

# Elektronika

Seweryn Lipiński

[seweryn.lipinski@uwm.edu.pl](mailto:seweryn.lipinski@uwm.edu.pl)

A209 WNT

# Elektronika

Podstawy fizyki ciała stałego

Przewodnictwo substancji zależy od tego, czy występują w niej wolne nośniki ładunku.

- W metalach, będących dobrymi przewodnikami, atomy tworzą strukturę krystaliczną wskutek czego ich zewnętrzne elektrony zostają oswobodzone.  
Doprowadzając napięcie można wprowadzić te elektrony w uporządkowany ruch, który będzie przepływem prądu.
- W dielektrykach wszystkie elektrony zewnętrzne są silnie uwikłane w kowalentne wiązania międzyatomowe, tak że nie ma swobodnych nośników, które mogłyby się przemieszczać pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego.

Półprzewodniki są podobne do dielektryków - same z siebie nie oswobadzają nośników, ale pod wpływem promieniowania różnego typu (elektryczne, cieplne, świetlne, mechaniczne = stres materiałowy) elektrony mogą opuszczać wiązania i przechodzić między nimi, pozostawiając luki.

Luki te są nazywane dziurami i można je postrzegać jako swobodne nośniki ładunku dodatniego.

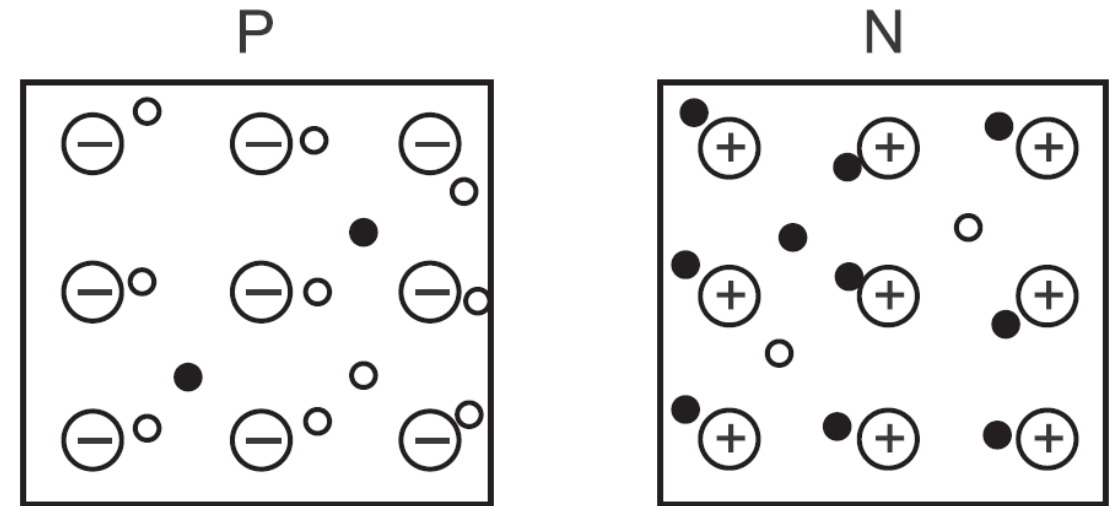
W czystym półprzewodniku jest tyle samo dziur, ile elektronów swobodnych, ale równowagę można zachwiać, wprowadzając domieszkę atomów innego pierwiastka.

Domieszka wprowadzająca nadmiarowe wolne elektrony jest nazywana donorem.

Efektom jej zastosowania jest półprzewodnik typu  $n$ , w którym elektrony są nośnikami większościowymi, a dziury - mniejszościowymi.

Z kolei wskutek domieszkowania akceptorem pojawiają się niekompletne wiązania, w efekcie liczba dziur przekracza liczbę elektronów.

Otrzymywany jest półprzewodnik typu  $p$ .



