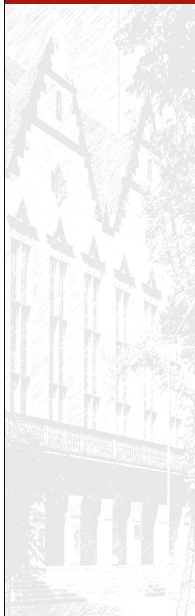




Politechnika Wrocławska

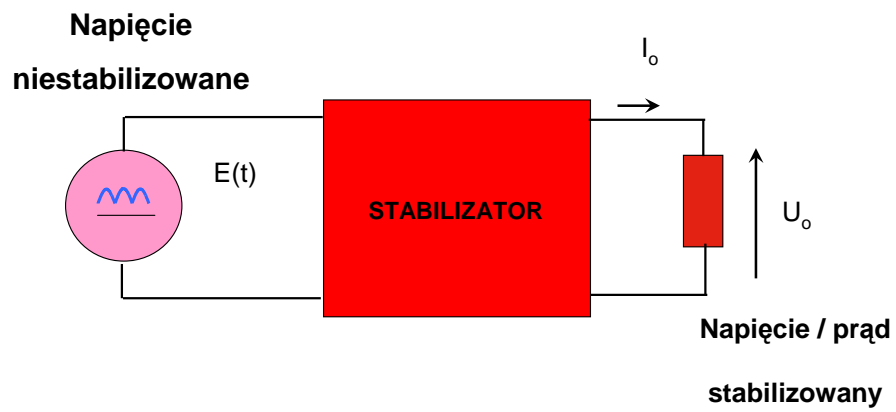


## Układy elektroniczne I “Stabilizatory liniowe”

Jerzy Witkowski



## Stabilizator prądu , napięcia





## Parametry stabilizatorów liniowych napięcia (prądu)

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Napięcie wyjściowe</li><li>• Zakres napięć wejściowych</li><li>• Prąd wyjściowy maksymalny i znamionowy</li><li>• Prąd zwarcia</li><li>• Zakres temperatury pracy</li><li>• Sprawność energetyczna</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Prąd wyjściowy</li><li>• Dopuszczalny spadek napięcia (maksymalny i minimalny)</li><li>• Napięcie rozwarcia</li><li>• Zakres temperatury pracy</li><li>• Sprawność energetyczna</li></ul> |
|--|---|



## Podstawowe parametry „stabilizacyjne” stabilizatorów liniowych napięcia

Niestabilność od obciążenia  
(dynamiczna rezystancja wyjściowa)

Niestabilność długoterminowa

$$\Delta U_o = \frac{\partial U_o}{\partial E} \Delta E + \frac{\partial U_o}{\partial I_o} \Delta I_o + \frac{\partial U_o}{\partial T} \Delta T + \frac{\partial U_o}{\partial t} \Delta t$$

Niestabilność od nap. zasilania

Niestabilność od temperatury



## Podstawowe parametry „stabilizacyjne” stabilizatorów liniowych prądu

Niestabilność od obciążenia  
(dynamiczna konduktancja wyjściowa)

Niestabilność długoterminowa

$$\Delta I_o = \frac{\partial I_o}{\partial E} \Delta E + \frac{\partial I_o}{\partial U_o} \Delta U_o + \frac{\partial I_o}{\partial T} \Delta T + \frac{\partial I_o}{\partial t} \Delta t$$

Niestabilność od nap. zasilania

Niestabilność od temperatury

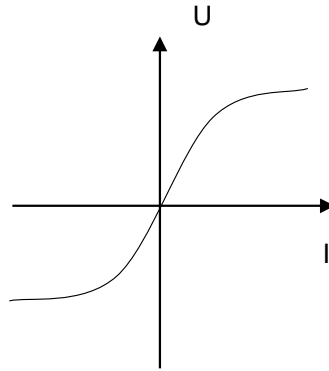


## Stabilizatory parametryczne

(napięcie zależy od „parametru” przyrządu półprzewodnikowego)

Warystor

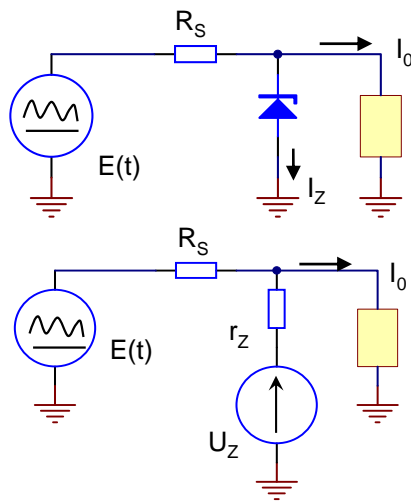
$$U = CI^{0.14 \div 0.5}$$



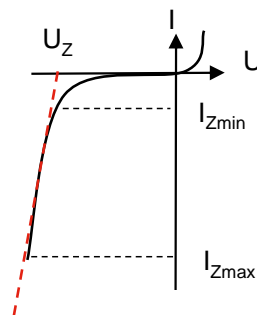


## Stabilizatory parametryczne

(napięcie zależy od „parametru” przyrządu półprzewodnikowego)

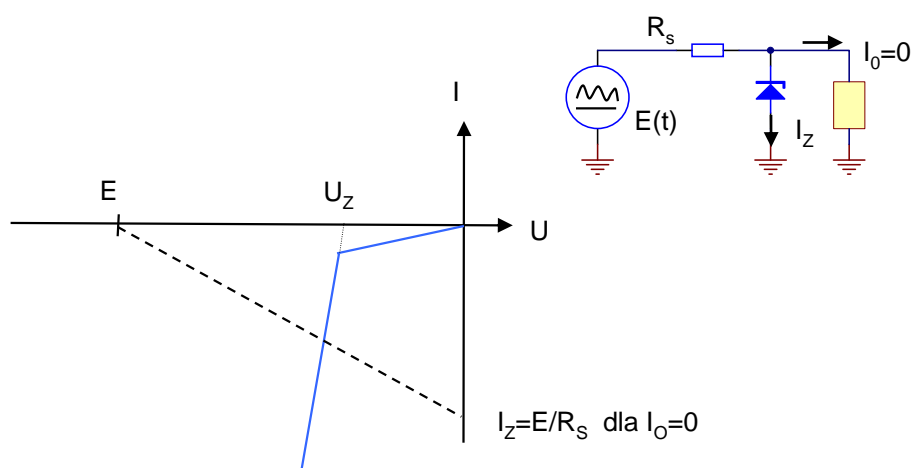


### Dioda Zenera





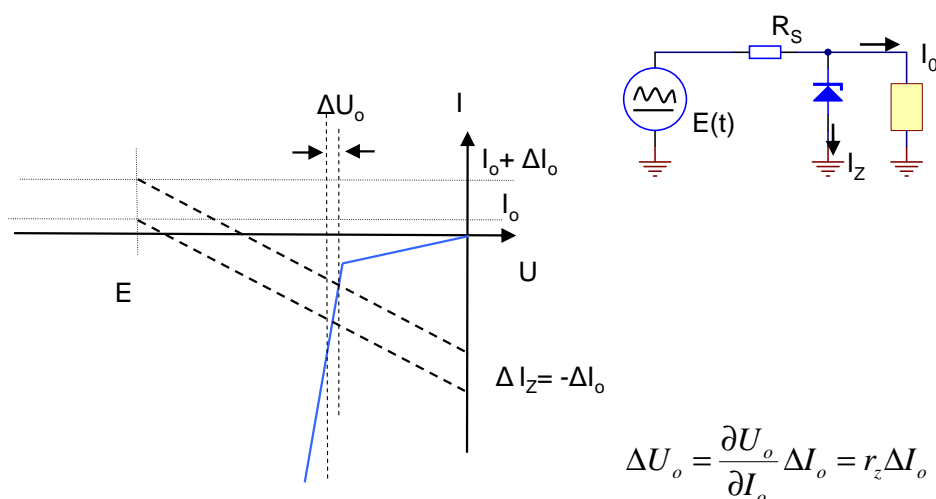
## Projekt „diody Zenera”





