3÷5A

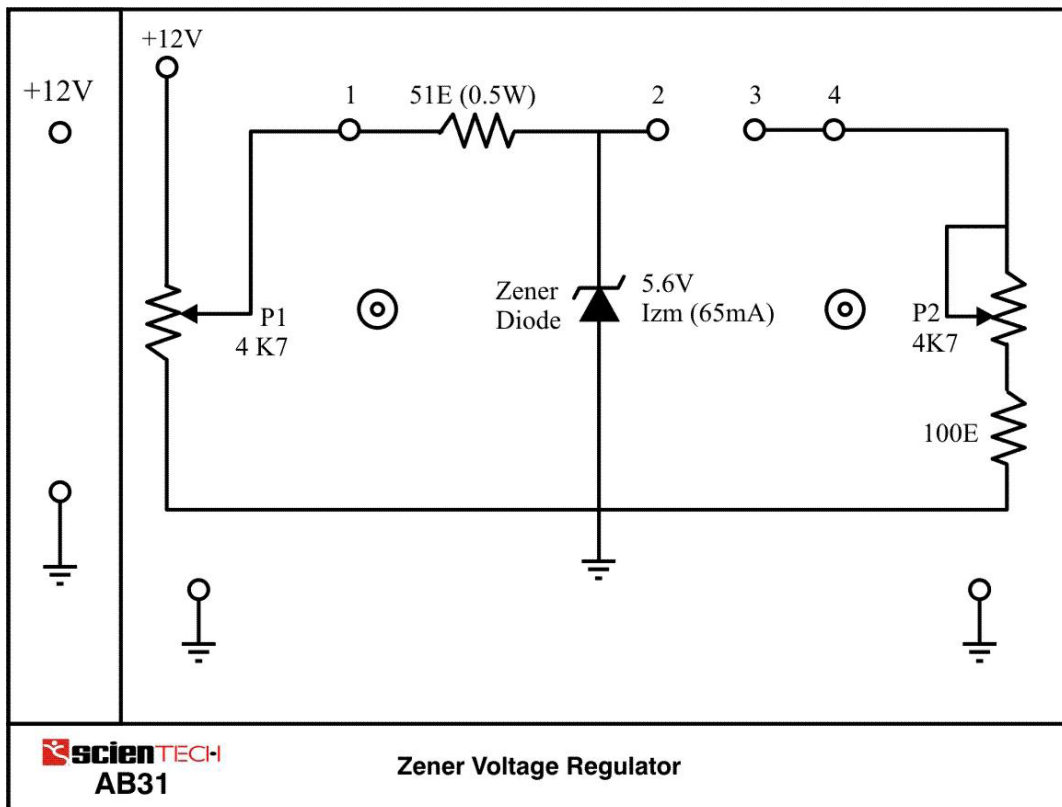
$U_{BE}$ .



## 9. Przebieg ćwiczenia

Wymagane przyrządy :

1. Zestaw AB32
2. Zasilacz +12V
3. 3 multimetry cyfrowe
4. Przewody połączeniowe



Rys. 5. Schemat układu pomiarowego 1

### a. Stabilizator z diodą Zenera

- 3.1.1. Wykonaj połączenia punktów testowych 2-5 – złącze baza-emiter zostanie zwarte, a tranzystor nie będzie wpływał na działanie układu.
- 3.1.2. Podłącz przyrządy pomiarowe tak, aby
  - 3.1.2.1. Zmierzyć napięcie wejściowe E (napięcie na wyjściu potencjometru P1 w stosunku do masy układu)
  - 3.1.2.2. Zmierzyć napięcie wyjściowe  $U_0$  (na diodzie Zenera w odniesieniu do masy układu)
  - 3.1.2.3. Zmierzyć prąd wyjściowy  $I_0$  (płynący przez potencjometr P2 i rezystor 100Ω)
- 3.1.3. Ustaw na zasilaczu (niepodłączonym do układu) wartość 12V.
- 3.1.3. Przed podłączeniem układu do zasilania zweryfikuj wraz z prowadzącym układ połączeń.
- 3.1.3. Ustaw potencjometr P1 maksymalnie w prawo. Regulując napięciem zasilacza E i potencjometrem P2 przeprowadź pomiary zgodnie z tabelami:

Tabela pomiarowa 1

Nr.	$U_i$ [V]	$U_o$ [V]				
		$I_o=1$ mA	$I_o=1,5$ mA	$I_o=2$ mA	$I_o=2,5$ mA	$I_o=3$ mA
1.	6					
2.	7					
3.	8					
4.	9					
5.	10					
6.	11					