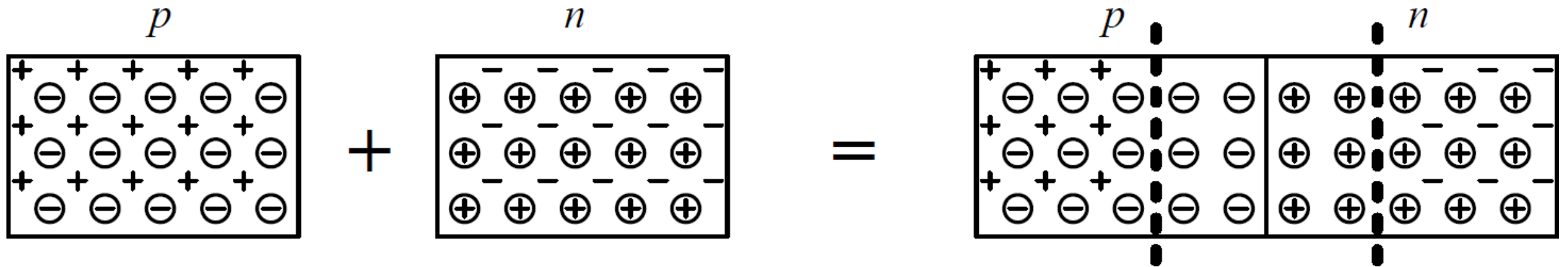
⊖ – domieszki akceptorowe

⊕ – domieszki donorowe

● – elektron      ○ – dziura

# Złącze p-n powstaje na styku półprzewodnika typu P z półprzewodnikiem typu N.

Wyobraźmy sobie, że łączymy ze sobą dwie bryły półprzewodnikowe - typu  $n$  i  $p$ .

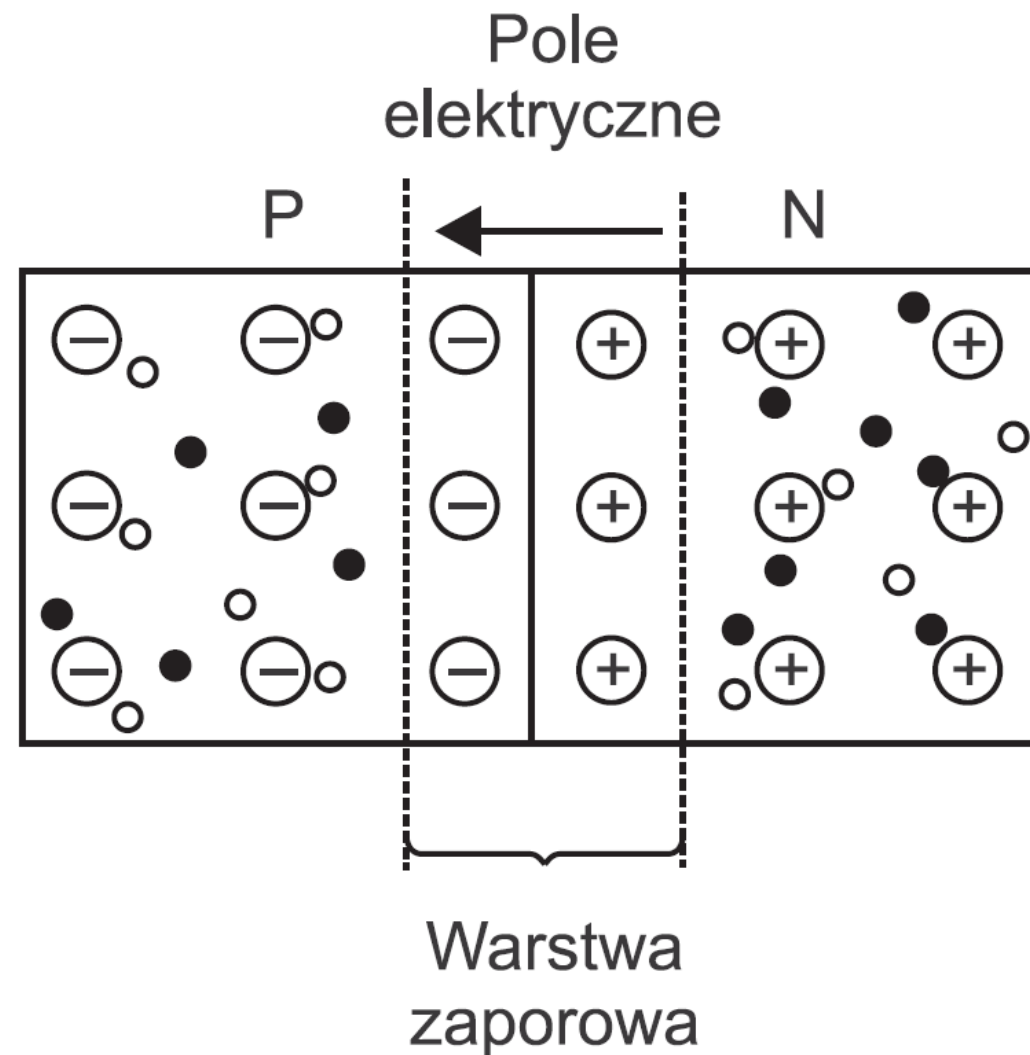


W półprzewodniku typu  $p$  koncentracja dziur jest o wiele większa niż w półprzewodniku typu  $n$ , a w tym z kolei koncentracja elektronów jest o wiele większa niż w półprzewodniku typu  $p$ , więc z powodu tej różnicy dojdzie do procesu dyfuzji, czyli wyrównywania się koncentracji nośników między obszarami przeciwnego typu.

W efekcie powstaje tzw. warstwa zubożona (zaporowa), gdzie nie ma swobodnych nośników ładunku - sieć krystaliczna zawiera tylko jony dodatnie lub ujemne.

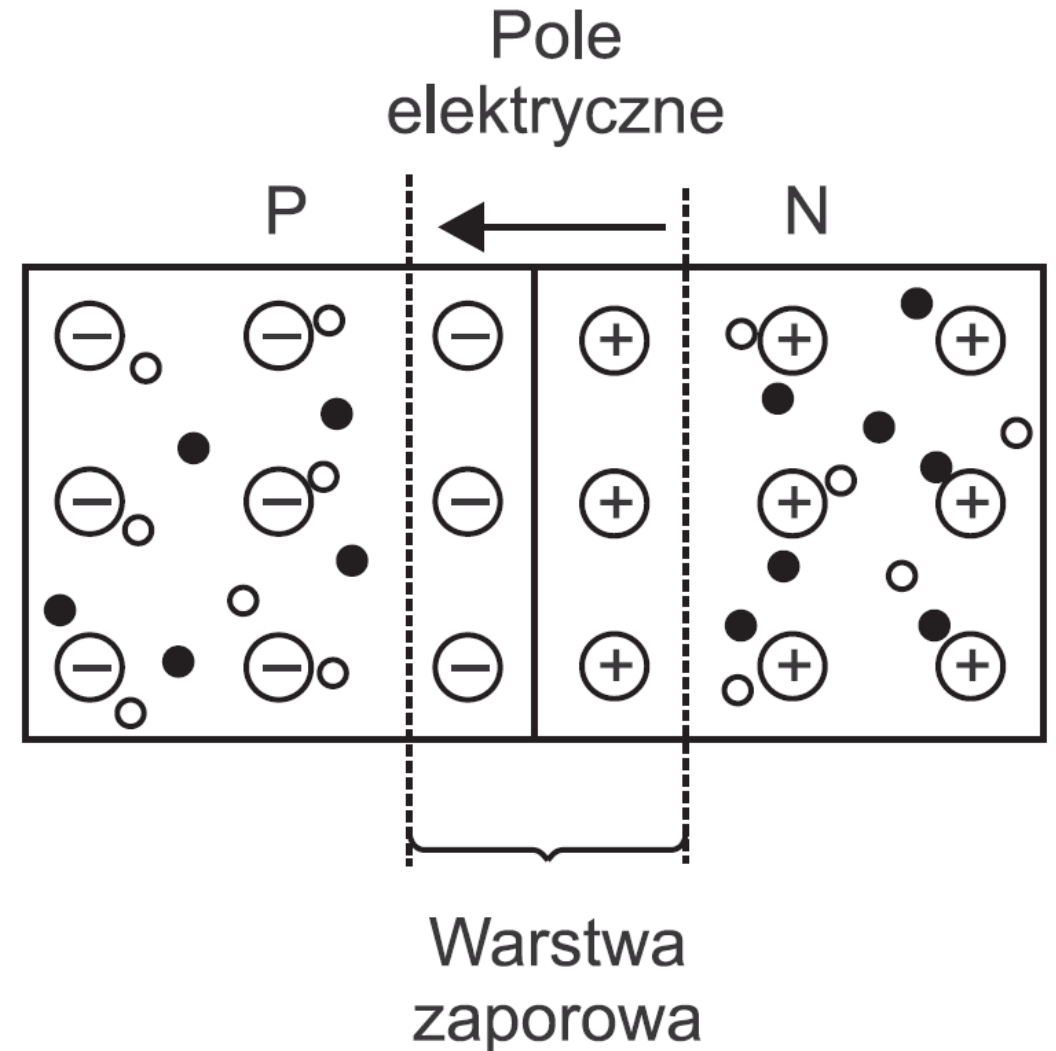
Pomiędzy dwoma obszarami nieruchomych ładunków, które pozostały niezneutralizowane, wytwarza się pole elektryczne.

Pole to przeciwdziała przechodzeniu przez złącze wolnych nośników z pozostałych obszarów półprzewodników.



Dlatego też po osiągnięciu przez warstwę zubożoną pewnej szerokości, złącze osiąga stan równowagi z ustaloną różnicą potencjałów, która stanowi barierę dla przepływu prądu.

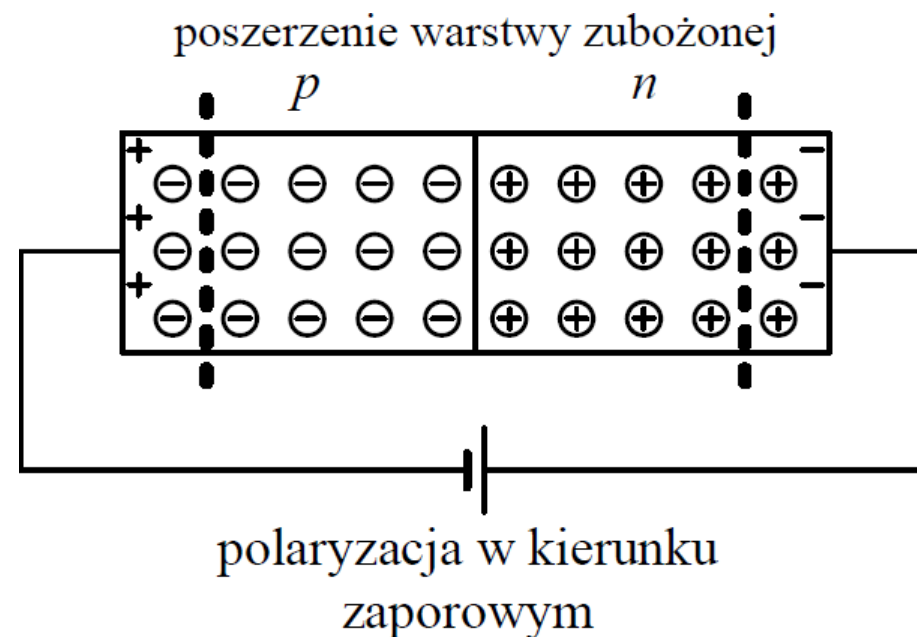
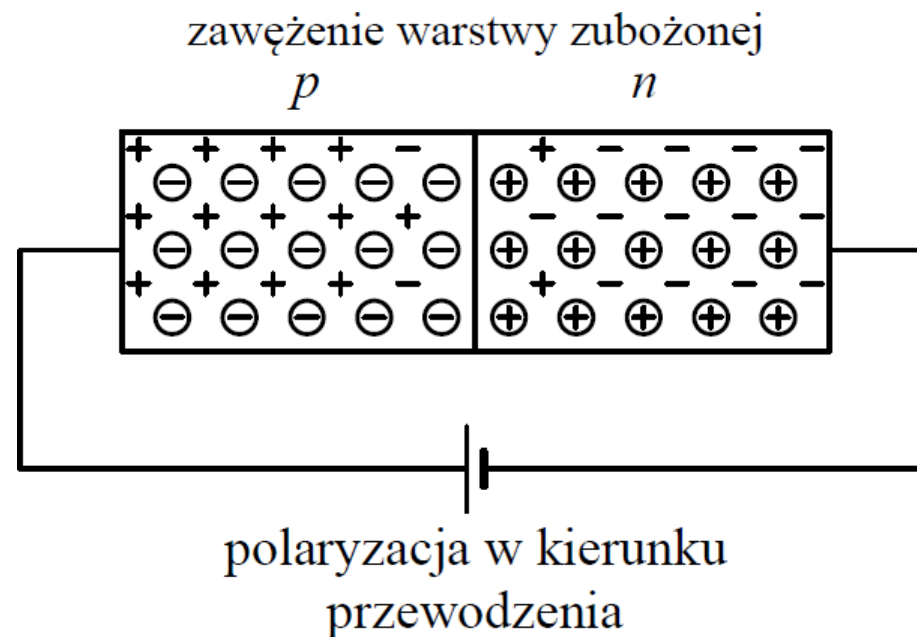
Aby wymusić ruch ładunków, trzeba stworzyć zewnętrzne pole elektryczne, które skompensuje barierę potencjału.