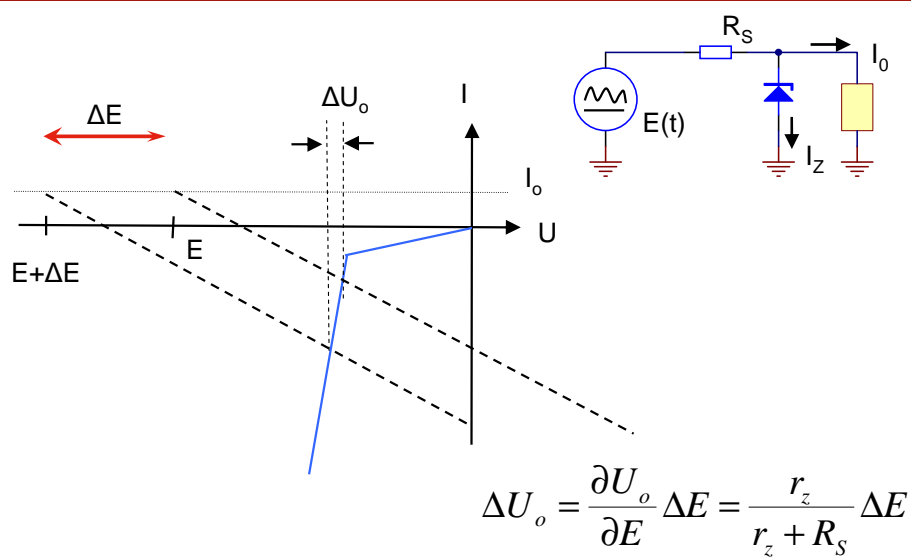


## Projekt „diody Zenera” wsp. stabilności od obciążenia



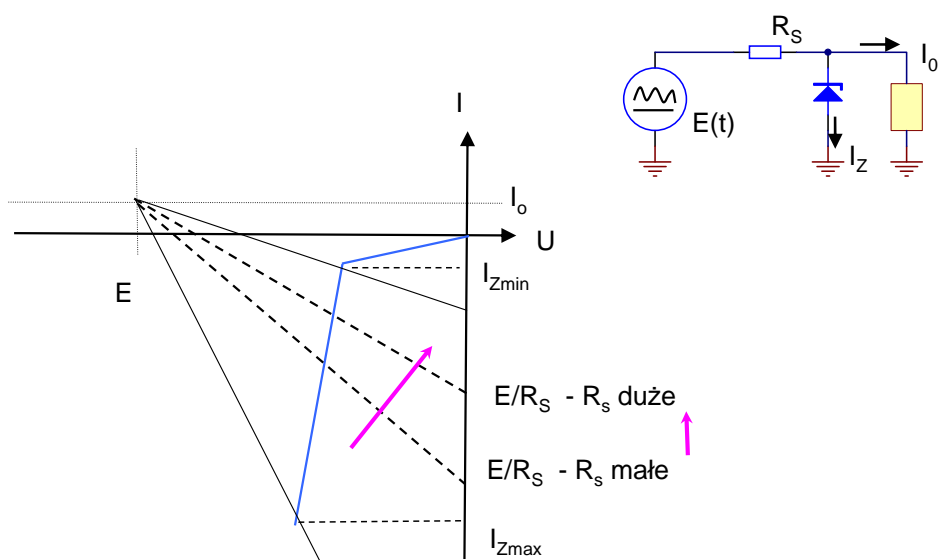


## Projekt „diody Zenera” wsp. stabilności od zasilania



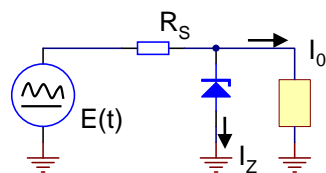
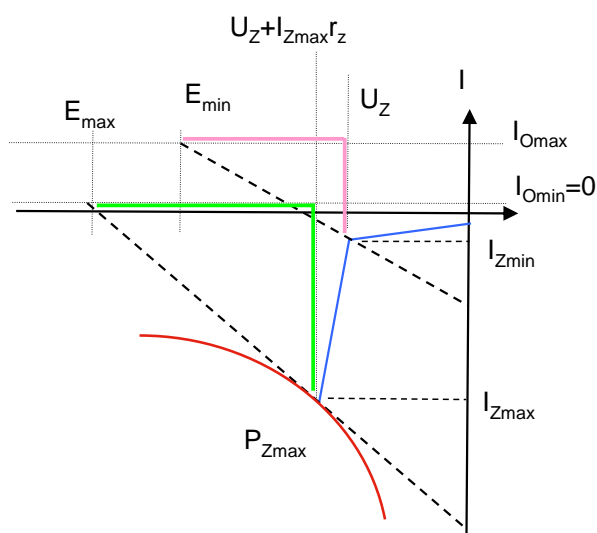


## Projekt „diody Zenera” dobór $R_S$





## Projekt „diody Zenera” dobór $R_s$

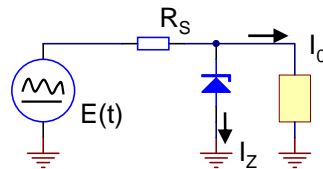


$$R_s \leq \frac{E_{min} - U_Z}{I_{Omax} + I_{Zmin}}$$

$$R_s \geq \frac{E_{max} - (U_Z + I_{Zmax} r_z)}{I_{Omin} + I_{Zmax}}$$



## Zasilacz z diodą Zenera wady i zalety



- Wymagana duża różnica  $E-U_o$  (wtedy  $R_S$  jest dostatecznie duże i stabilizacja skuteczna)
- Duże straty mocy  $P_{\text{strat}} = (E-U_o)(I_Z + I_o) + U_Z I_Z$
- Duże szumy diody !!!!!
- Mała wydajność prądowa ( $I_{Z\text{max}}$  - związane z mocą diody)
- Słaba stabilność temperaturowa



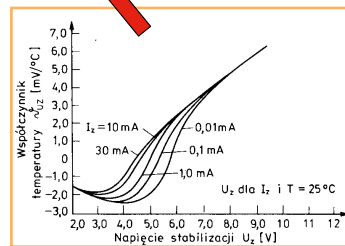
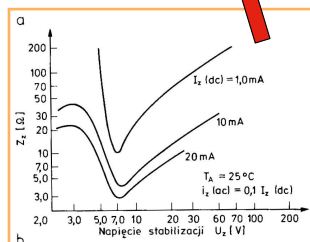
## Parametry diod Zenera

$$\Delta U_o = \frac{\partial U_o}{\partial E} \Delta E + \frac{\partial U_o}{\partial I_o} \Delta I_o + \frac{\partial U_o}{\partial T} \Delta T + \frac{\partial U_o}{\partial t} \Delta t$$

$$\Delta U_o = \frac{r_z}{r_z + R_s} \Delta E + r_z \Delta I_o + (TWU_Z) U_Z \Delta T + \frac{\partial U_Z}{\partial t} \Delta t$$

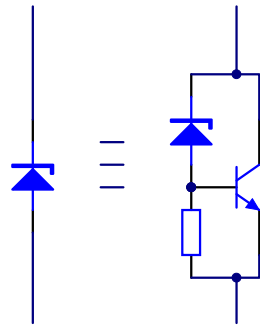
Wymagane duże  $R_s$ ,  
a więc duże  $E-U_o$

Stabilność czasowa  
 $U_Z = 10^{-3} \div 10^{-5} [1/1000h]$





## Dioda Zenera o zwiększonej mocy



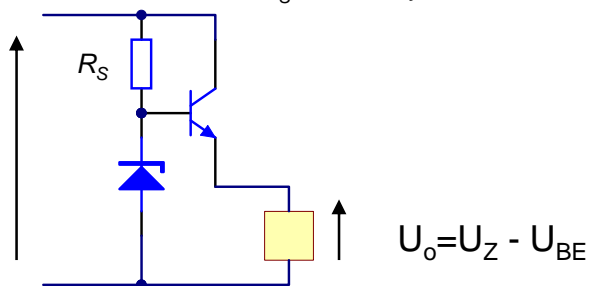
$$U_Z' = U_Z + U_{BE}$$



## Stabilizator wtórnikowy

$$\Delta U_o = \frac{r_z}{r_z + R_S} \Delta E + \frac{r_z}{\beta} \Delta I_o + \left( (TWU_Z) U_Z - \frac{\partial U_{BE}}{\partial T} \right) \Delta T + \frac{\partial U_Z}{\partial t} \Delta t$$

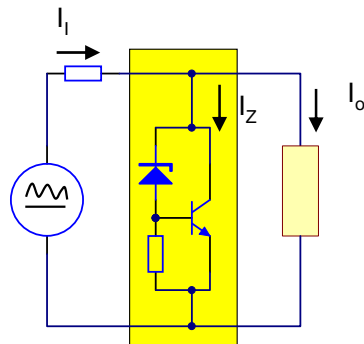
$R_S$  – może być duże



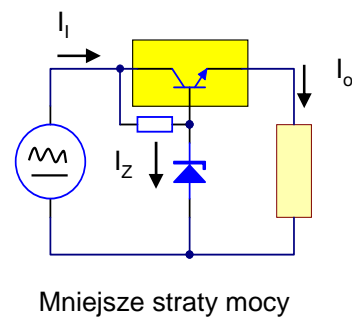


# Stabilizator równoległy i szeregowy

$$I_I = I_Z + I_O$$



$$I_I \approx I_O$$



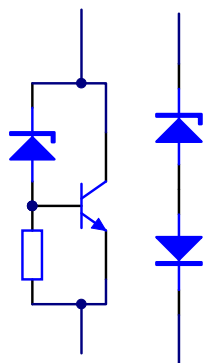


## Źródła odniesienia

- Diody Zenera
- Kompensowane diody Zenera
  - Scalone diody
- Band gap („napięcie baza emiter kompensowane termicznie”)
- Termostatowane źródła odniesienia



## Dioda Zenera kompensowana termicznie



$$(TWU_z)U_z \approx 2mV / K \quad \text{dla } U_z \approx 6 \div 9V$$

$$\frac{\partial U_{BE}}{\partial T} \approx -2mV$$



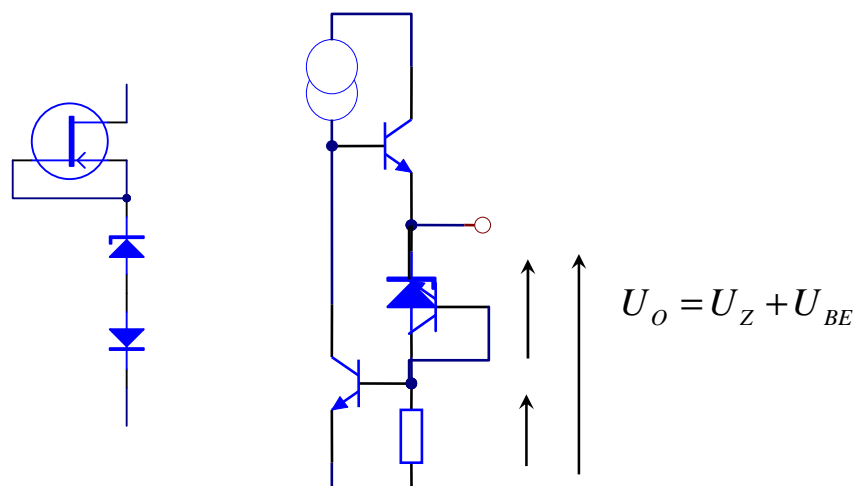
$$TWU_z \approx 0$$

$$U_z = 6 \div 9V$$

Wymagany jest stały prąd bo współczynniki termiczne diody Zenera i diody zależą od prądu



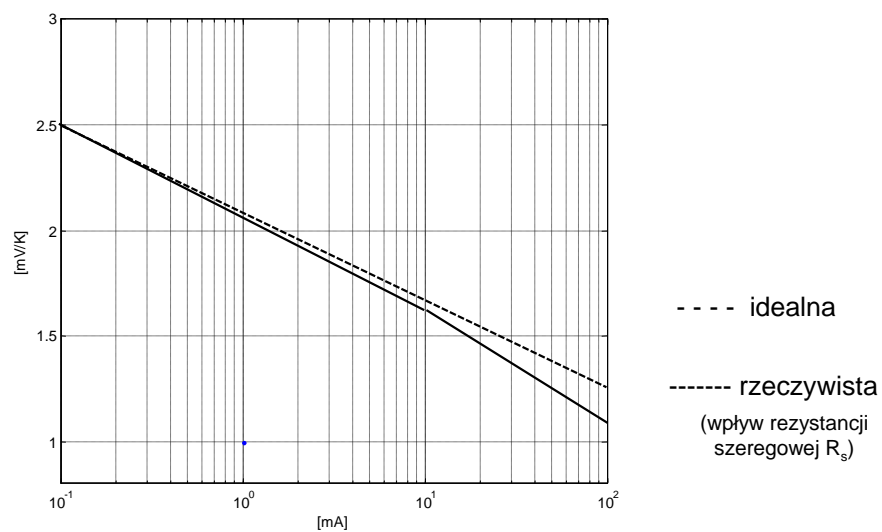
## Dioda Zenera kompensowana termicznie przykład





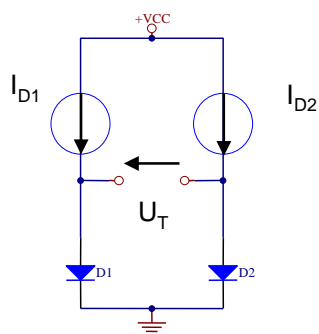
$$\frac{dU_D}{dT}$$

jako funkcja prądu diody  
(slajd z wykładu 1 - elementy)