Tabela pomiarowa 2

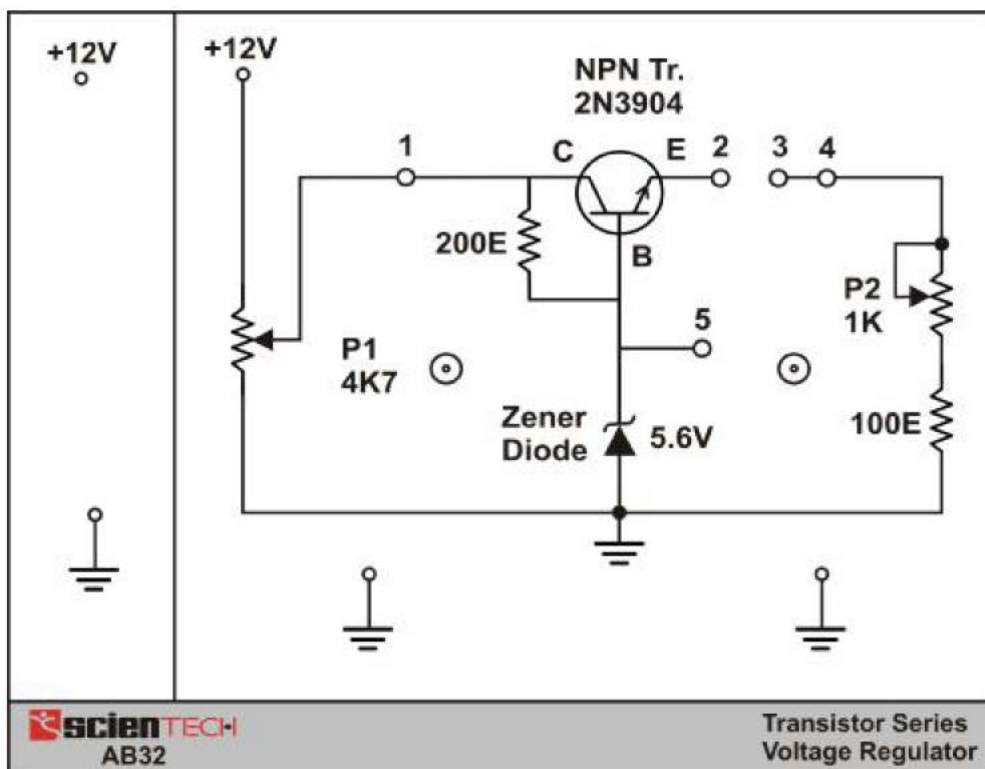
Nr.	$I_o$ [mA]	$U_o$ [V]				
		$U_i=7$ V	$U_i=8$ V	$U_i=9$ V	$U_i=10$ V	$U_i=11$ V
1.	1					
2.	1,5					
3.	2					
4.	2,5					
5.	3					
6.	3,5					

Tabela pomiarowa 3

Nr.	$U_i$ [V]	$U_o$ [V]				
		$R_o=500$ $\Omega$	$R_o=1$ k $\Omega$	$R_o=1,5$ k $\Omega$	$R_o=2$ k $\Omega$	$R_o=3$ k $\Omega$
1.	6					
2.	7					
3.	8					
4.	9					
5.	10					
6.	11					

## b. Stabilizator z diodą Zenera i tranzystorem

- 3.2.1. Odłącz układ od zasilania
- 3.2.2. Rozłącz połączenie 2-5.
- 3.2.3. Przed podłączeniem układu do zasilania zweryfikuj wraz z prowadzącym układ połączeń.
- 3.2.4. Ustaw potencjometr P1 maksymalnie w prawo. Regulując napięciem zasilacza E i potencjometrem P2 przeprowadź pomiary zgodnie z tabelami:



Rys. 6. Schemat układu pomiarowego 2

Tabela pomiarowa 4

Nr.	$U_i$ [V]	$U_o =$ [V]				
		$I_o = 5$ mA	$I_o = 10$ mA	$I_o = 15$ mA	$I_o = 20$ mA	$I_o = 25$ mA
1.	6					
2.	7					
3.	8					
4.	9					
5.	10					
6.	11					

Tabela pomiarowa 5

Nr.	$I_0$ [mA]	$U_0$ [V]				
		$U_1=7$ V	$U_1=8$ V	$U_1=9$ V	$U_1=10$ V	$U_1=11$ V
1.	5					
2.	10					
3.	15					
4.	20					
5.	25					
6.	30					

Tabela pomiarowa 6

Nr.	$U_1$ [V]	$U_0$ [V]				
		$R_0=200$ $\Omega$	$R_0=400$ $\Omega$	$R_0=600$ $\Omega$	$R_0=800$ $\Omega$	$R_0=1$ k $\Omega$
1.	6					
2.	7					
3.	8					
4.	9					
5.	10					
6.	11					

## 10. Sprawozdanie

- 4.1.1. Na podstawie zmierzonych wartości (napięcie  $U_1$ ,  $U_0$ ,  $I_0$ ) oraz danych ( $R_S = 200 \Omega$ ) oblicz dla każdego pomiaru prąd  $I_Z$  płynący przez diodę Zenera. Wykreśl zależność  $I_Z(I_0)$  dla dwóch analogicznych pomiarów w obu układach, dla których  $U_1 = 9V$ .
- 4.1.2. Wykonaj wykresy  $U_0(U_1)$ ,  $U_0(I_0)$ .
- 4.1.3. Na podstawie uzyskanych wyników oszacuj wzmocnienie tranzystora  $\beta$  i rezystancję dynamiczną diody Zenera  $r_z$ .

## 11. Literatura:

- 5.1. [http://ue.pwr.wroc.pl/wyklad\\_elementy\\_elektroniczne/w13\\_stabilizatory liniowe.ppt.pdf](http://ue.pwr.wroc.pl/wyklad_elementy_elektroniczne/w13_stabilizatory liniowe.ppt.pdf)
- 5.2. <http://www.dydaktyka.ib.pwr.wroc.pl/materialy/ETP002003L%20Podstawy%20elektrotechniki%20i%20elektroniki%202/Cw.13%20Stabilizator%20napiecia.pdf>
- 5.3. Paul Horowitz, Winfield Hill: „Sztuka elektroniki”, WKŁ 2013

## 12. Wykaz przyrządów: