



Politechnika
Wrocławska

Elementy elektroniki i elektrotechniki

Przetwarzanie i stabilizacja napięcia

Wojciech Tarnawski

wojciech.tarnawski@pwr.edu.pl

www.w-tarnawski.pl

20250120





Przetwarzanie i stabilizacja napięcia

- Wstęp
- Napięcie stałe, zmienne i przemienne
- Napięcie przemienne - regulacja
- Zasilacz transformatorowy
- Napięcie stałe – stabilizacja
- Dioda Zenera, napięcie odniesienia
- Stabilizatory liniowe
- Stabilizator impulsowy - przetwornice DC/DC
- Zabezpieczenia układów



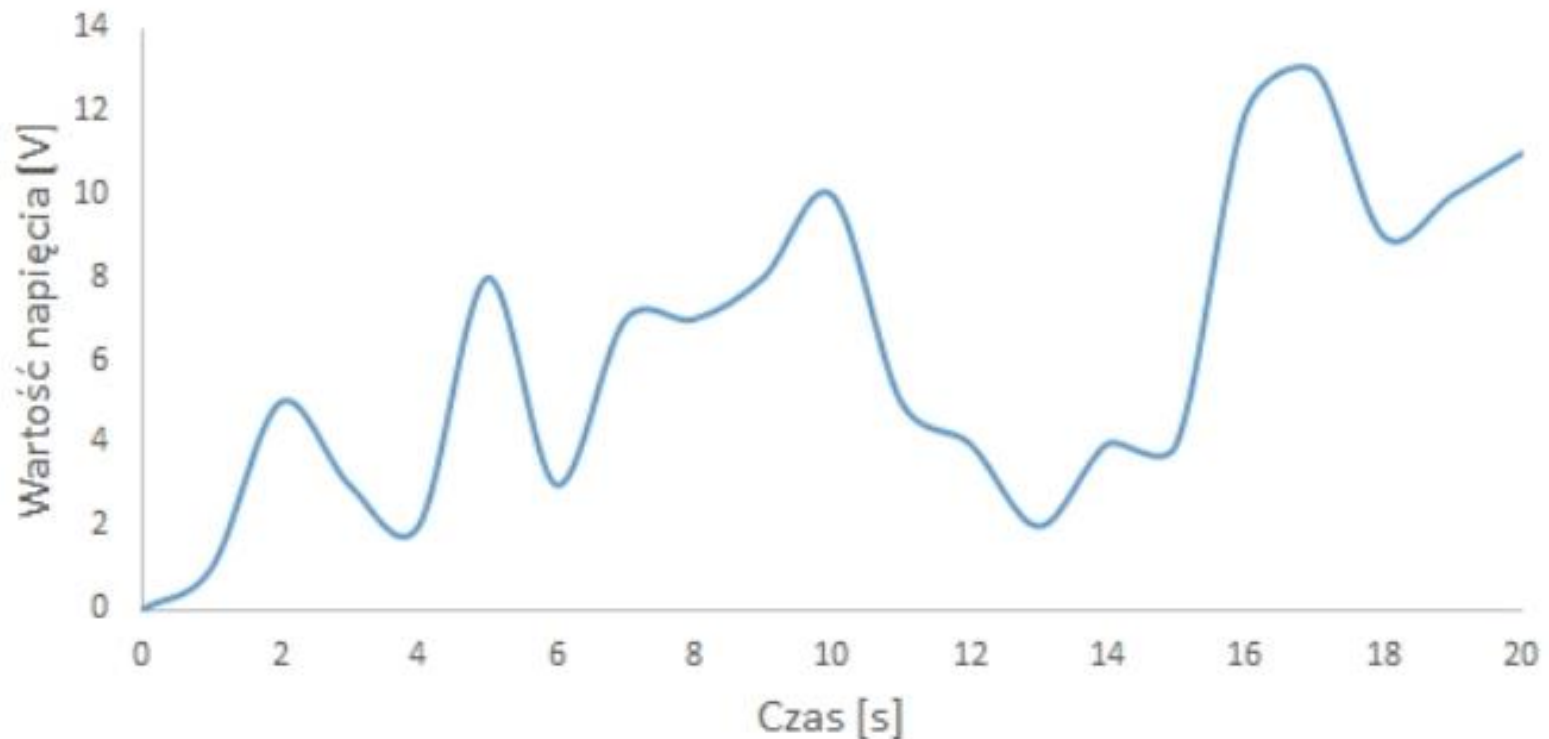
Napięcie stałe, zmienne i przemiennie

- Napięcie zmienne
- Napięcie przemiennie
- Napięcie stałe

Napięcie stałe, zmienne i przemienne

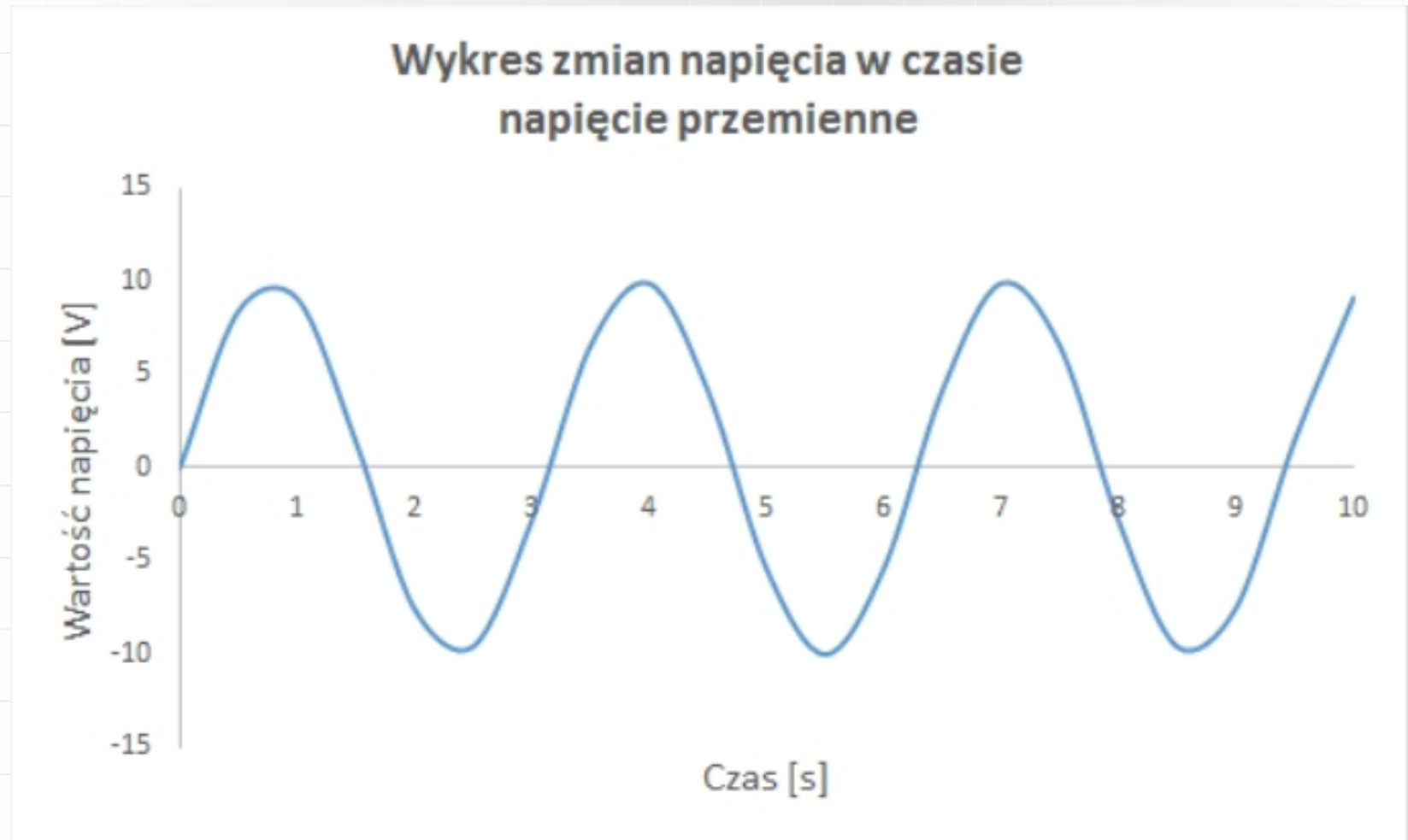
Napięcie zmienne, w różnych chwilach czasu wartość napięcia ulega zmianie. Tego typu napięcie można spotkać w układach audio i różnego typu generatorach.

Wykres zmian napięcia w czasie
napięcie zmienne



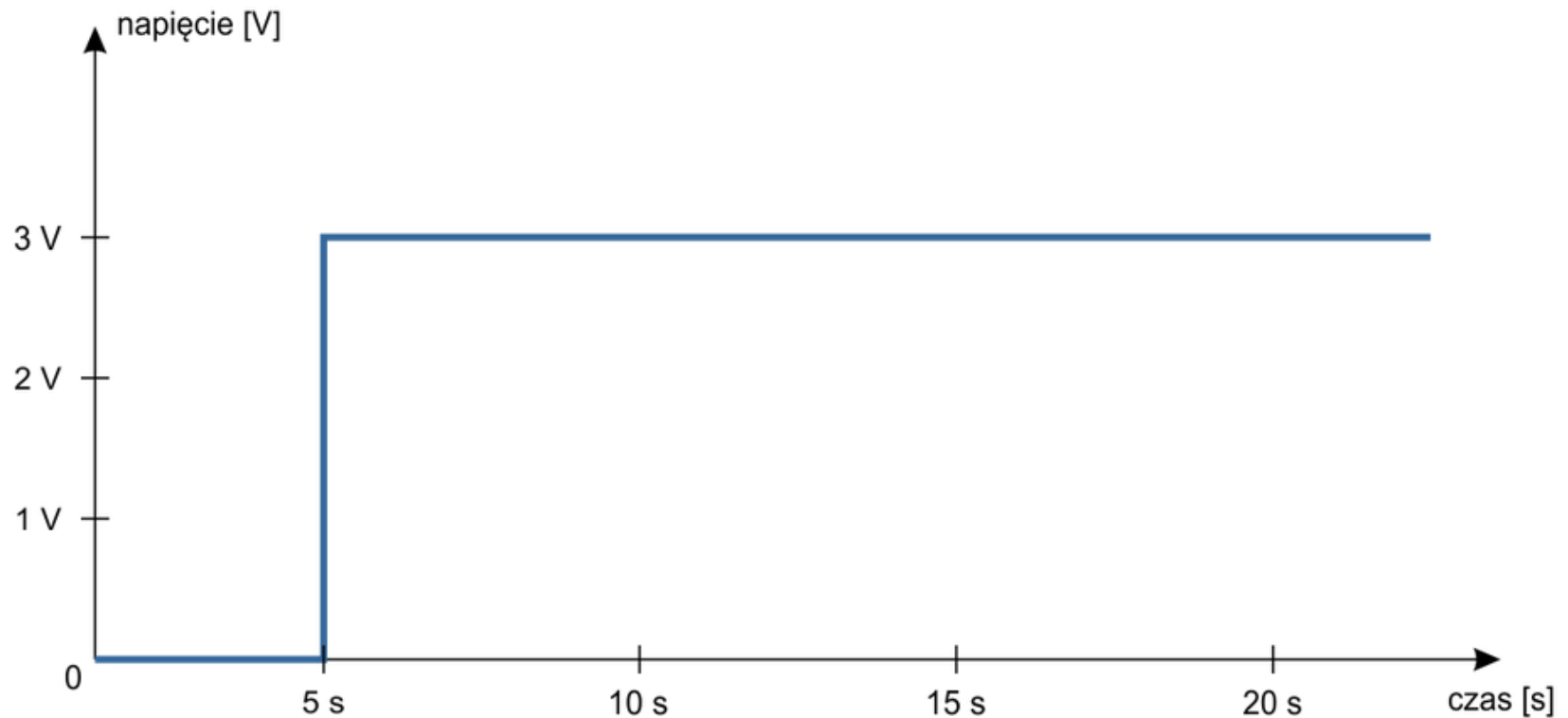
Napięcie stałe, zmienne i przemienne

Napięcie przemienne, tak samo jak w zmiennym ulega zmianie wartości w czasie, ale przechodzi przez zero i przeważnie jest przebiegiem okresowym.



Napięcie stałe, zmienne i przemienne

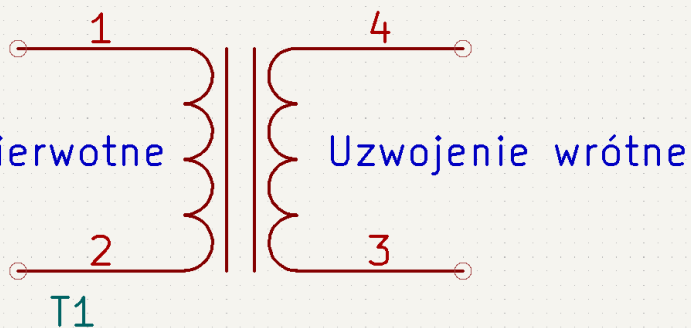
Napięcie stałe – DC, jego wartość jest stała w czasie.



Napięcie przemienne - regulacja

Transformator

Transformator



Uzwojenie pierwotne

Liczba zwojów N_1

Prąd pierwotny I_1

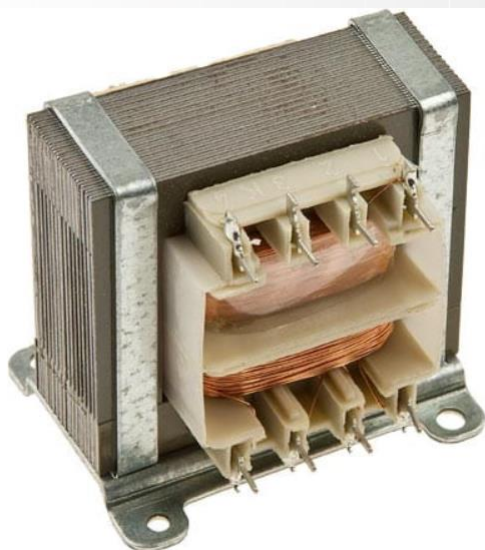
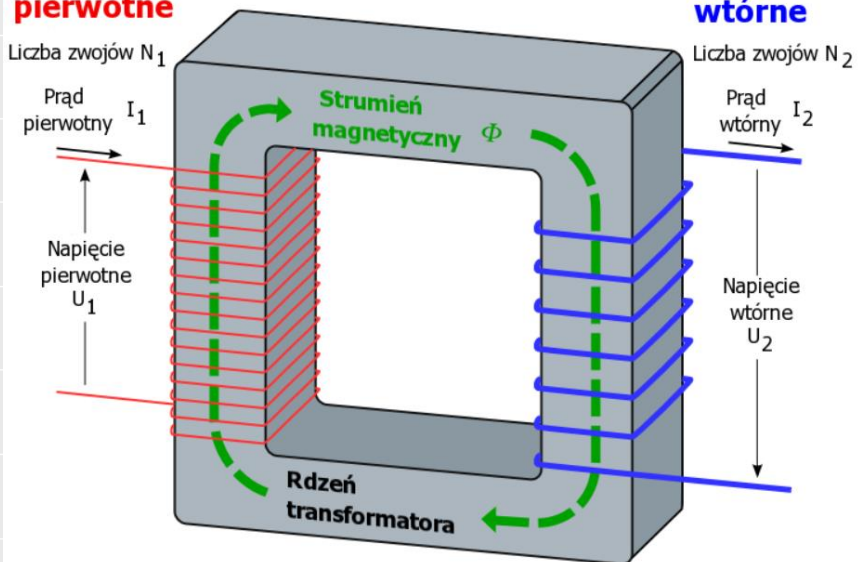
Napięcie pierwotne U_1

Uzwojenie wtórne

Liczba zwojów N_2

Prąd wtórny I_2

Napięcie wtórne U_2



Napięcie przemiennie - regulacja

Autotransformator



Napięcie przemiennie - regulacja

Transformator

Przekładnia transformatora – liczba określająca stosunek liczby zwojów uzwojenia pierwotnego do liczby zwojów uzwojenia wtórnego

$$\frac{U_{we}}{U_{wy}} = \frac{I_{wy}}{I_{we}} = \frac{n_{we}}{n_{wy}} = \textit{przekładnia transformatora}$$

Transformator **nie będzie działał** zasilany prądem stałym



Transformatory

Podsumowanie

Zalety

- Prosty układ, jeden element
- Mała awaryjność
- Nie generuje dodatkowych zakłóceń

Wady

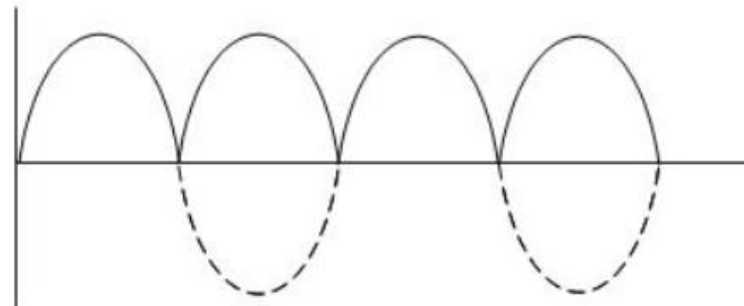
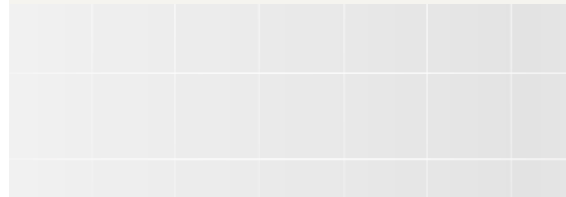
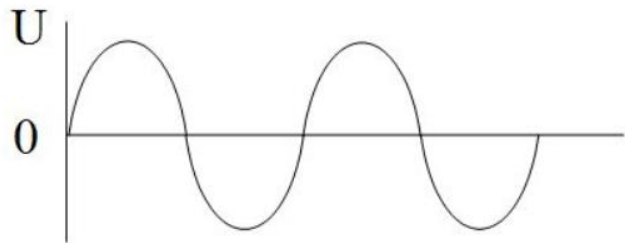
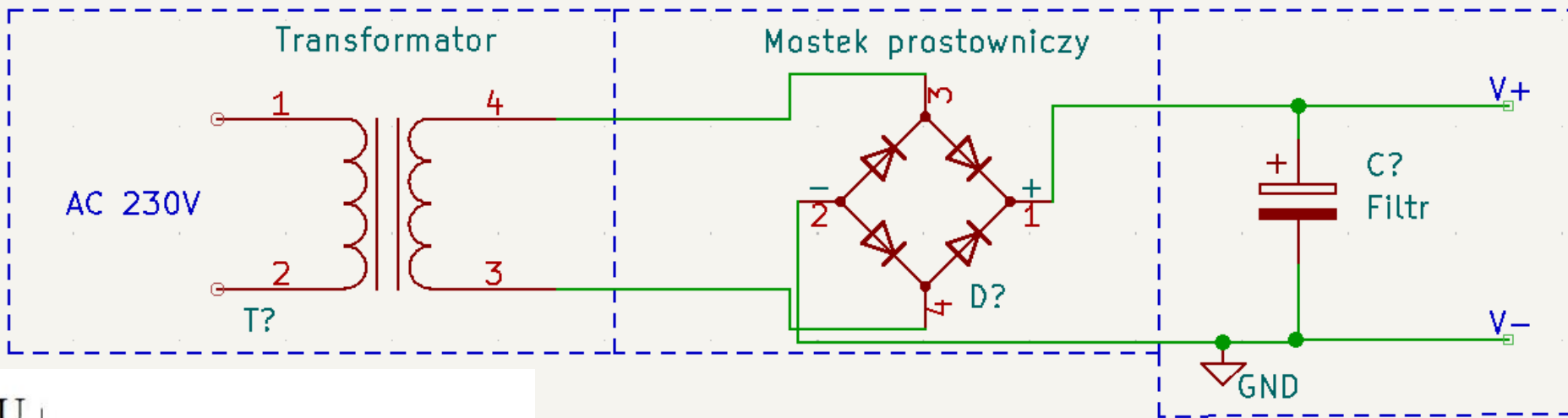
- Mała sprawność w porównaniu do miejsca (gęstość)
- Wysoki koszt
- Działa tylko z napięciem przemiennym
- Brak możliwości regulacji napięcia
- Napięcie wyjściowe zależne od wejściowego

Napięcie przemiennie – inne metody

- Regulatory impulsowe, zasilacze impulsowe
- Falowniki

Napięcie przemiennie – napięcie stałe

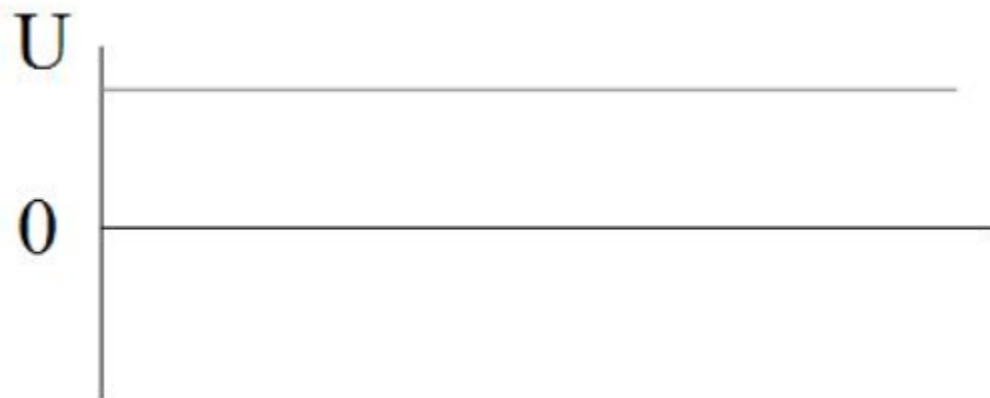
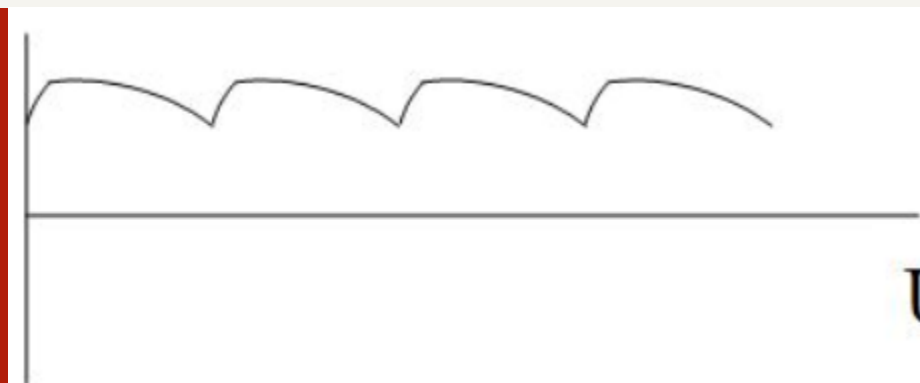
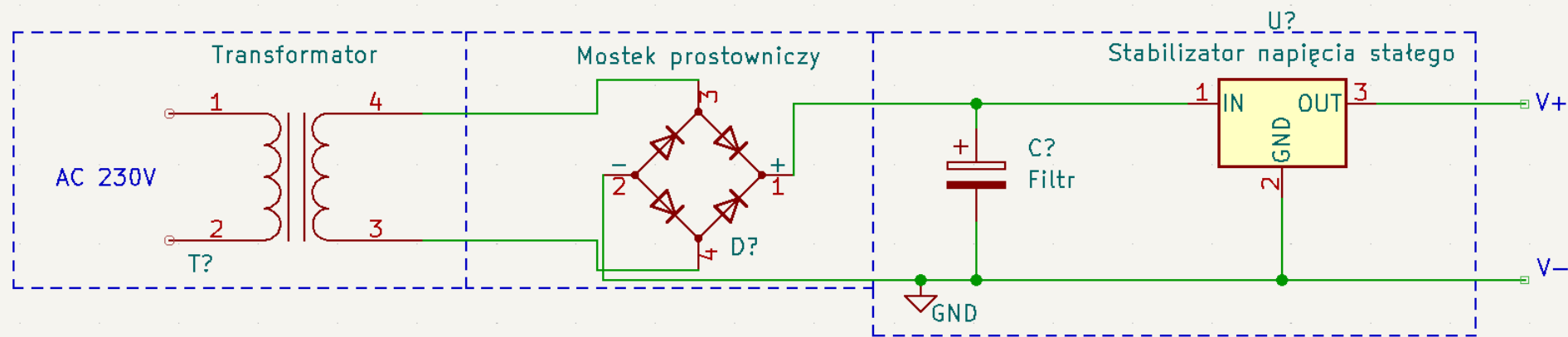
Zasilacz transformatorowy niestabilizowany



Jak
zmniejszyć
tętnienia?

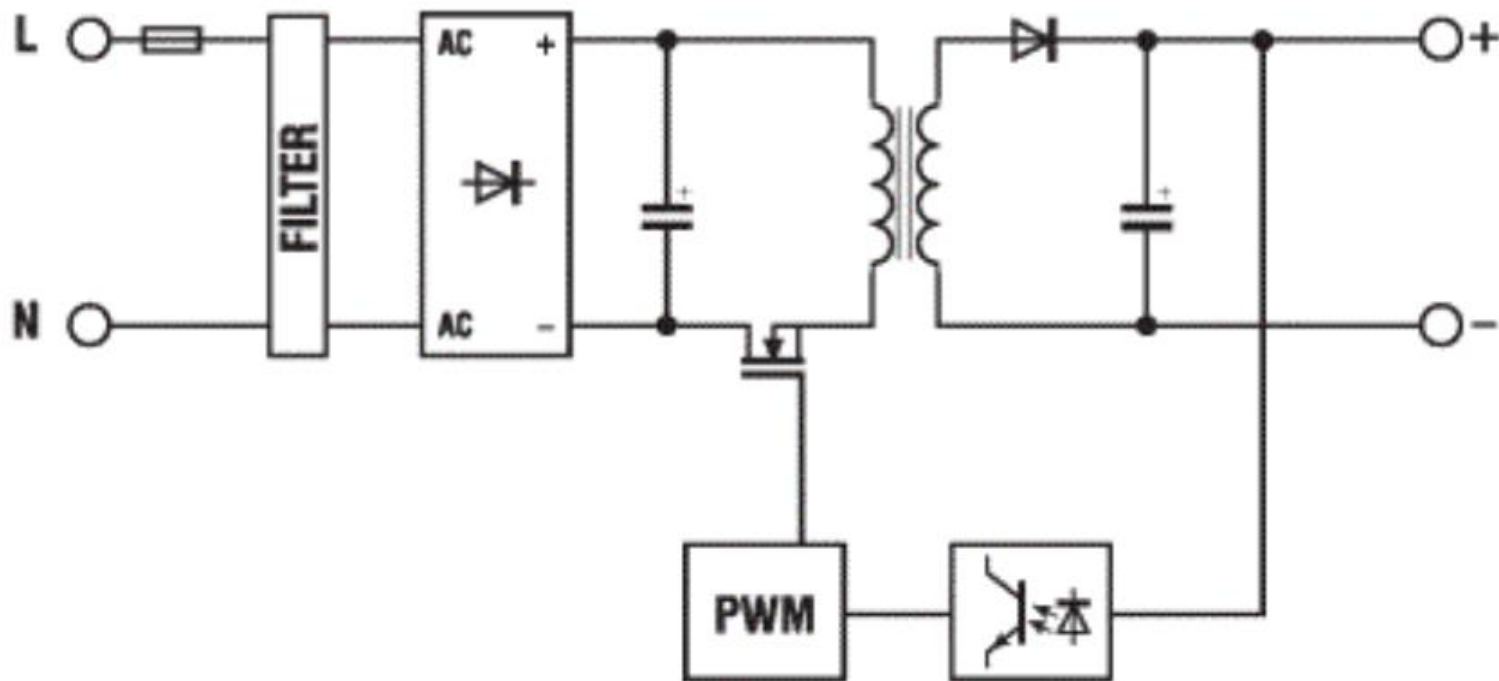
Napięcie przemiennie – napięcie stałe

Zasilacz transformatorowy stabilizowany



Napięcie przemiennie – napięcie stałe

Zasilacz impulsowy AC – schemat uproszczony



Transformator impulsowy – projektowany na dużo większe częstotliwości działania niż 50Hz, co wpływa na jego wielkość i parametry pracy.

Napięcie przemiennie → napięcie stałe

Zasilacz impulsowy a transformatorowy

Zalety:

- Mniejszy rozmiar i waga
- Wyższa sprawność
- Tańszy
- Praca z różnymi napięciami wejściowymi (100-240V AC)

Wady:

- Skomplikowana budowa, trudniejsza naprawa
- Większa awaryjność
- Większy poziom zakłóceń, wymagane układy filtrujące
- Nie nadają się do aplikacji precyzyjnych wymagających małych szumów napięcia zasilania
- Zawartość widma wysokiej częstotliwości

Zasilacze impulsowe są obecnie najpopularniejszymi zasilaczami sieciowymi. Ładowarki telefonów komórkowych, zasilacze komputerowe, zasilacze przemysłowe, zasilacze urządzeń elektronicznych itd.

Napięcie stałe - stabilizacja

- Rezystancja obciążenia, wydajność prądowa – jakie obciążenie potrafi obsłużyć stabilizator
- Współczynnik stabilizacji- jak napięcie wyjściowe zmienia się w stosunku to napięcia wejściowego i pod zmianą obciążenia
- Stabilizacja temperaturowa
- Sprawność układu – straty, wydzielane ciepło
- Zakres napięcia pracy
- Napięcie dropout - minimalna różnica wartości pomiędzy napięciem jakim zasilamy stabilizator, a jego napięciem wyjściowym, by regulator działał poprawnie

Napięcie stałe - stabilizacja

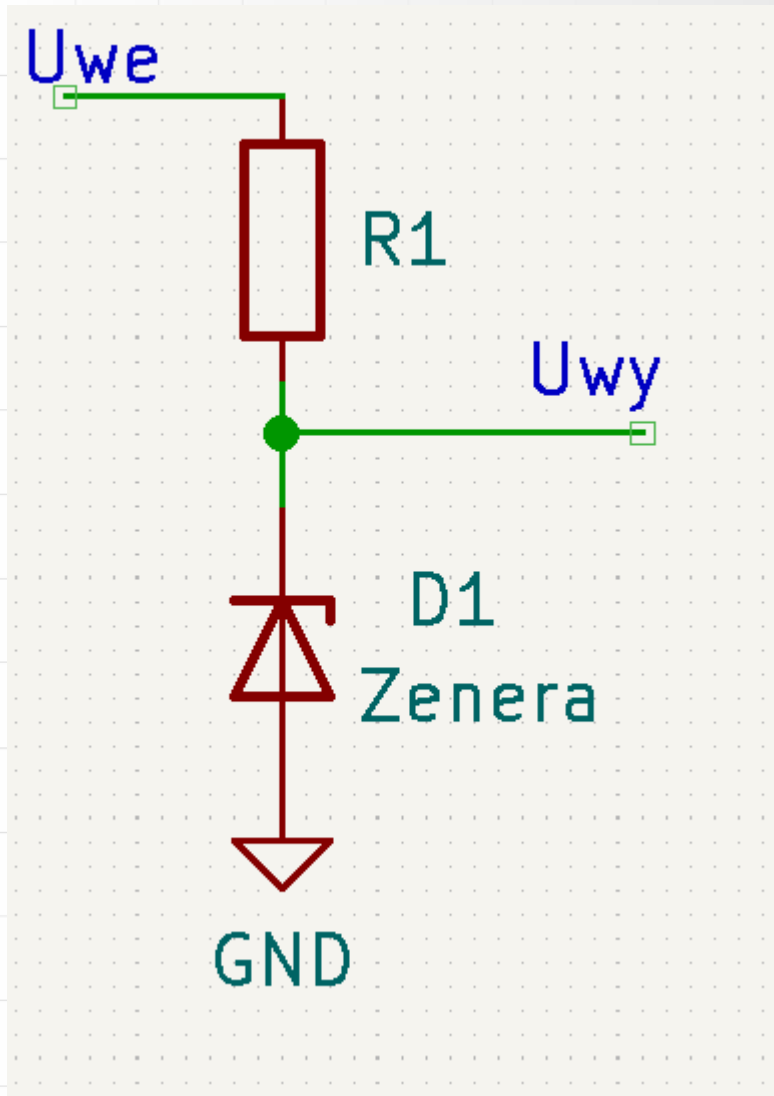
Stabilizatory parametryczne - wykorzystują wprost właściwości elementów nieliniowych - dioda Zenera, warystor