## Diodowy czujnik temperatury (slajd z wykładu 1 - elementy)



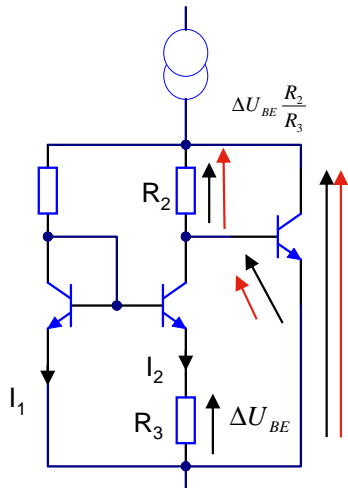
$$I_D = I_s \left( \exp \left( \frac{U_D}{n\phi_T} \right) - 1 \right) \quad \phi_T = \frac{kT}{e}$$

$$U_T = U_{D2} - U_{D1} = n\phi_T \ln \left( \frac{I_{D2}}{I_{D1}} \right)$$

$$\frac{dU_T}{dT} = \frac{nk}{e} \ln \left( \frac{I_{D2}}{I_{D1}} \right)$$



## Źródło odniesienia band-gap (przerwa energetyczna)



$$\Delta U_{BE} = U_{BE1} - U_{BE2} = n \frac{kT}{e} \ln \left( \frac{I_2}{I_1} \right)$$

$$U_{REF} = \frac{R_2}{R_3} \Delta U_{BE} + U_{BE3}$$

$$\frac{\partial U_{REF}}{\partial T} = \frac{R_2}{R_3} n \frac{k}{e} \ln \left( \frac{I_2}{I_1} \right) + \frac{U_{BE3} - E_{GO} - 3\phi_T}{T} = 0$$

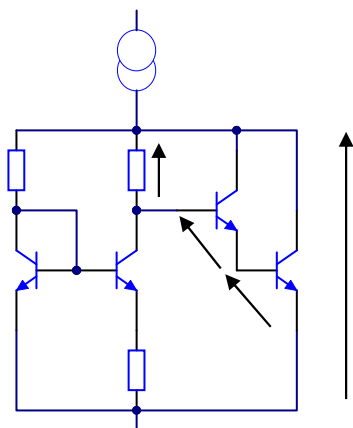
$$\frac{R_2}{R_3} n \frac{k}{e} \ln \left( \frac{I_2}{I_1} \right) = - \frac{U_{BE3} - E_{GO} - 3\phi_T}{T}$$

$$U_{REF} \approx 1,25V$$

Inne odmiany 2,5V i inne



## Band-gap 2,5V



$$U_{REF} \approx 2,5V$$

Inne odmiany są możliwe





## Źródła odniesienia

- Diody Zenera
- Kompensowane diody Zenera
  - Scalone diody
- Band gap („napięcie baza emiter kompensowane termicznie”)
- Termostatowane źródła odniesienia



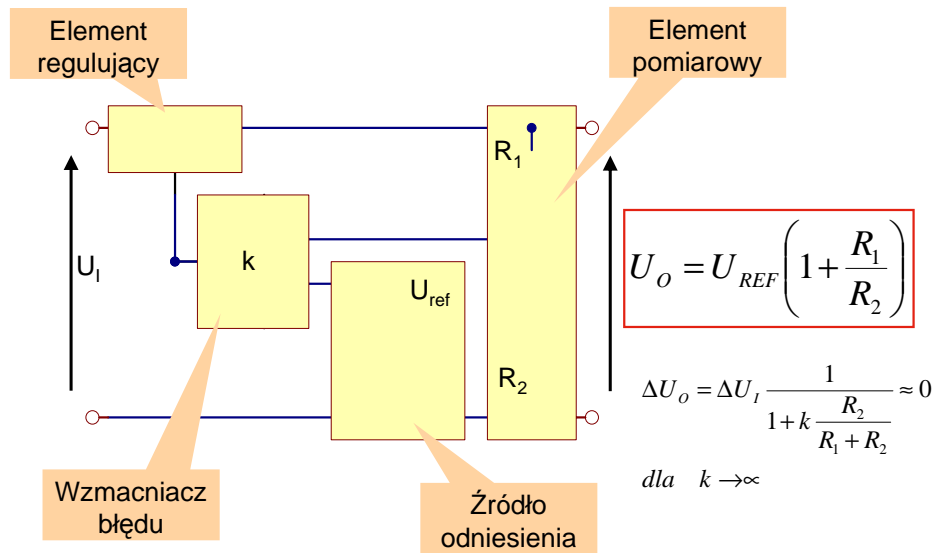
## Źródła odniesienia (przykłady)

typ	$U_{ref}$ [V]	$I_{zas}$ [mA]	TWU [ppm/K]	St.czasowa [ppm/1000h]	$\Delta U_{ref}/\Delta U_{ws}$ [% $U_{ref}$ /V]	$\Delta U_{ref}/\Delta I_o$ [% $U_{ref}$ /10mA]	Szumy [μVpp]
Diody wzorcowe (kompensowane termicznie)							
1N821	6,2±5%	7,5	±100	-?			
1N4890	6,2±5%	7,5	±20	100			
Diody scalone							
μA723	7,15±3%	1,6	50	1000	0,003	0,03	
LM329	6,9±5%	1	30	20	0,1		
REF08G	-10±0,2%	2	10		0,02	0,2	10
Źródła „band-gap”							
REF05	5±0,3%	1	3	100	0,006	0,05	10
LM385-1,2	1,235±1%	0,01	30	20		0,8	60
LM385-2,5	2,5±1,5%	0,01	30			0,4	120
Źródła stabilizowane termicznie							
LM399	6,95±5%	17	0,3	20		0,1	
LTZ1000	7,2±4%	20	0,05	0,3			1,2

P.Horowitz, W.Hill, Sztuka eelektroniki

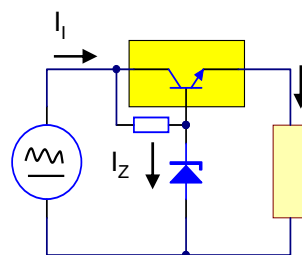
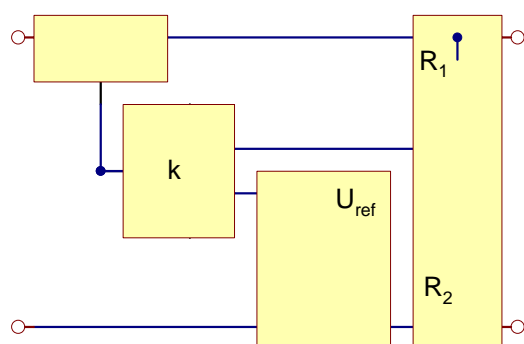


# Stabilizatory kompensacyjne



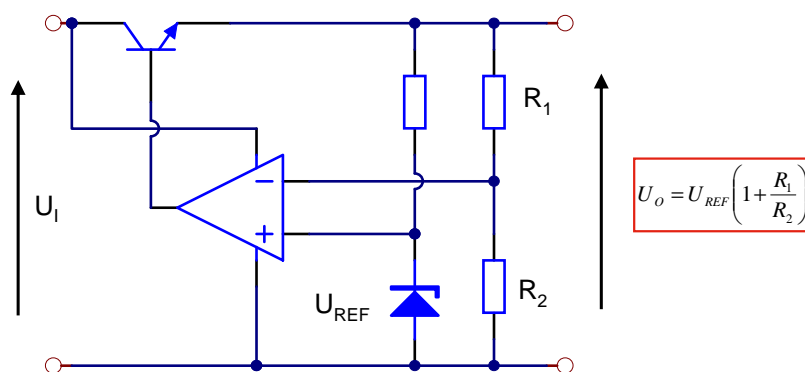


## Najprostszy stabilizator kompensacyjny szeregowy



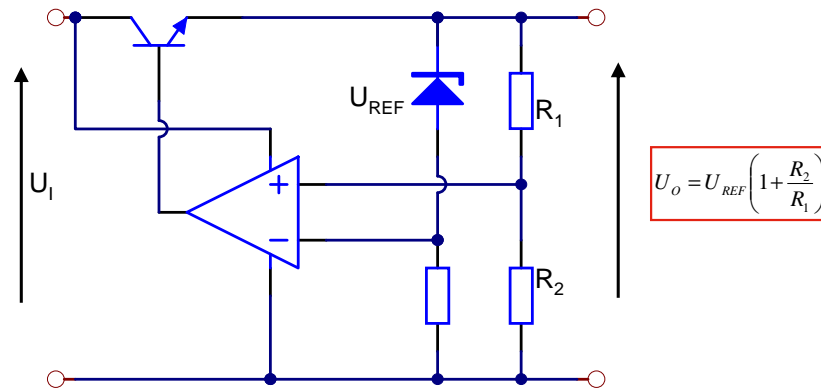


## Stabilizator kompensacyjny 1



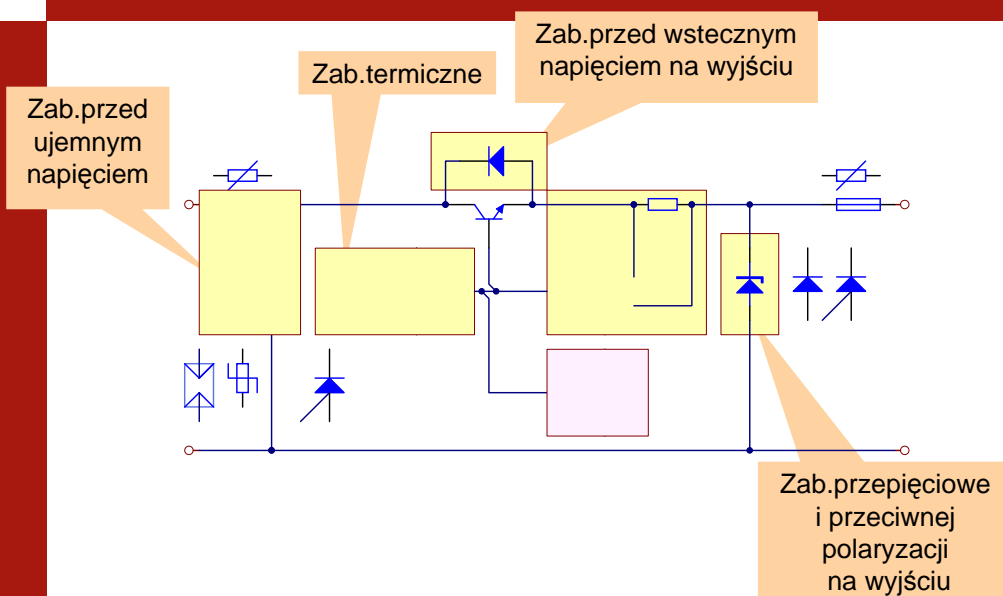


## Stabilizator kompensacyjny 2





## Typowe układy zabezpieczeń





## Elementy stosowane do zabezpieczeń

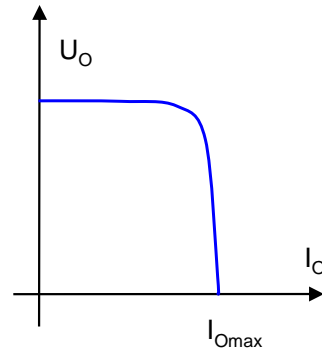
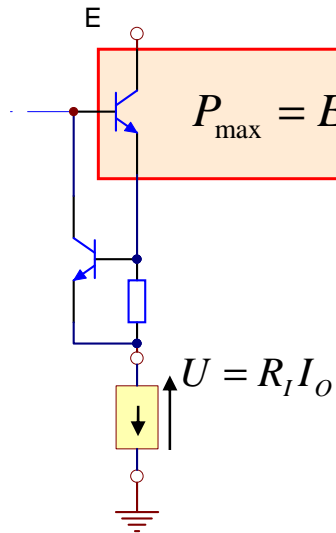
Elementy zabezpieczające:

- dioda,
- dioda Zenera,
- transil (jedno- lub dwustronny),
- triak (tyrystor),
- Iskrownik próżniowy,
- bezpiecznik topikowy (szybki lub zwłoczny),
- bezpiecznik półprzewodnikowy (PTC),
- Inne.....





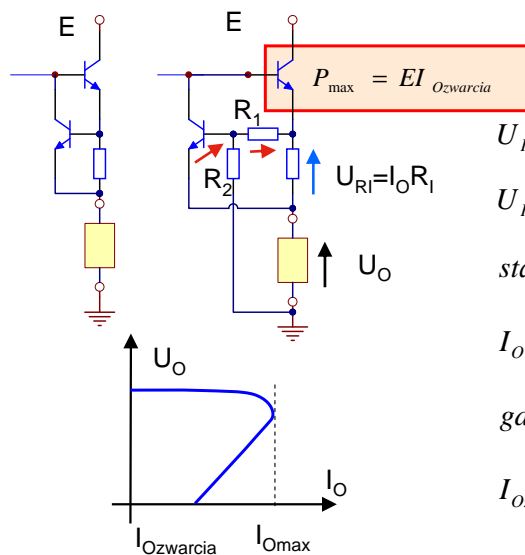
## Układ zabezpieczenia prądowego (najprostszy ?)



$$I_{O\max} = \frac{U_{BE}}{R_I} \approx \frac{0,7V}{R_I}$$



## Układ zabezpieczenia prądowego (fold-back)



$$U_{R1} = I_{Omax} R_1 > U_{BE} + U_{R1}$$

$$U_{R1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} (U_O + R_1 I_{Omax})$$

stąd :

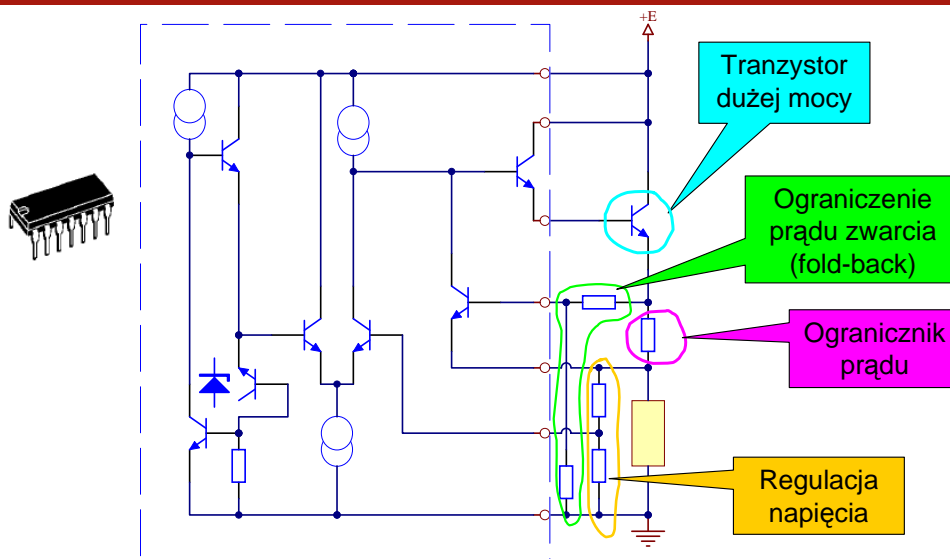
$$I_{Omax} = \frac{1}{R_1} \left[ \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right) U_{BE} + \frac{R_1}{R_2} U_O \right]$$

gdy  $U_O = 0$

$$I_{Ozwarcia} = \frac{1}{R_1} \left[ \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right) U_{BE} \right]$$