Stabilizatory kompensacyjne szeregowo – posiadają sprzężenie zwrotne, które porównuje napięcie wyjściowe z wzorcem napięcia odniesienia. Jeśli napięcia nie są równe, to ich różnica działa na układ regulacji

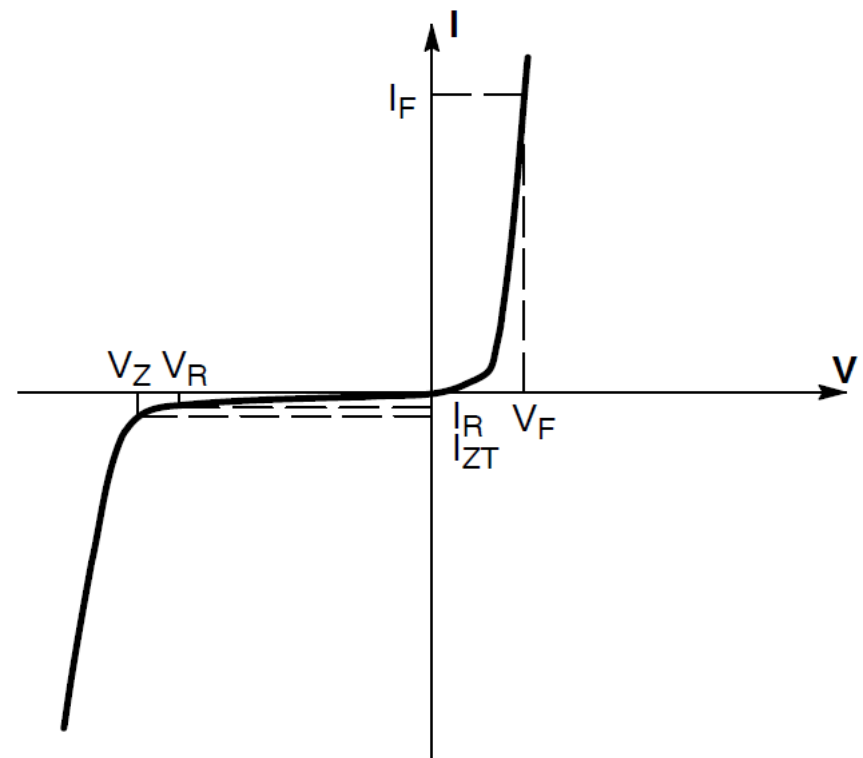
Stabilizatory kompensacyjne równoległe - większe moce (setki W), o stałym napięciu wyjściowym.

Stabilizatory impulsowe – układ regulacji nie pracuje w sposób ciągły, lecz jako przełącznik elektroniczny. Zewnętrzna cewka stanowi „magazyn energii”

Dioda Zenera - stabilizator

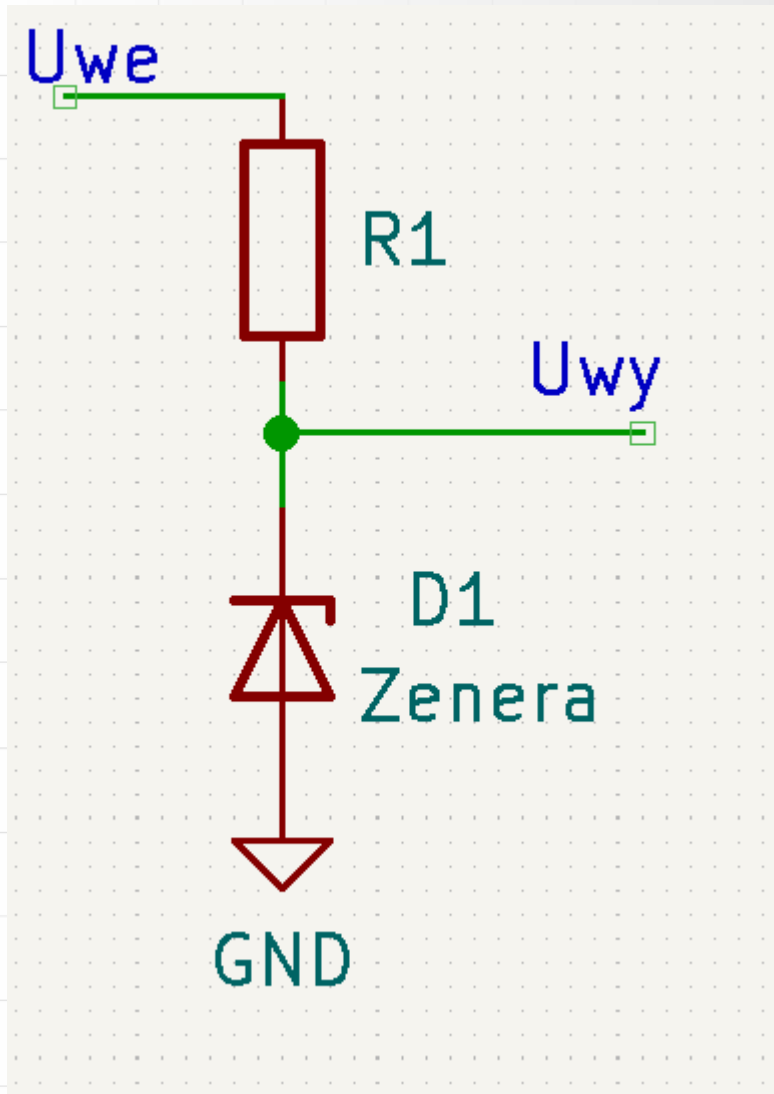


$$U_{wy} = V_z$$



Zener Voltage Regulator

Dioda Zenera - stabilizator



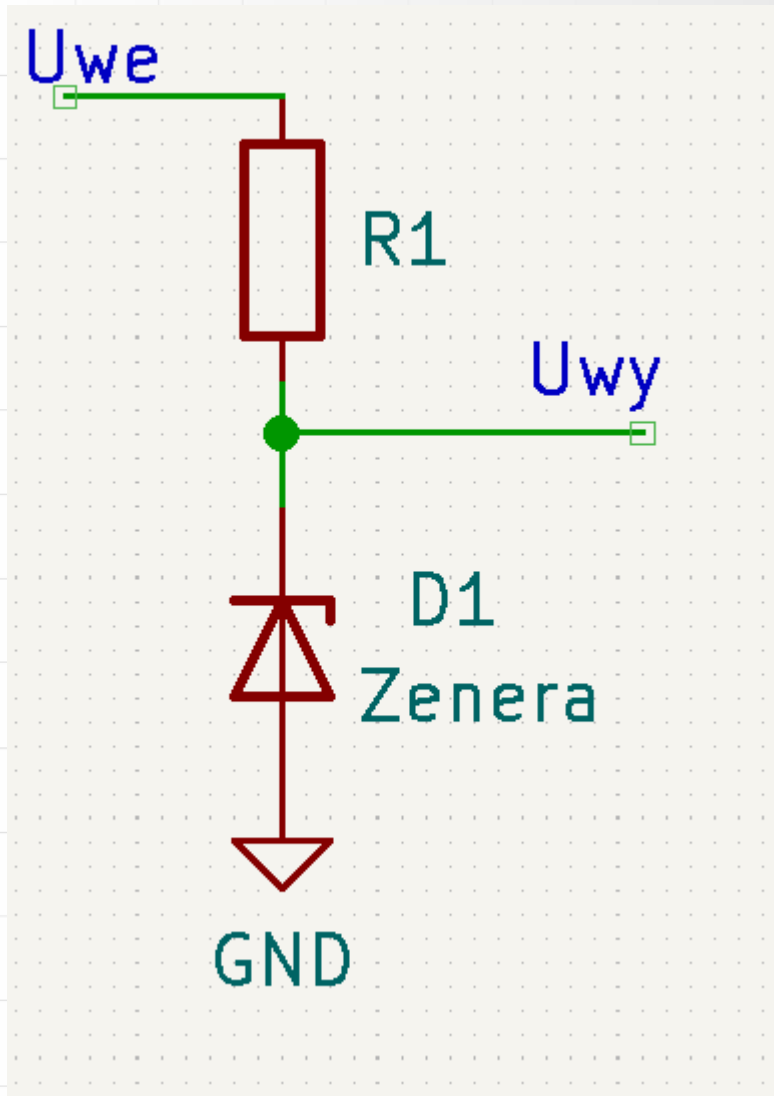
$$U_{we} = 10V$$

$$U_z = 5.1V$$

$$I_z = 5mA$$

Ile wynosi $R1$ dla
podanego punktu
pracy?

Dioda Zenera - stabilizator



$$U_{we} = 10V$$

$$U_z = 5.1V$$

$$I_z = 5mA$$

$$R1 = \frac{U_{we} - U_z}{I} = \frac{10V - 5.1V}{0,005A} = 980\Omega(1000\Omega)$$

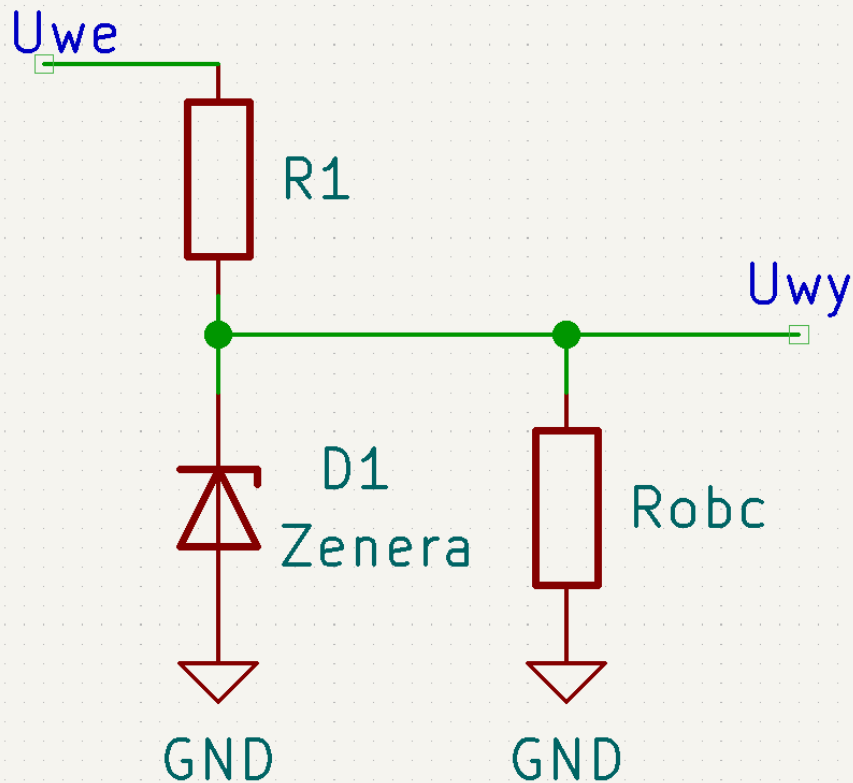
Dioda Zenera - stabilizator

$$U_{we} = 10V$$

$$U_Z = 5.1V$$

$$I_Z = 5mA$$

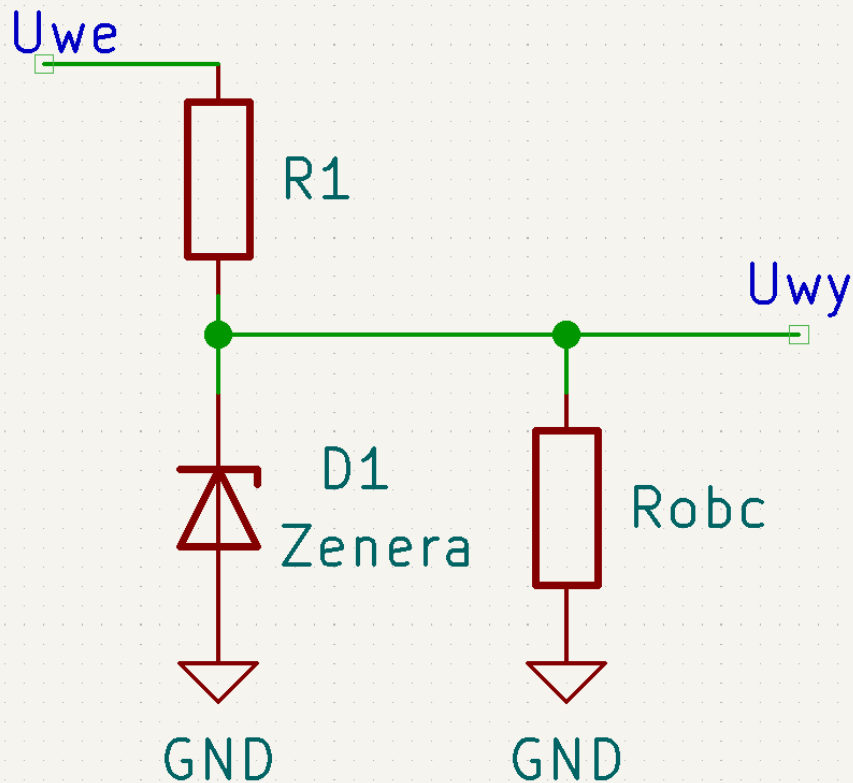
$$R_{obc} = 1000\Omega$$



Ile wynosi I_{obc} dla
podanych danych?

Ile wynosi $R1$ dla
podanego punktu pracy?

Dioda Zenera - stabilizator



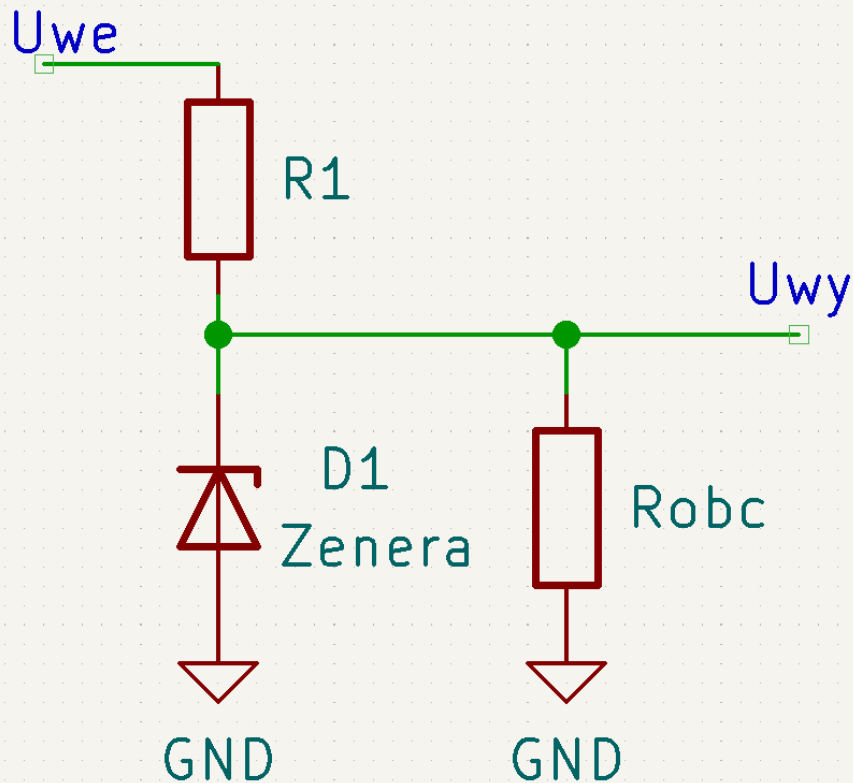
$$U_{we} = 10V$$

$$U_z = 5.1V$$

$$R_{obc} = 1000\Omega$$

$$I_{obc} = \frac{U}{R} = \frac{5.1V}{1000\Omega} = 0,0051A = 5,1mA$$

Dioda Zenera - stabilizator



$$U_{we} = 10V$$

$$U_z = 5.1V$$

$$R_{obc} = 1000\Omega$$

$$I_{obc} = \frac{U}{R} = \frac{5.1V}{1000\Omega} = 0,0051A = 5,1mA$$

$$I = I_z + I_{obc} = 5 + 5.1 = 10,1mA$$

$$R1 = \frac{U_{we} - U_z}{I} = \frac{10V - 5.1V}{0,0101A} \approx 485\Omega (470\Omega)$$

Jako moc wydzieli się na R1?

Dioda Zenera

Podsumowanie

Zalety

- Prosty układ
- Niski koszt
- Bardzo szybki, wykorzystanie fizycznych właściwości

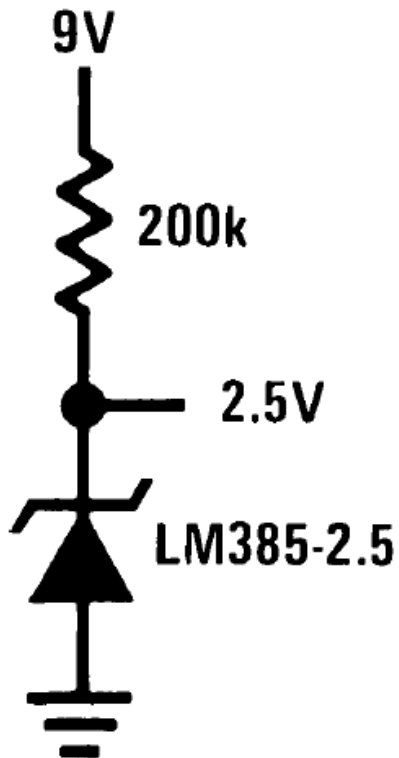
Wady

- Problem punktu pracy-zmienne obciążenie
- Bardzo duża podatność na zmiany temperatury
- Stosunkowa mała wydajność prądowa

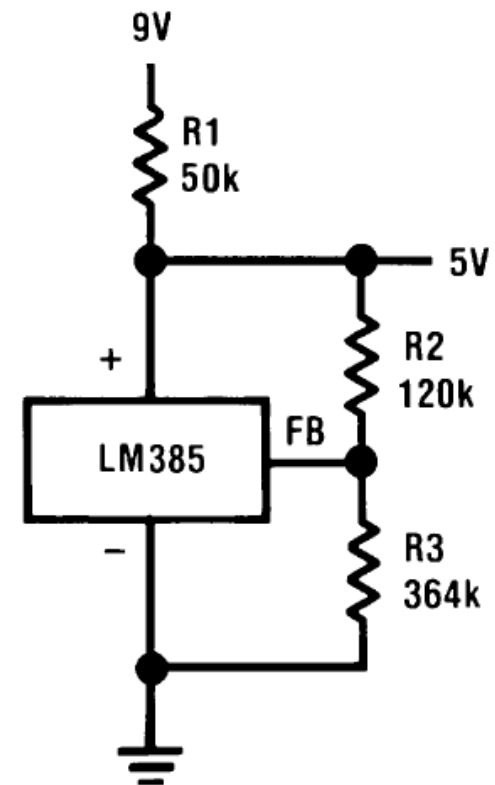
Napięcia odniesienia

Lepsza dioda Zenera?

LM385 – 2.5V



TL431, LM385 -ADJ



$$V_{OUT} = 1.24 \left(\frac{R3}{R2} + 1 \right)$$

Napięcia odniesienia

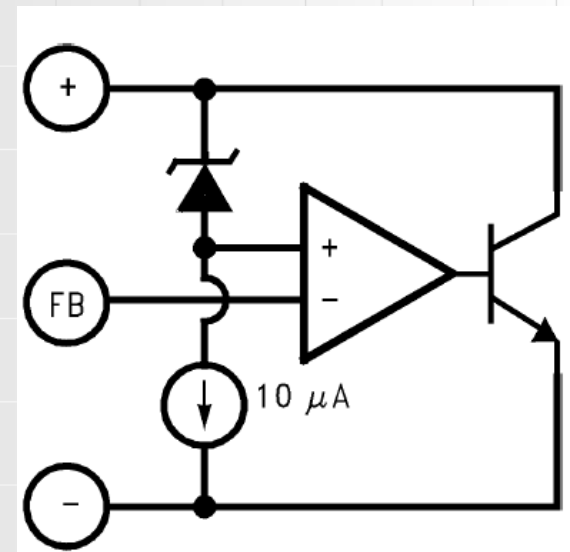
Podsumowanie

Zalety

- Prosty układ
- Wysoka stabilność temperaturowa
- Średni koszt
- Wolniejszy od diody Zenera

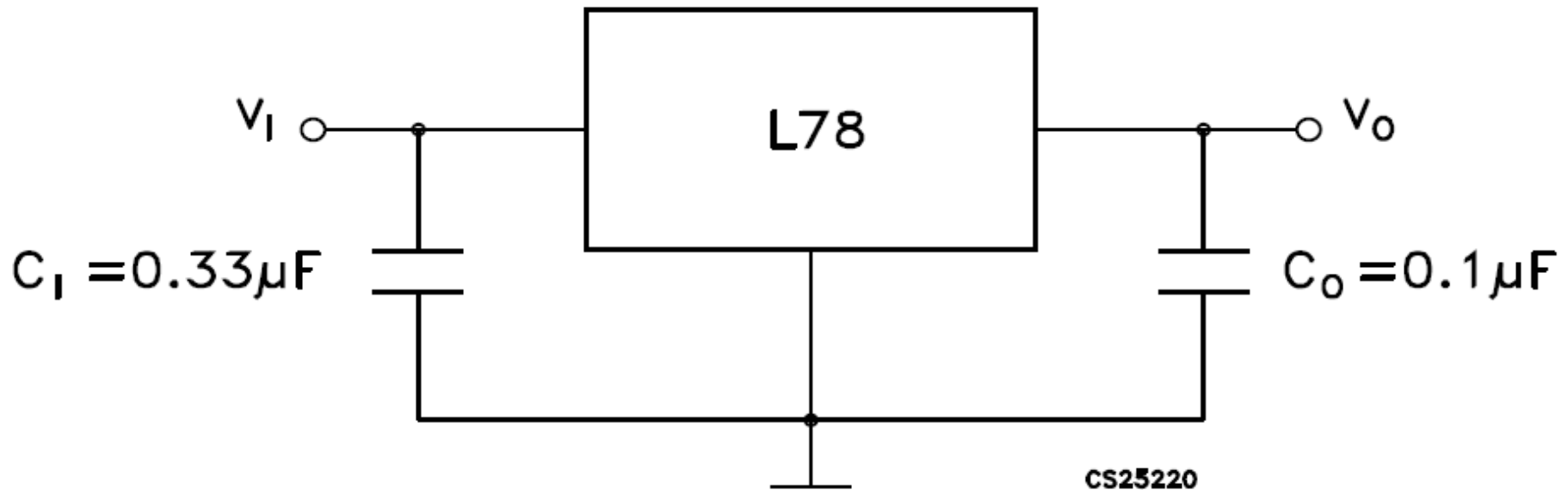
Wady

- Problem punktu pracy-zmienne obciążenie
- Stosunkowa mała wydajność prądowa



Stabilizator napięcia liniowy

Jednonapięciowe - LM780x



Stabilizator napięcia liniowy

LM780x

LF33CV

LM7805

LM7806

LM7808

LM7809

LM7812

LM7815

LM7818

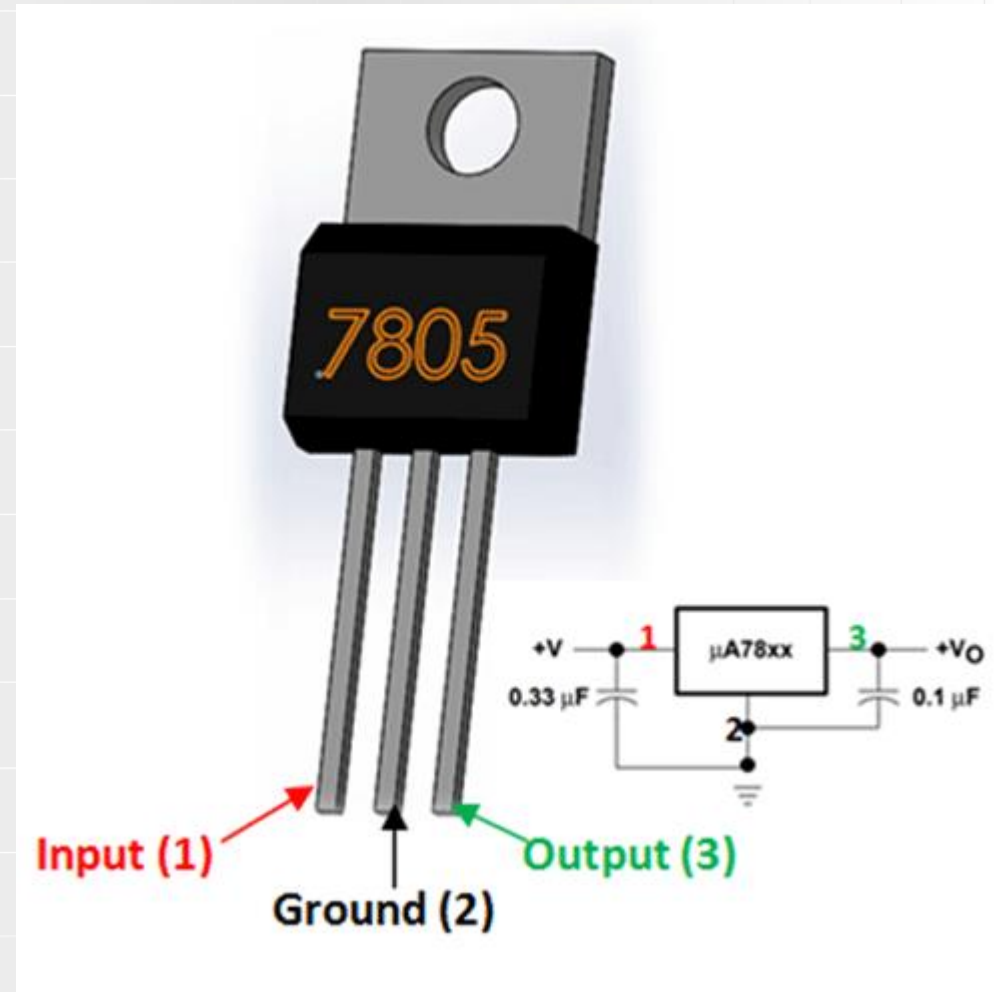
LM7824

.....

LM7905

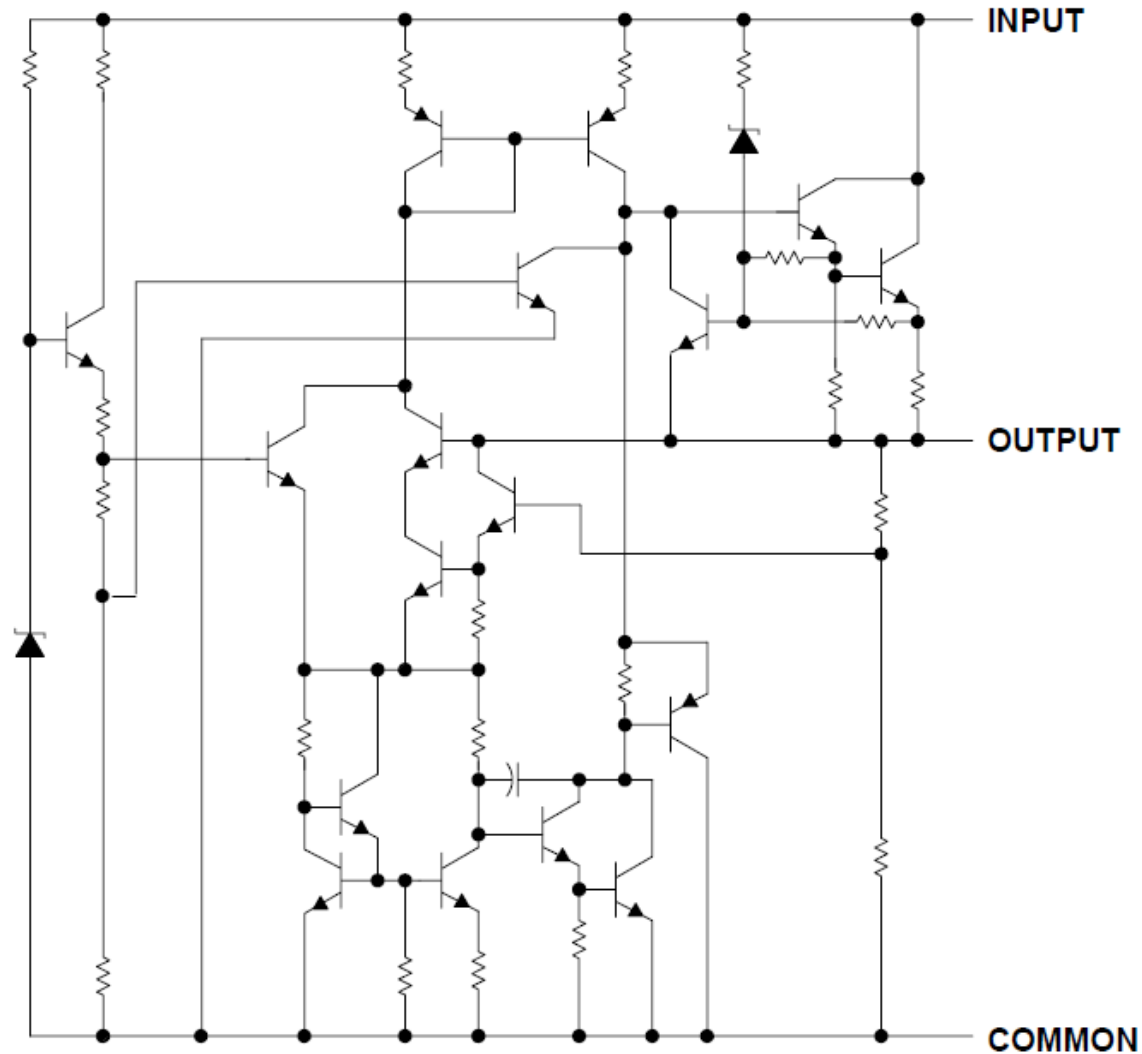
LM7912

.....