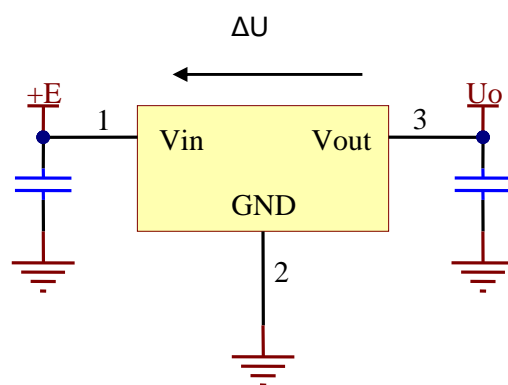


## Stabilizatory kompensacyjne $\mu A723$ - schemat b. uproszczony





## Stabilizatory trzykońcówkowe o stałym napięciu - 78xXX

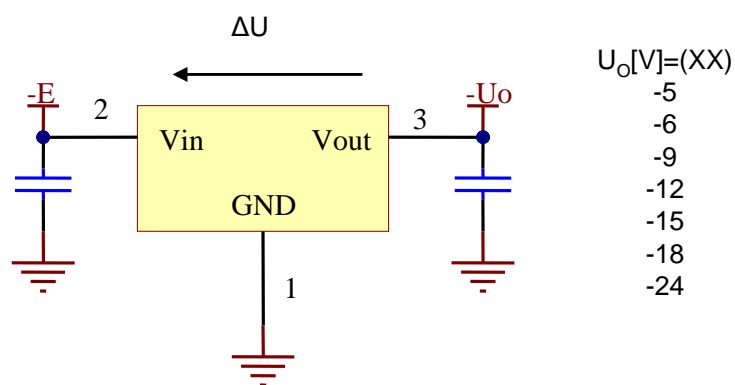


$U_o[V]=(XX)$

3,3  
5  
5,2  
6  
8  
8,5  
9  
12  
15  
18  
24



## Stabilizatory trzykońcówkowe o stałym napięciu - 79xXX





## Stabilizatory trzykońcówkowe o stałym napięciu serii 78xXX

### Główne cechy:

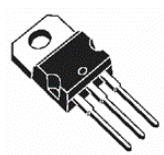
- Napięcie wejściowe - 35V(40V)
- Ograniczenie prądu  
0,1A/1A/3A (TO-92/TO-220/TO-3)
- Minimalny spadek napięcia  $\Delta U \approx 2V$
- Parametry stabilizacyjne przeciętne  
(temperatury, napięcia wyjściowego, obciążenia)
- Ogranicznik temperatury



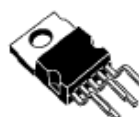
## Przykłady obudów stabilizatorów monolitycznych



TO-92 – 100mA



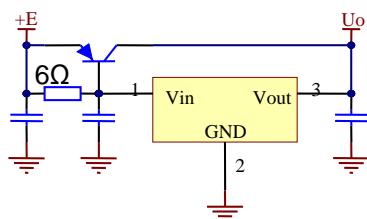
TO-220 – 1A



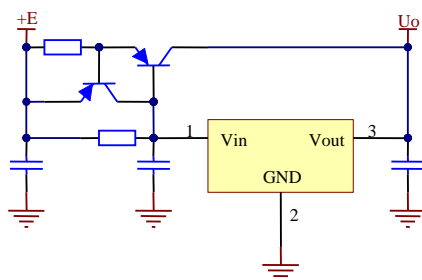
TO-3 – 3÷5A



## Stabilizatory napięcia stałego - możliwości rozszerzenia zakresu zastosowań



Zwiększenie dopuszczalnego prądu  
-zwiększa się minimalny spadek napięcia

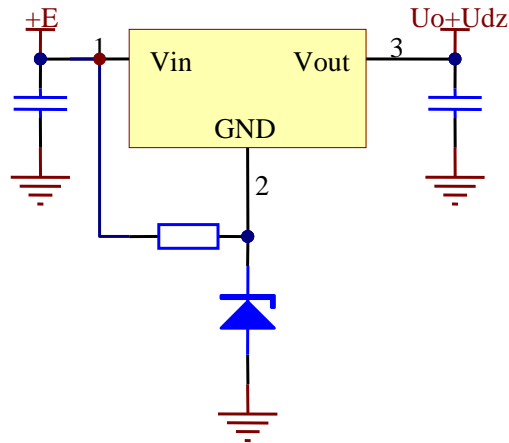


Zwiększenie dopuszczalnego prądu i ograniczenie prądu tranzystora  
-zwiększa się minimalny spadek napięcia





## Stabilizatory napięcia stałego - możliwości rozszerzenia zakresu zastosowań

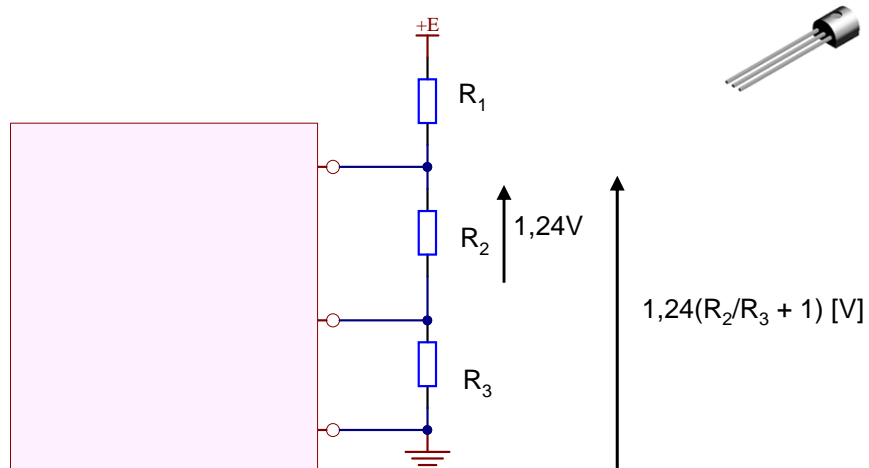


Zwiększenie napięcia wyjściowego

-parametry stabilizacji mogą się pogorszyć jeśli zastosujemy zwykłą diodę Zenera

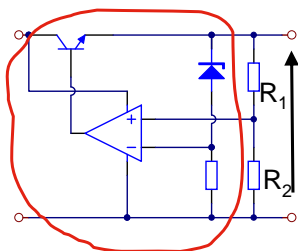


## Regulowane napięcie odniesienia trzykońcówkowe LM385-ADJ

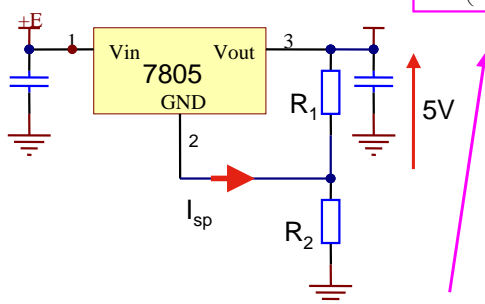




## Monolityczne stabilizatory o nastawnym napięciu



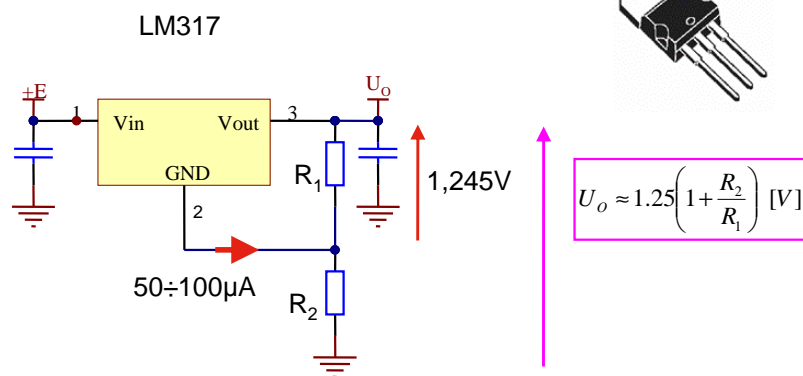
$$U_o = U_{REF} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$



$$U_o \approx 5 \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) [V] + I_{SP} R_2$$