Stabilizator napięcia liniowy

LM780x – budowa wewnętrzna



LM340, LM340A, LM7805, LM7812, LM7815

SNOSBT0L – FEBRUARY 2000 – REVISED SEPTEMBER 2016

www.ti.com
6.6 LM340 / LM7805 Electrical Characteristics,
 $V_O = 5\text{ V}$, $V_I = 10\text{ V}$
 $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$ unless otherwise specified⁽¹⁾

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$	4.8	5	5.2	V
		$P_D \leq 15\text{ W}$, $5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$ $7.5\text{ V} \leq V_{IN} \leq 20\text{ V}$	4.75		5.25	V
ΔV_O	Line regulation	$I_O = 500\text{ mA}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $7\text{ V} \leq V_{IN} \leq 25\text{ V}$	3	50	mV
			Over temperature $8\text{ V} \leq V_{IN} \leq 20\text{ V}$		50	mV
		$I_O \leq 1\text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $7.5\text{ V} \leq V_{IN} \leq 20\text{ V}$		50	mV
			Over temperature $8\text{ V} \leq V_{IN} \leq 12\text{ V}$		25	mV
ΔV_O	Load regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$	$5\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$	10	50	mV
			$250\text{ mA} \leq I_O \leq 750\text{ mA}$		25	mV
		Over temperature, $5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$		50	mV	
I_Q	Quiescent current	$I_O \leq 1\text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$		8	mA
			Over temperature		8.5	mA
ΔI_Q	Quiescent current change	$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$, $5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$		0.5		mA
		$7\text{ V} \leq V_{IN} \leq 20\text{ V}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_O \leq 1\text{ A}$		1	mA
			Over temperature, $I_O \leq 500\text{ mA}$		1	mA
V_N	Output noise voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$		40		μV
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple rejection	$f = 120\text{ Hz}$ $8\text{ V} \leq V_{IN} \leq 18\text{ V}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_O \leq 1\text{ A}$	62	80	dB
			Over temperature, $I_O \leq 500\text{ mA}$	62		dB
R_O	Dropout voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_O = 1\text{ A}$		2		V
	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		8		$\text{m}\Omega$
	Short-circuit current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.1		A
	Peak output current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.4		A
	Average TC of V_{OUT}	Over temperature, $I_O = 5\text{ mA}$		-0.6		$\text{mV}/^\circ\text{C}$
V_{IN}	Input voltage required to maintain line regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_O \leq 1\text{ A}$	7.5			V

 (1) All characteristics are measured with a $0.22\text{-}\mu\text{F}$ capacitor from input to ground and a $0.1\text{-}\mu\text{F}$ capacitor from output to ground. All

Stabilizator napięcia liniowy

LM7805 – parametry

- Napięcie zasilania: do 35V
- Prąd wyjściowy: do 1.5A
- **Napięcie dropout: około 2V**
- Tracona moc: zależna od napięcia i prądu
- Sprawność: mała – strata wydzielana w postaci ciepła

Stabilizator napięcia liniowy

LM7805 – napięcie dropout

Jakie minimalne napięcie wejściowe należy podać na wejście stabilizatora aby uzyskać napięcie wyjściowe wynoszące 5V?

$$V_{out} = V_{in} - V_{dropout}$$

Stabilizator napięcia liniowy

Aplikacja 1:

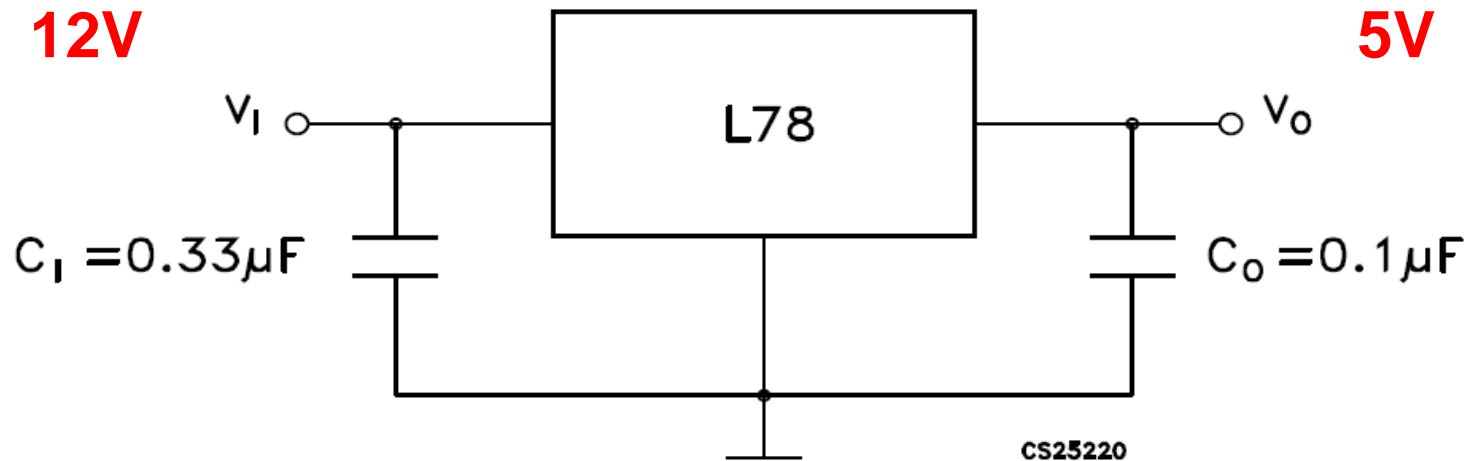
- budujemy urządzenie, którego źródłem zasilania jest akumulator o napięciu nominalnym 12V (11,5-14,2V)
- pobór prądu przez urządzenie wynosi maksymalnie 100mA
- napięcie potrzebne dla układów elektronicznych powinno być stabilizowane i wynosić 5V

Jaki stabilizator zastosować i dlaczego?

Stabilizator napięcia liniowy

LM7805 – jak to działa, jak się nagrzewa?

$V_{in}=12V$, $I_{wyj}=100mA$ – jaka moc odłoży się na stabilizatorze?

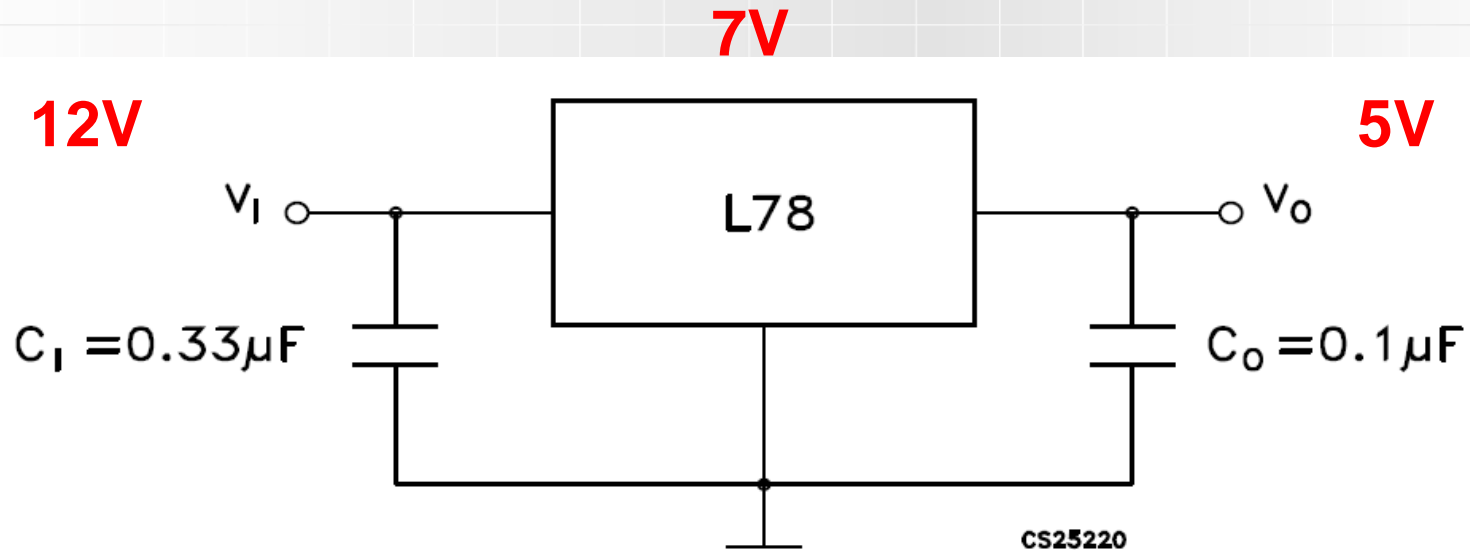


$$P=U*I$$

Stabilizator napięcia liniowy

LM7805 – jak to działa, jak się nagrzewa?

$V_{in}=12V$, $I_{wyj}=100mA$ – jaka moc odłoży się na stabilizatorze?



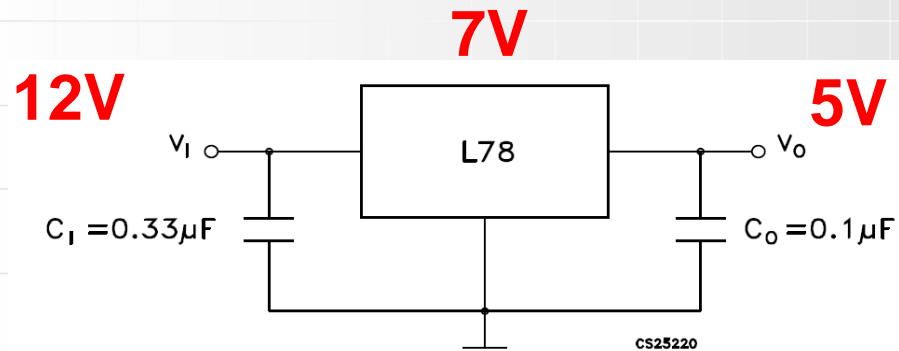
$$P=7*0,1=0,7W$$

Stabilizator napięcia liniowy



LM7805 – jak to działa, jak się nagrzewa?

$V_{in}=12V$, $I_{wyj}=500mA$ – jaka moc odłoży się na stabilizatorze?



$$P=7*0,5=3,5W$$

TO220 może rozproszyć moc 1-1,5W bez radiatora, jednak powoduje to znaczne nagrzewanie układu.

W praktyce lepiej nie przekraczać 0,5W i stosować radiator.

Stabilizator napięcia liniowy –LM780x

Podsumowanie

Zalety

- Prosty układ
- Stabilizacja pod różnym obciążeniem
- Dobra stabilność
- Średni koszt
- Dużą obciążalność prądowa

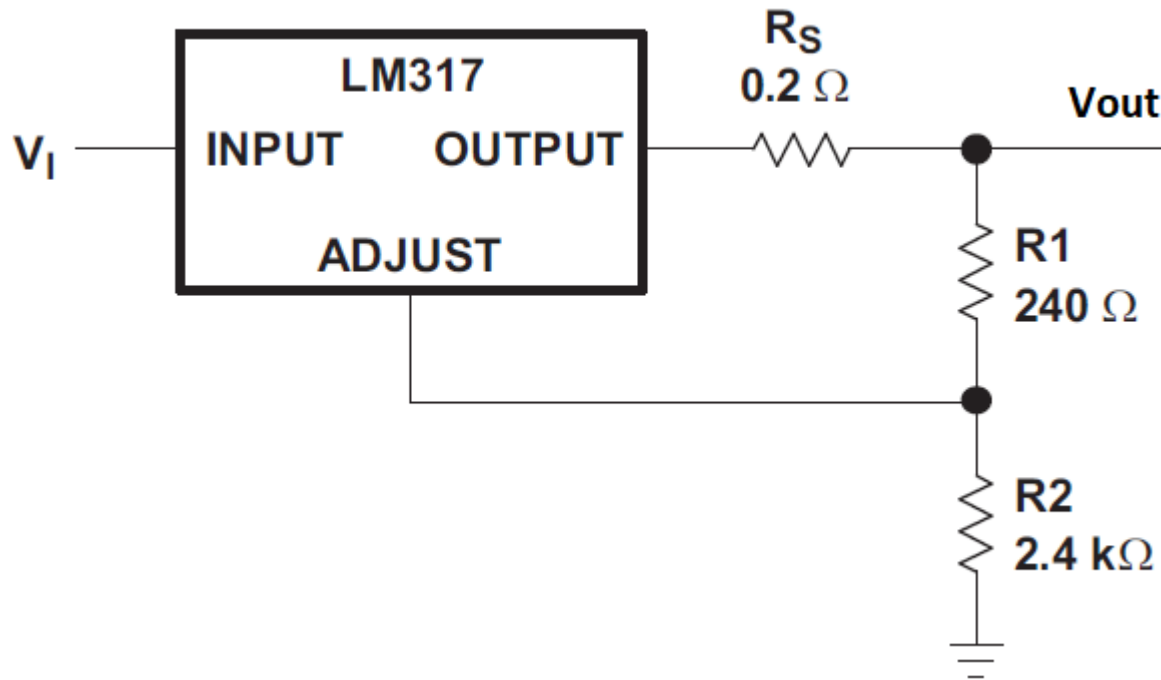
Wady

- Stosunkowa mała wydajność prądowa
- Straty w postaci ciepła- wymagane chłodzenie

Stabilizator napięcia liniowy

Regulowane - LM317, LM350

$$V_{\text{OUT}} = 1.25 \text{ V} \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

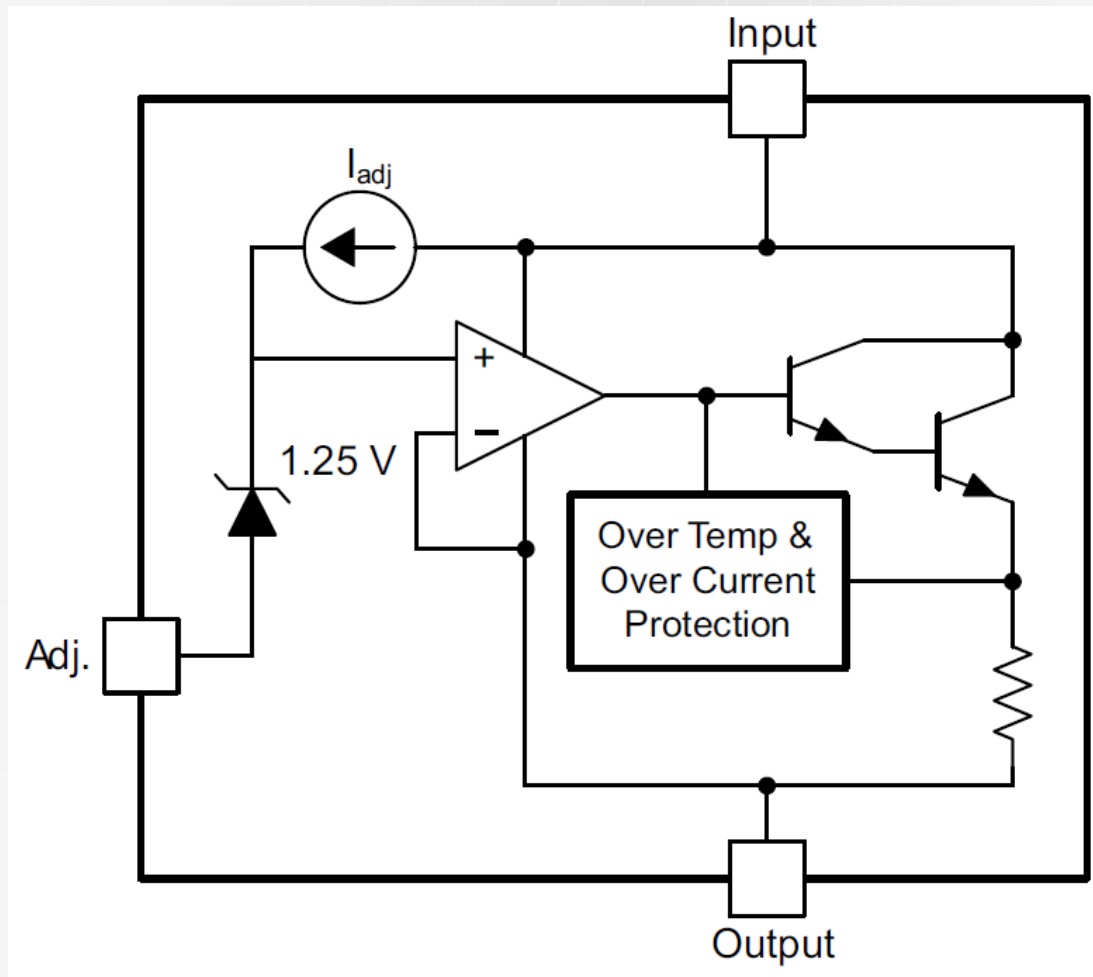


Ile wynosi V_{out} ? Dla $V_{in}=20\text{V}$

Ile wynosi V_{out} ? Dla $V_{in}=10\text{V}$

Stabilizator napięcia liniowy

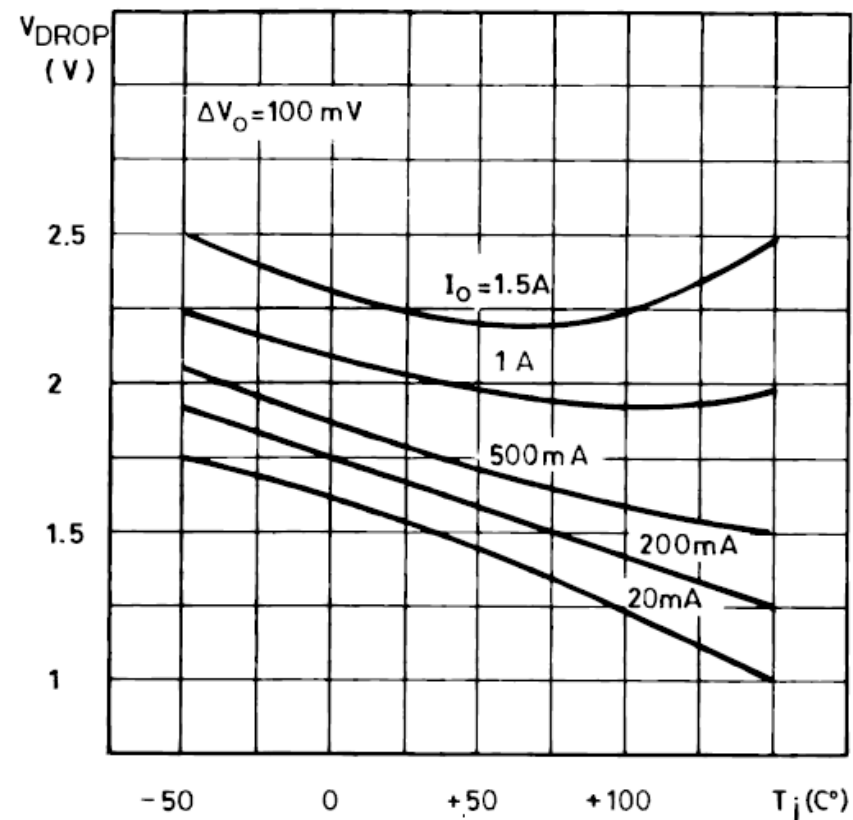
LM317 – budowa wewnętrzna



Stabilizator napięcia liniowy

LM317 – parametry

- Napięcie zasilania: od 4.8V do 40V
- Prąd wyjściowy: do 1.5A
- **Napięcie dropout: 1.5-2.25V**
- Tracona moc: zależna od napięcia i prądu
- Sprawność: mała – strata wydzielana w postaci ciepła



Stabilizator napięcia liniowy

Regulowane - LM317, LM350

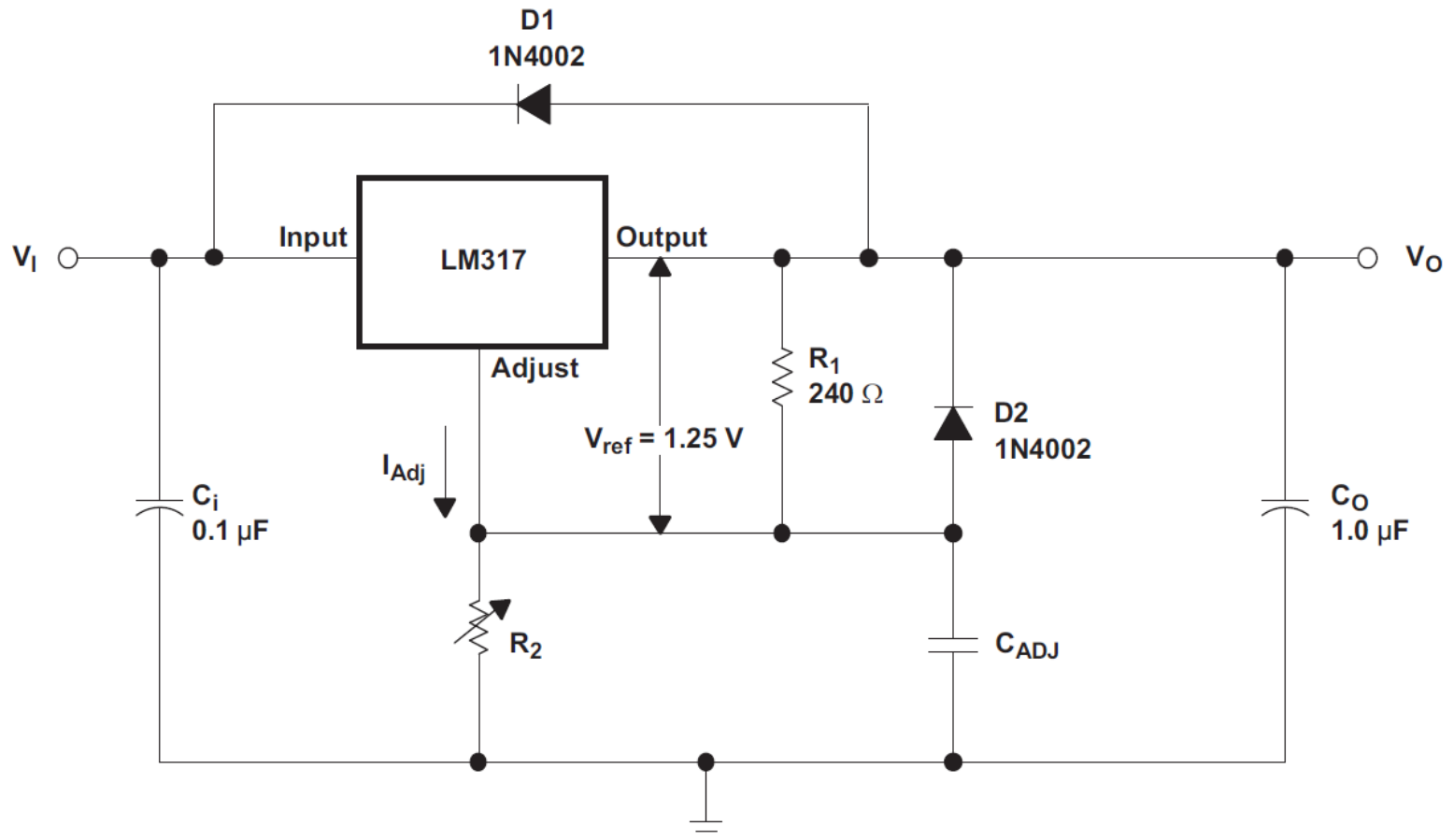


Figure 9. Adjustable Voltage Regulator

Stabilizator napięcia liniowy – LM317

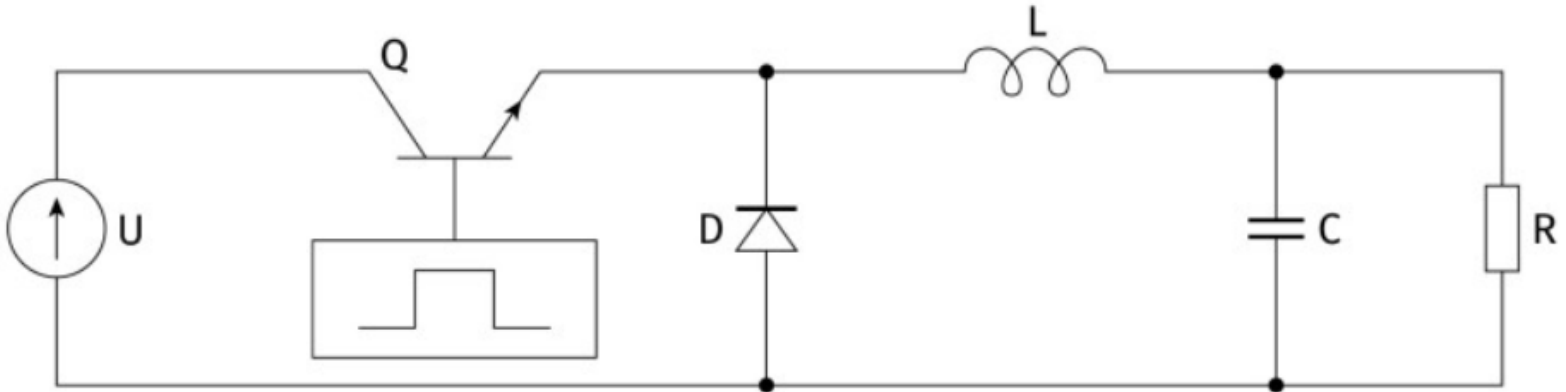
Podsumowanie

Zalety

Wady

jak LM780x

Stabilizator napięcia impulsowy – przetwornica DC/DC



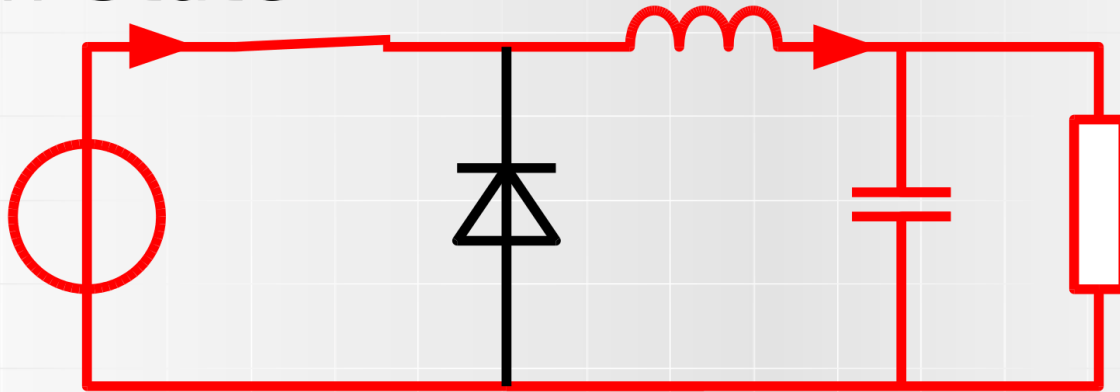
Tranzystor Q działa w roli klucza. Kiedy tranzystor Q przewodzi, cewka L ładuje się prądem pochodzącym ze źródła napięcia U . Prąd płynie przez obciążenie R .

Kiedy tranzystor Q jest zatkany to cewka próbuje podtrzymać przepływ prądu, zgodnie z Prawem Komutacji. Powoduje to, że otwiera się dioda D i jest możliwe zamknięcie drogi przepływu prądu. Ostatecznie zgromadzona energia w cewce ulega zmniejszeniu przez oddanie jej do obciążenia.

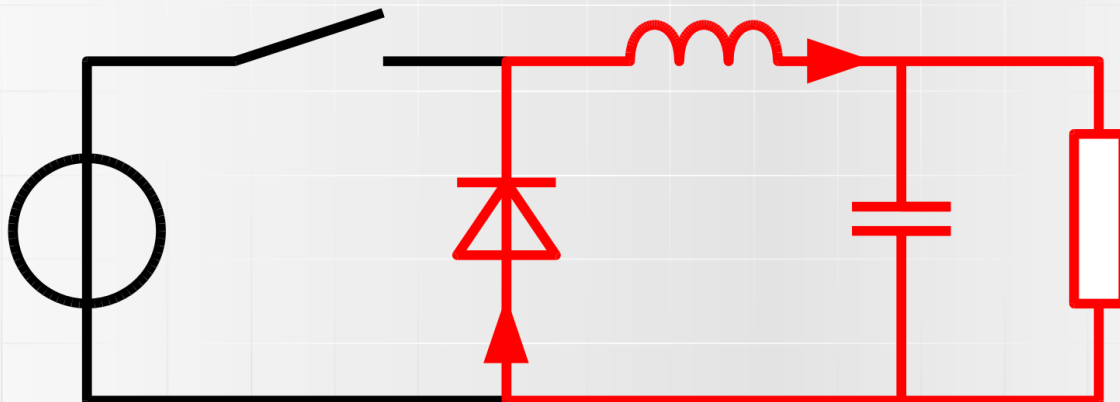
Kiedy układ regulacji wykryje zbyt duży spadek prądu to tranzystor jest ponownie otwierany. Cykl zamyka się i jest powtarzany z wysoką częstotliwością