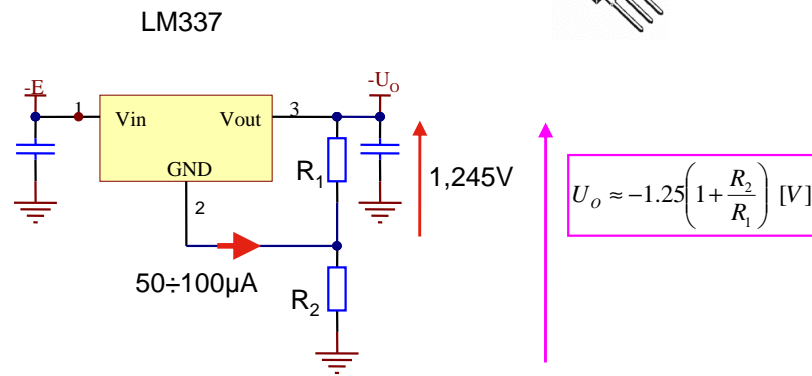


## Monolityczne stabilizatory o nastawnym napięciu LM317



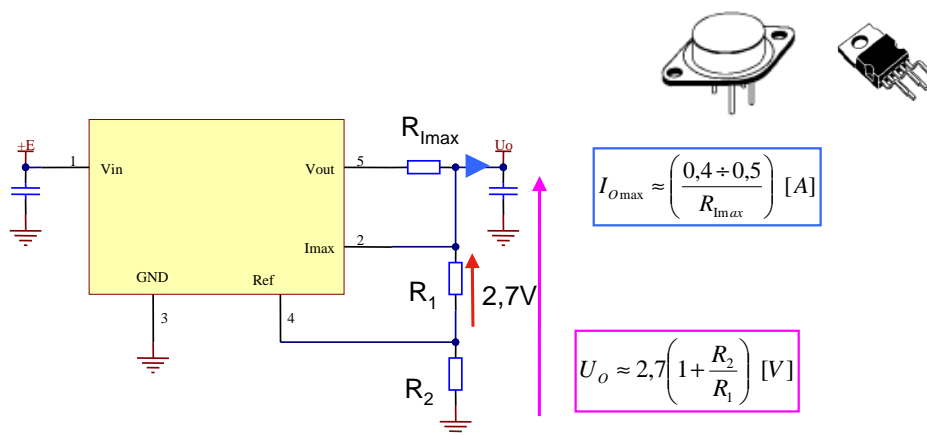


## Monolityczne stabilizatory o nastawnym napięciu ujemnym LM337



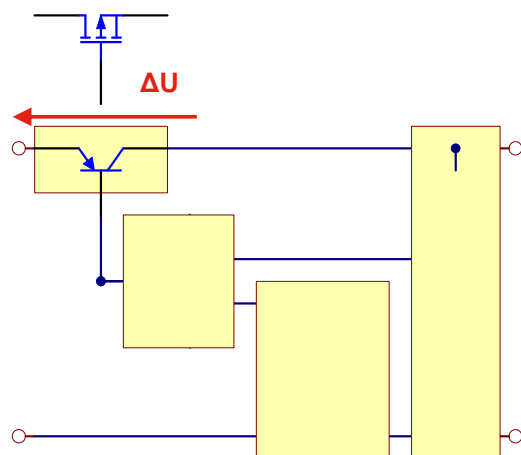


## Monolityczne stabilizatory o nastawnym napięciu i prądzie maksymalnym - L200





## Stabilizatory LDO (Low DropOut)



W typowym zasilaczu  
 **$\Delta U > 2V$**

**W zasilaczu LDO**  
 **$\Delta U > 0,2 \div 0,5V$**



## Zestawienie właściwości zasilaczy scalonych

typ	$U_{max}$ [V]	$U_O$ [V]	$\Delta U_{min}$ [V]	$I_{Omax}$ [A]	$I_{zasilania}$ [mA]	TWU [ppm/K]	St.czasowa [%/1000h]	$\Delta U_O / \Delta U_{we}$ [% $U_O$ /V]	$\Delta U_O / \Delta I_O$ [ $\Omega$ ]
<b>Stabilizatory uniwersalne</b>									
$\mu A723$	40	2-36	2	0,065a	$\pm 100$	20	0,001	0,003	0,04
L200	40	2,8-36	2	3,6b	4,3	10	-	0,001	0,002
LM317/337T	40	1,2-37	2	1,5		600	0,3	0,01	0,003
<b>Stabilizatory o ustalonym napięciu</b>									
LM78L05	35	5 $\pm$ 4%	2	0,1	4	300	0,4	0,09	0,01
LM7812	35	12 $\pm$ 4%	2	1	4	300	0,4	0,06	0,01
LM7815CT	35	15 $\pm$ 4%	2	2	4	300	0,4	0,03	0,01
<b>Stabilizatory o ustalonym napięciu ujemnym</b>									
LM7905	-35	-5 $\pm$ 4%	2	1	4	300	0,4	0,09	0,01
<b>Stabilizatory LDO</b>									
LM2340-05	35	5 $\pm$ 4%	0,5	1	4	300	0,4	0,09	0,01