Stabilizator napięcia impulsowy – przetwornica DC/DC

On-State

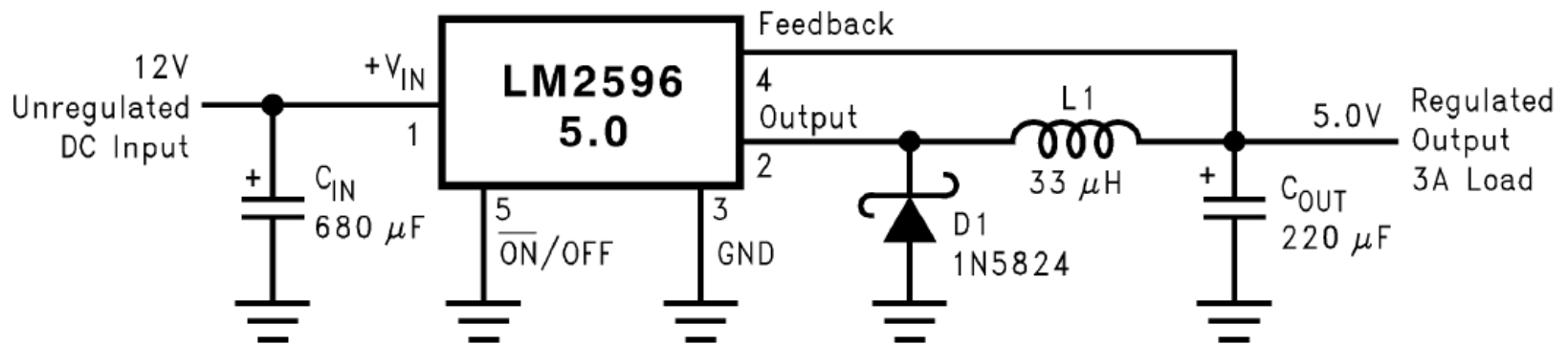


Off-State



Stabilizator napięcia impulsowy – przetwornica DC/DC

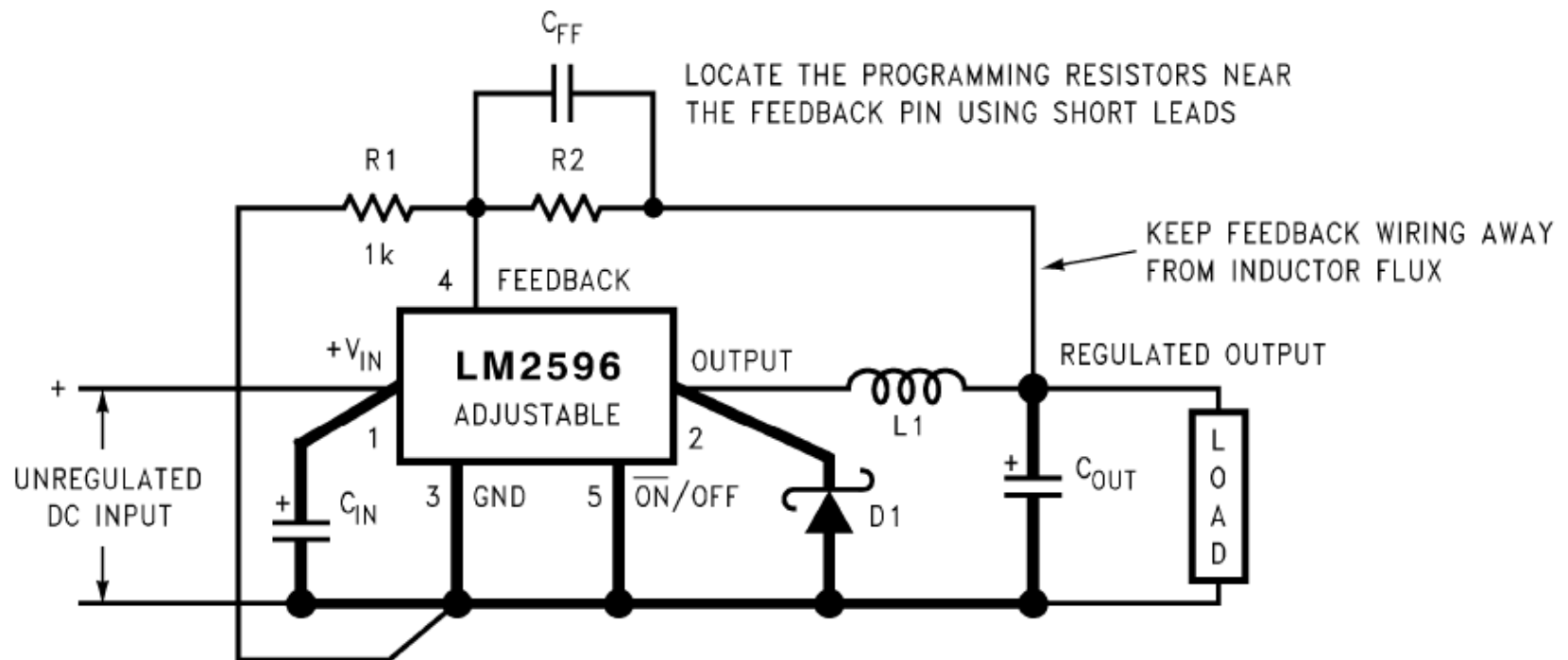
Step Down LM2596 – 5V



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

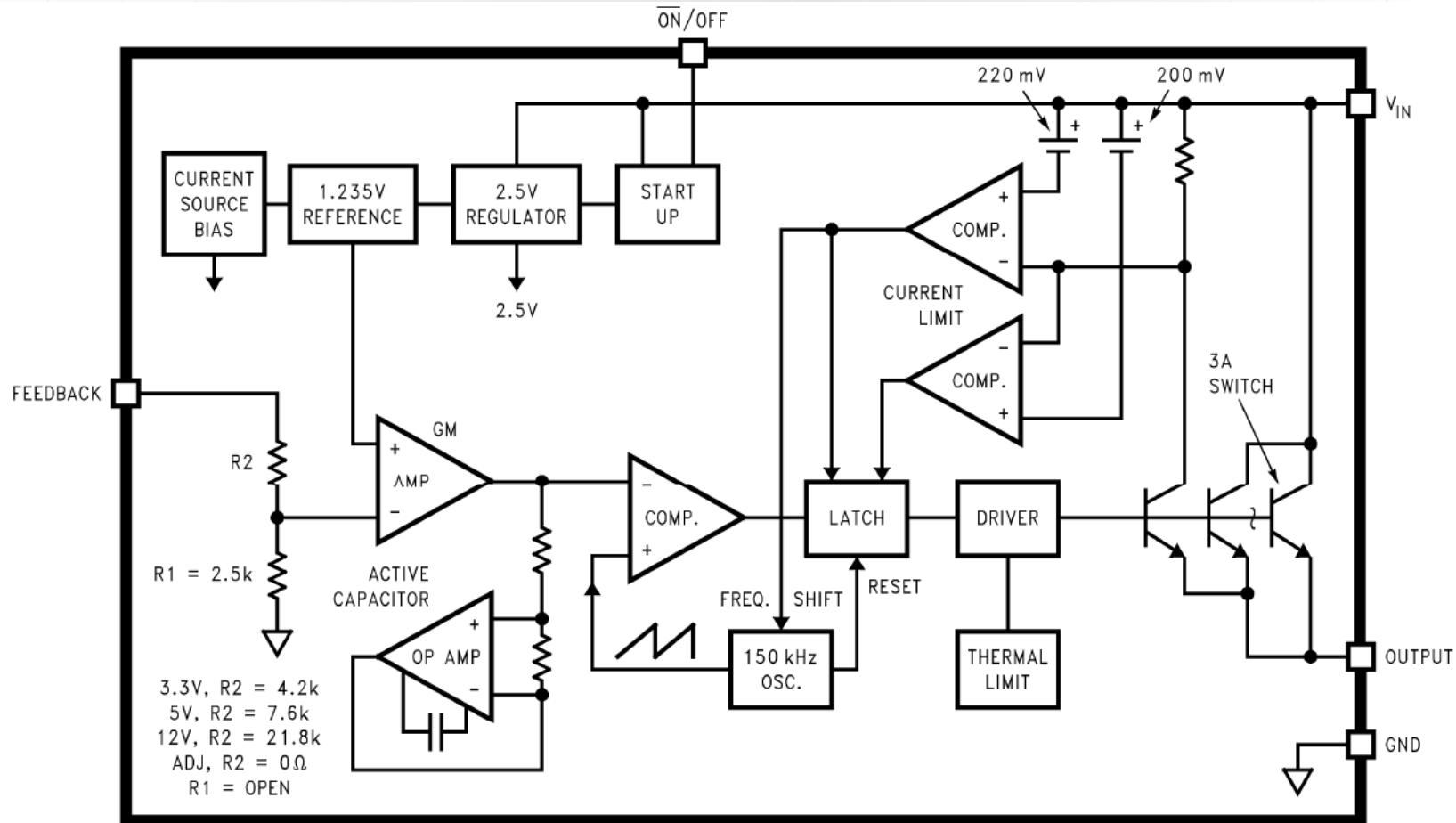
Stabilizator napięcia impulsowy – przetwornica DC/DC

Step Down - LM2596 – ADJ



$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \text{ where } V_{REF} = 1.23 \text{ V}$$

Stabilizator napięcia impulsowy – przetwornica DC/DC



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

Stabilizator napięcia impulsowy

LM2596 – parametry

- Napięcie zasilania: do 40V
- Prąd wyjściowy: do 3A
- **Napięcie dropout: 0.9-1.3V**
- Tracona moc: zależna od napięcia i prądu
- Sprawność: wysoka – mało wydzielanego ciepła

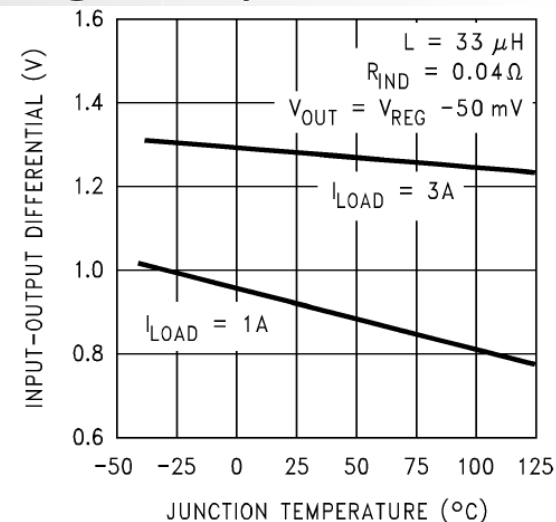
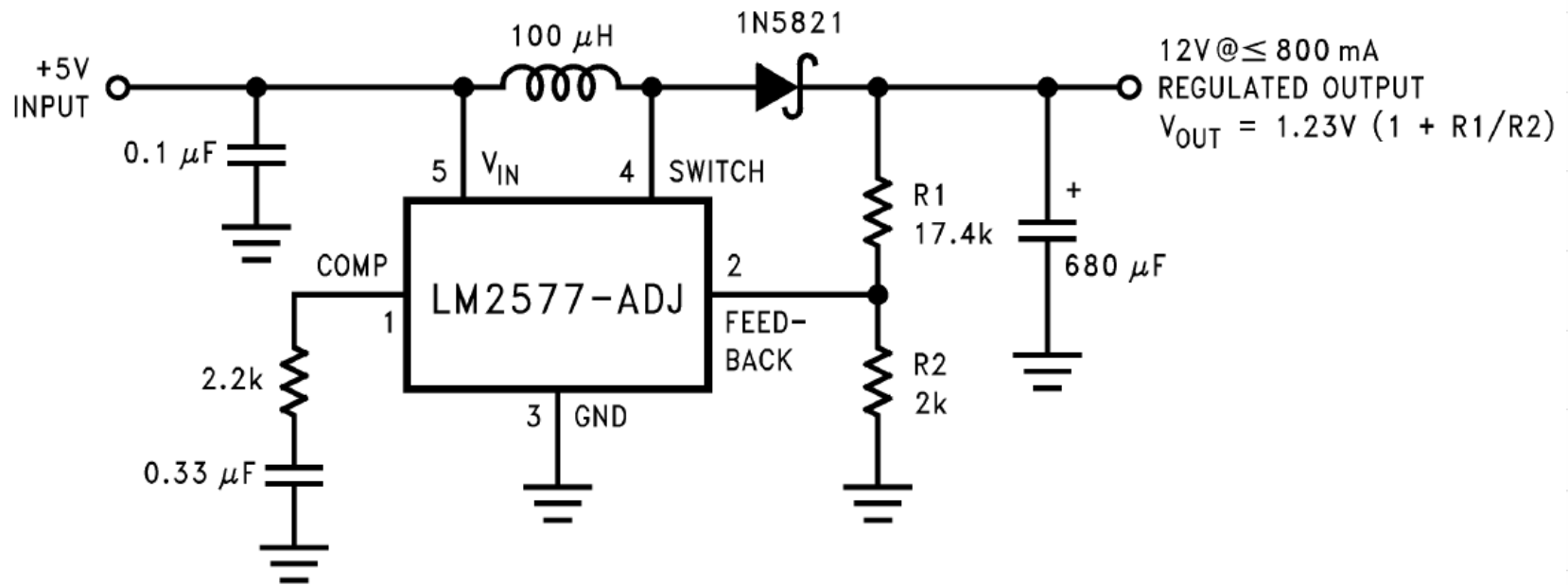


Figure 7-6. Dropout Voltage

Stabilizator napięcia impulsowy – przetwornica DC/DC

Step UP LM2577 – ADJ



Stabilizator napięcia impulsowy

Podsumowanie

Zalety

- Możliwość podniesienia i obniżenia napięcia
- Stabilizacja pod różnym obciążeniem
- Wysoka sprawność – małe straty, małe wymiary
- Średni koszt
- Dużą obciążalność prądowa

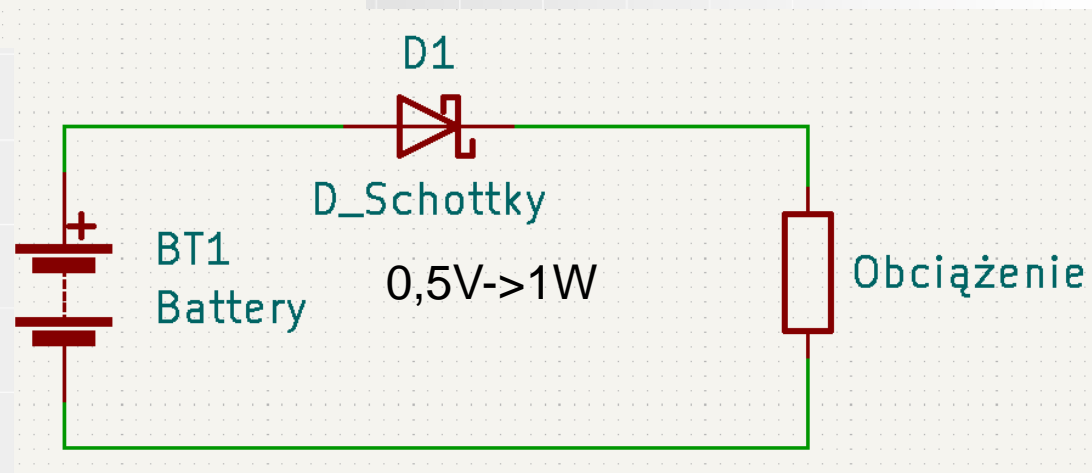
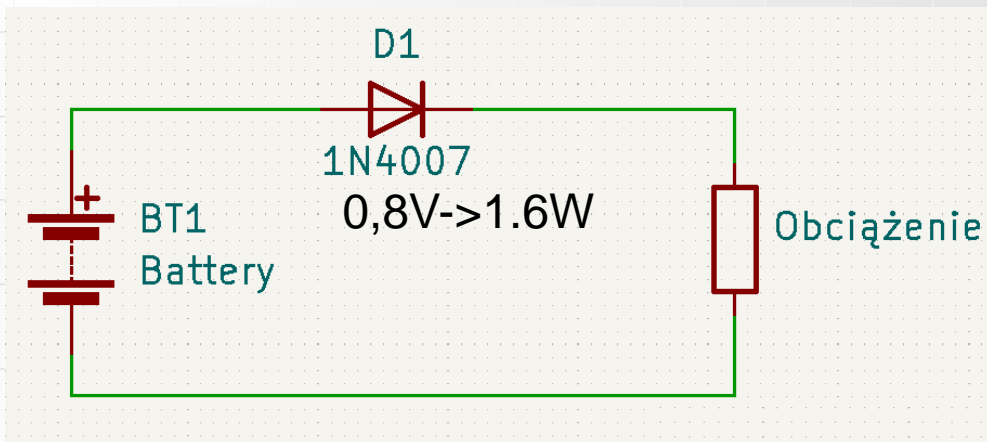
Wady

- Skomplikowany układ – wymaga elementów dodatkowych
- Technika wyższych częstotliwości – podatność na wzbudzenie, generowanie zakłóceń
- Układ pracuje impulsowo-większa podatność na awarie

Zabezpieczenie układu

Przed odwrotną polaryzacją

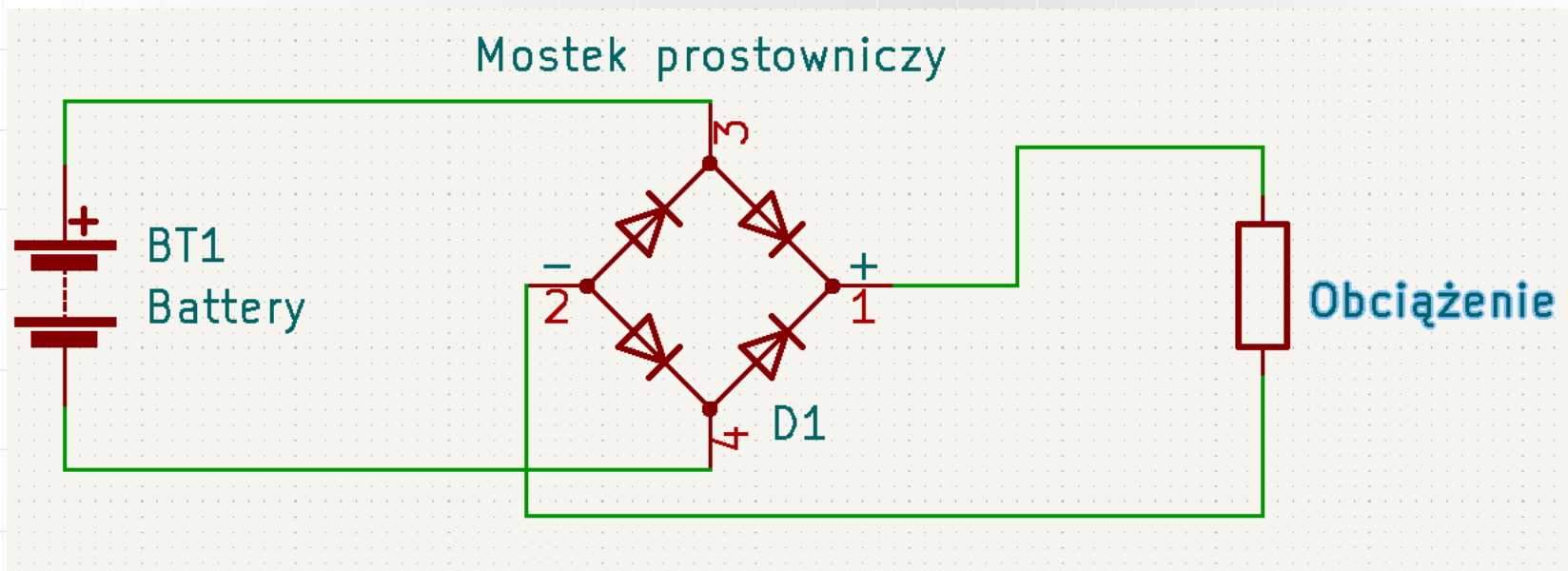
- Dioda prostownicza, dioda schottky



Zabezpieczenie układu

Przed odwrotną polaryzacją

- Mostek prostowniczy (mostek Graetza)