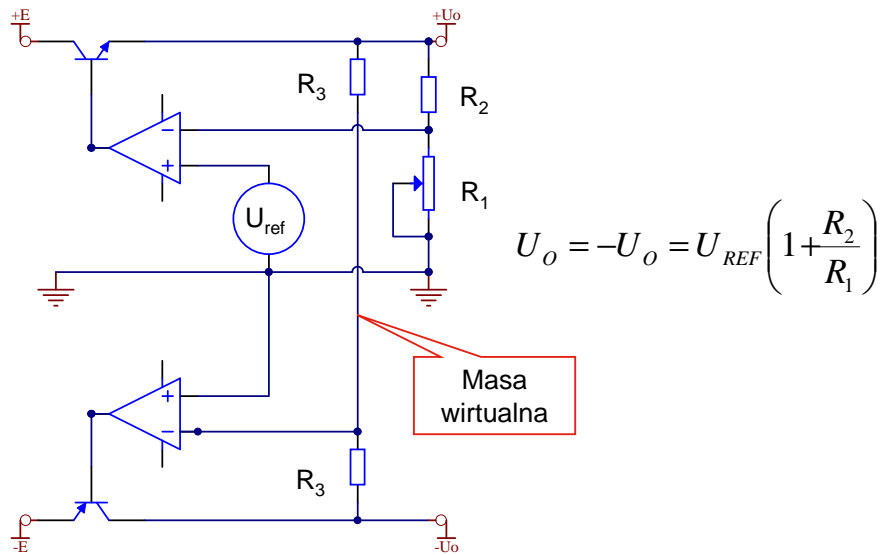
a- tranzystora zewnętrznego

b-bez zewnętrznego ogranicznika



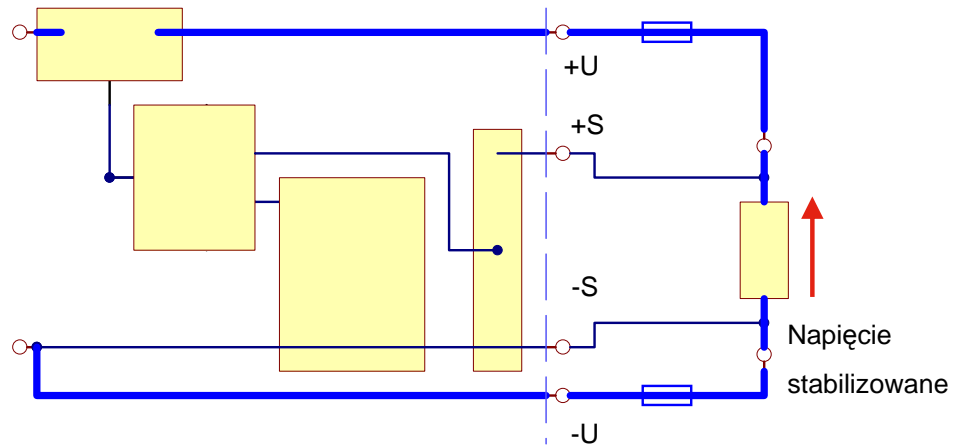


## Zasilacz dwunapięciowy „dual tracking regulator”



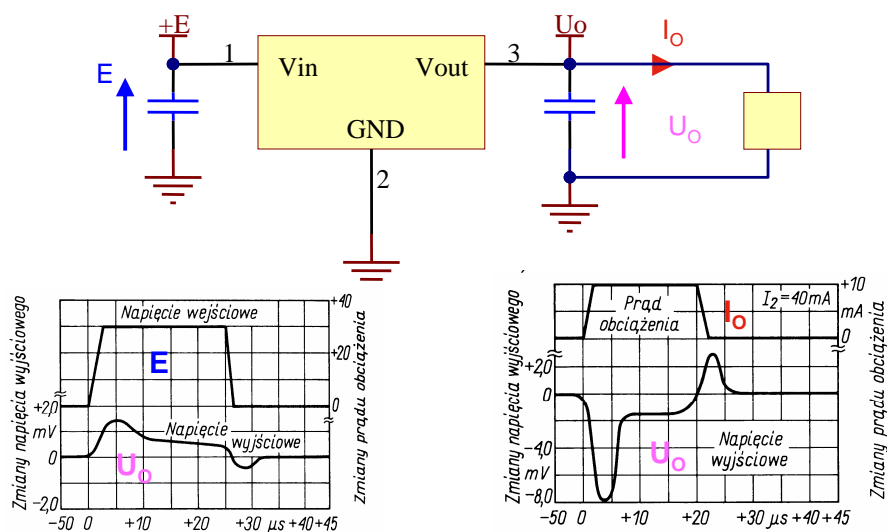


## Zasilacz z zaciskami pomiarowymi



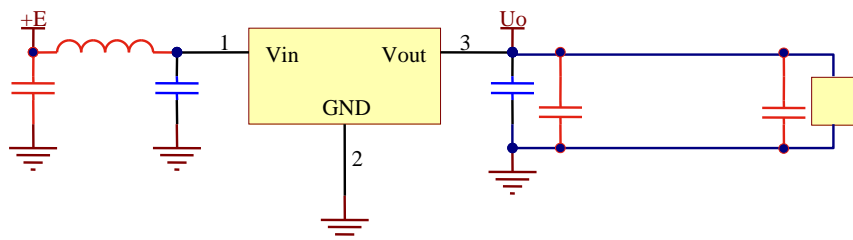


## Charakterystyki impulsowe





## Charakterystyki impulsowe



Zminimalizowanie skutków skoków napięcia wejściowego:

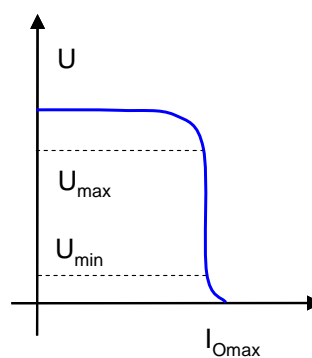
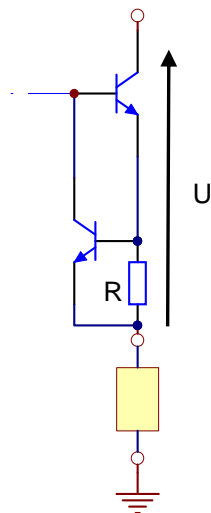
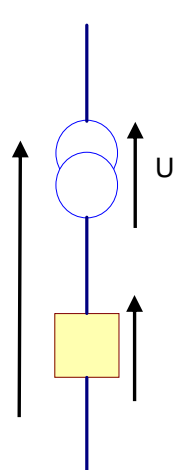
- Dodatkowy filtr (C, L itp..)
- Inne elementy tłumiące (np..transil)
- Zasilacz wstępny

Zminimalizowanie efektów skoków prądu obciążenia:

- zmniejszenie impedancji wyjściowej prze dodanie kondensatorów o małej impedancji dla wysokich częstotliwości,
- kondensatory przy elementach pobierających prąd impulsowo



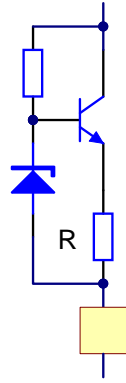
## Stabilizatory prądu



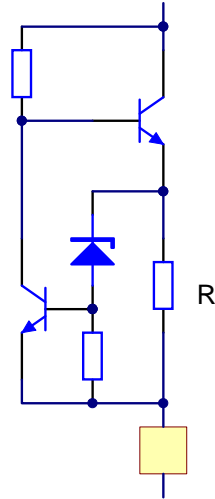
$$I \approx \frac{U_{BE}}{R}$$



## Stabilizatory prądu



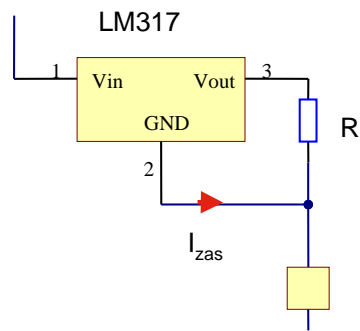
$$I = \frac{U_{DZ} - U_{BE}}{R}$$
$$U_{\min} = U_{DZ} + U_{Tsat}$$



$$I = \frac{U_{DZ} + U_{BE}}{R}$$
$$U_{\min} = U_{DZ} + U_{BE} + U_{Tsat}$$



## Stabilizatory prądu



$$I \approx \frac{1,25V}{R} + I_{zas}$$

$$U_{\min} \approx 1,25 + 2 = 3,25V$$



## Podsumowanie

- Główne parametry stabilizatorów
- Stabilizatory parametryczne oparte na diodzie Zenera
- Źródła napięć wzorcowych
- Stabilizatory kompensacyjne
- Sposoby zabezpieczeń stabilizatorów
- Stabilizatory scalone - typy, własności
- Stabilizatory prądu