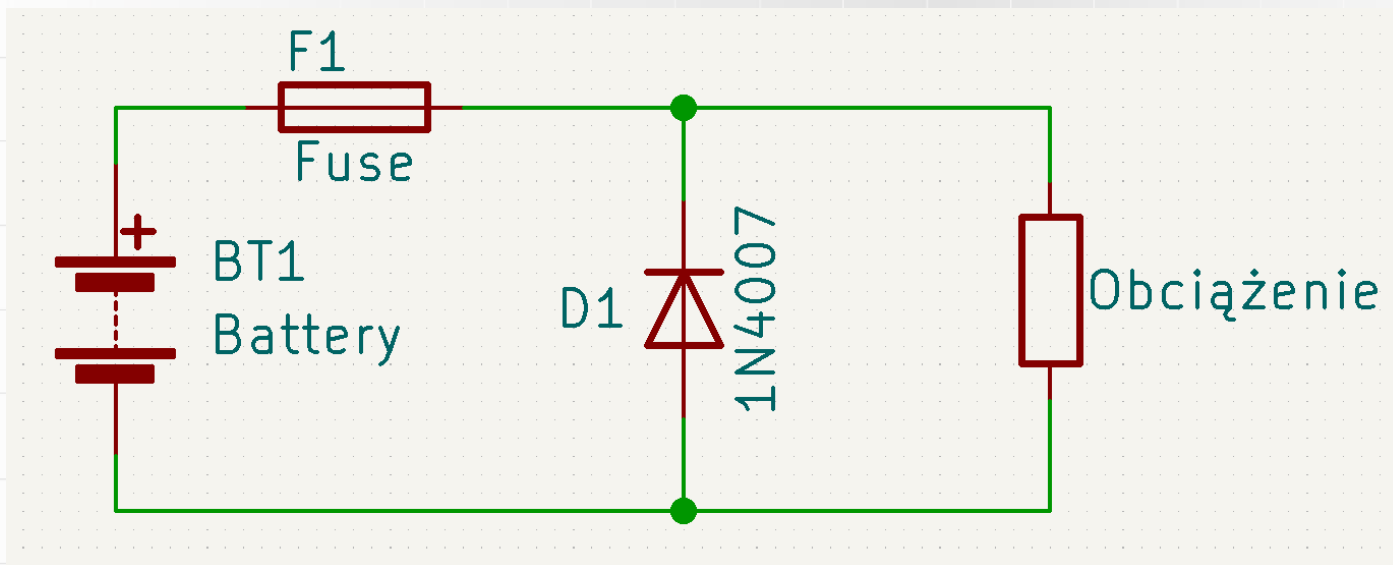


1.6V->3.2W

Zabezpieczenie układu

Przed odwrotną polaryzacją

- Dioda prostownicza + bezpiecznik

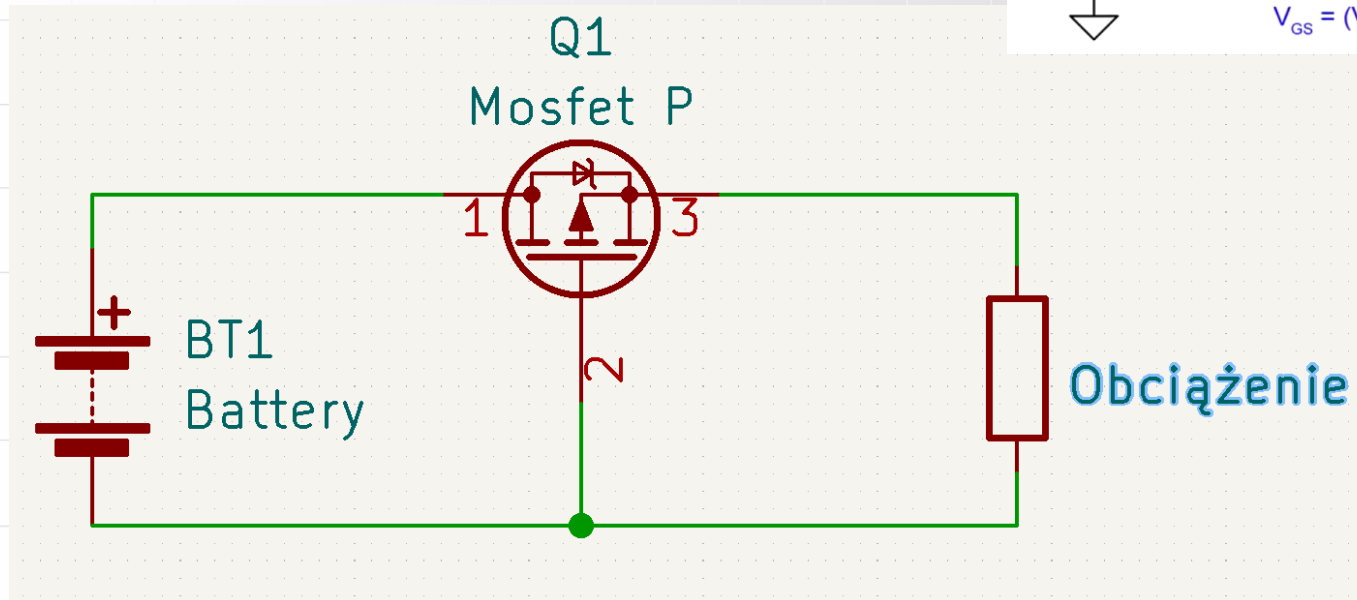
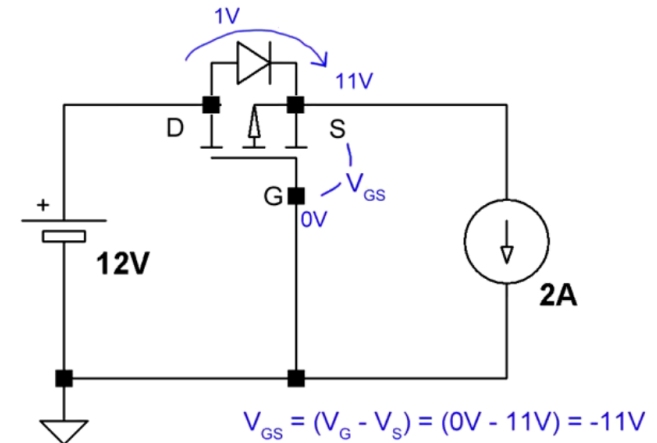


Ile razy zadziała układ?

Zabezpieczenie układu

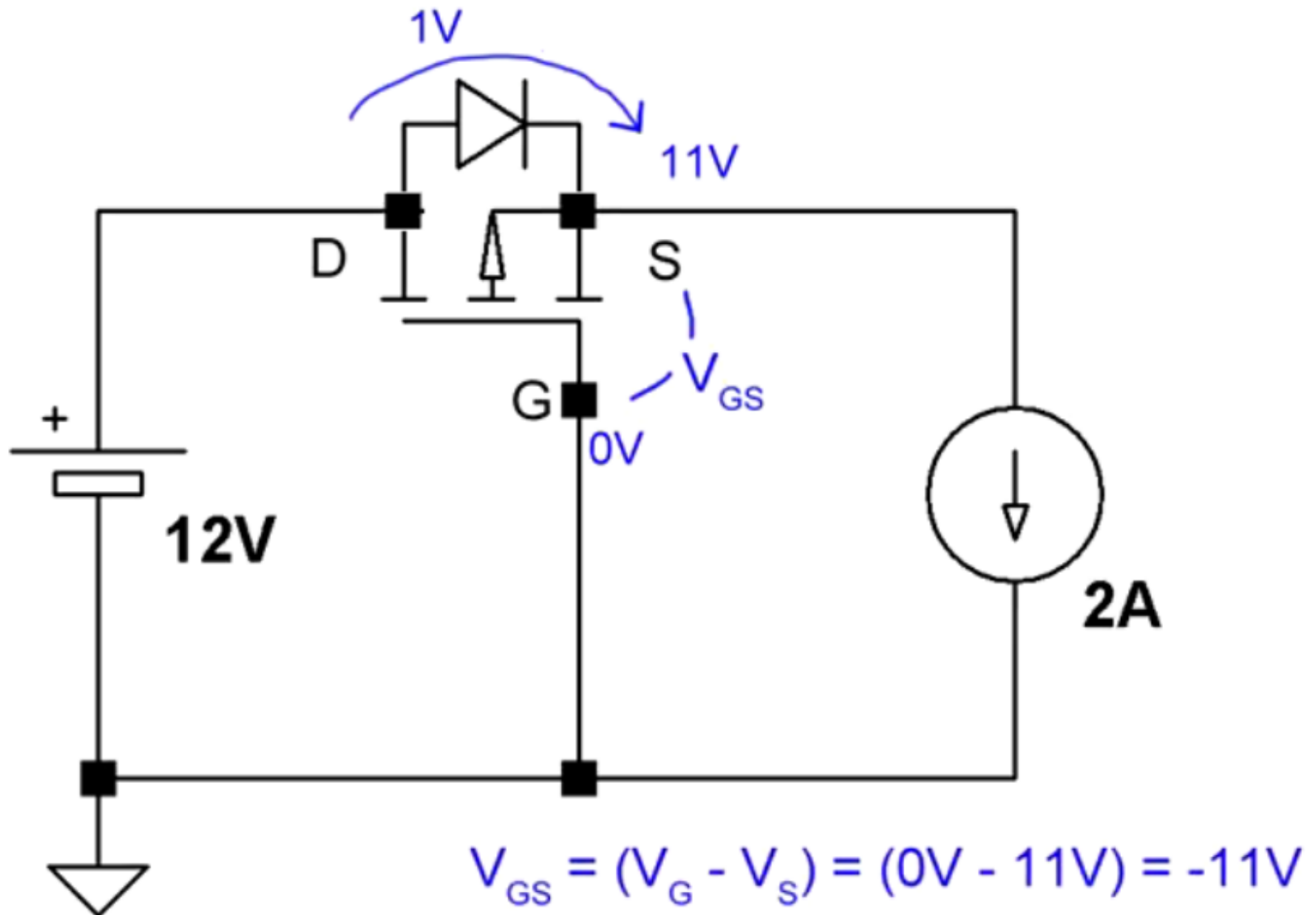
Przed odwrotną polaryzacją

- Tranzystor mosfet P-channel



0,025R->0,05V->0,1W

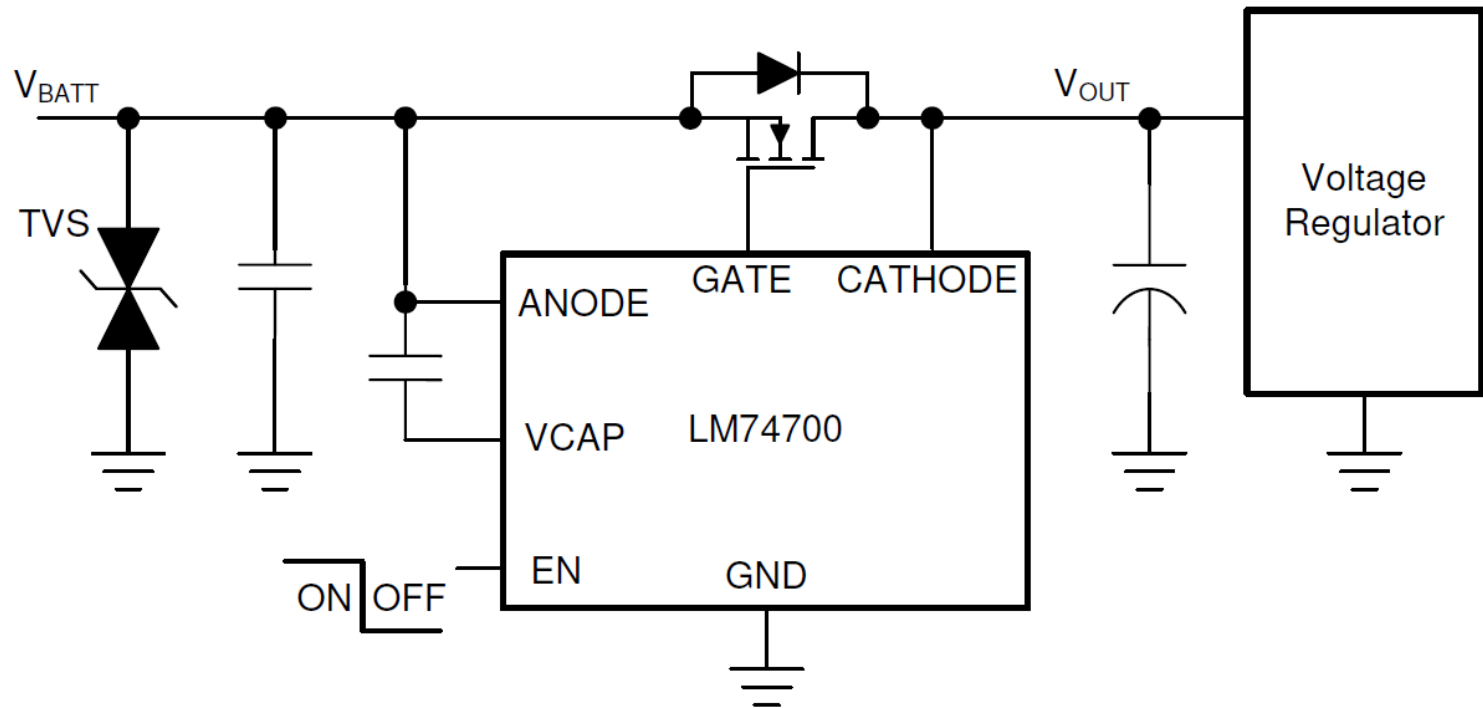
Zabezpieczenie układu



Zabezpieczenie układu

Przed odwrotną polaryzacją

- Dedykowane układy lm74700 + N-channel MOSFET



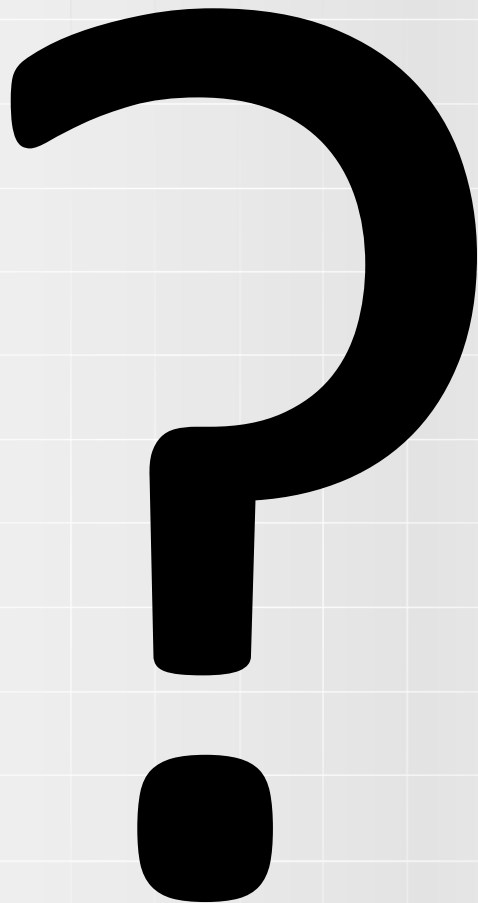
Typical Application Schematic

Zabezpieczenia stabilizatorów

Większość współczesnych stabilizatorów napięcia posiada wbudowane układy odpowiedzialne za zabezpieczenie:

- przed przegrzaniem
- przed zbyt wysokim poborem prądu

Mimo wbudowanych zabezpieczeń, projektując układ zasilania należy zapoznać się z parametrami danego układu i ich nie przekraczać, a nawet zostawić odpowiedni margines bezpieczeństwa.





Pytania

1. Czym różni się napięcie zmienne od przemiennego? Jakie występuje w gniazdkach domowych?
2. Czy transformator zadziała podłączony do napięcia stałego?
3. Podać wady/zalety zasilaczy impulsowych i transformatorowych dla napięcia przemiennego.
4. Do czego wykorzystujemy układy scalone jak LM385 lub TL431? Jaka pełnią funkcję?
5. Co to jest napięcie dropout w układzie stabilizatora liniowego? Jak wpływa na wymagania projektowe?
6. Co to jest stabilizator parametryczny i czym różni się od stabilizatora kompensacyjnego?
7. Jak działa stabilizator impulsowy?
8. Podać wady/zalety stabilizatorów impulsowych i liniowych dla napięcia stałego.
9. Wymień sposoby zabezpieczenia układu elektronicznego przed odwrotnym podłączeniem polaryzacji.



Źródła

- „Sztuka elektroniki cz. 1 i 2”, Horowitz Paul , Hill Winfield
- „Zasilacze urządzeń elektronicznych”, Joseph J. Carr
- „Podstawy elektroniki”, Augustyn Chwaleba
- Dokumentacje techniczne układów elektronicznych