Uzyskuje się to, polaryzując półprzewodnik w kierunku przewodzenia.

Odwrotne przyłączenie źródła, czyli polaryzacja w kierunku zaporowym, wzmacnia działanie izolacyjne złącza, rozszerzając warstwę zubożoną.

*Nawet przy polaryzacji zaporowej możliwy jest przepływ niewielkiego prądu wstecznego opartego na parach elektron-dziura, które zawsze, choć w małej liczbie, powstają np. pod wpływem temperatury lub promieniowania.*



Napięcie dyfuzyjne będące różnicą potencjałów obszarów  $n$  i  $p$  jest cechą charakterystyczną materiału użytego do konstrukcji złącza.

Wpływ mają też stopień jego domieszkowania oraz temperatura.

W temperaturze pokojowej typowe napięcie dyfuzyjne złącza P-N wykonanego z krzemu zawiera się w zakresie od ok. 0,6 V do ok. 0,8 V, a złącza germanowego od ok. 0,2 V do ok. 0,3 V, natomiast złącza wykonanego z arsenku galu od ok. 1,2 V do ok. 1,4 V.

*W ogólności krzem (Si) i german (Ge) to najczęściej wykorzystywane materiały półprzewodnikowe.*

*Inne to arsenek galu (GaAs), fosforek indu (InP), węglik krzemu (SiC) i azotek galu (GaN).*

*Jako donor typowo stosowany jest fosfor, a jako akceptor - bor.*

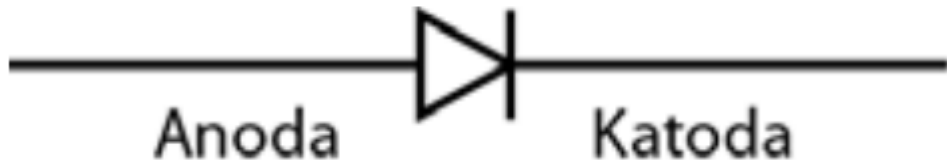
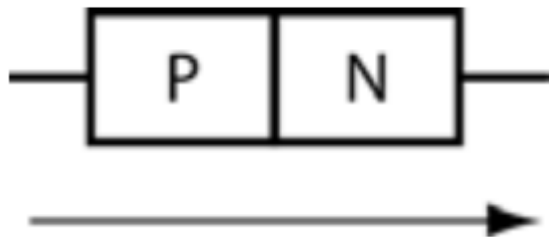
# Elektronika

Podstawowe elementy elektroniki - DIODY

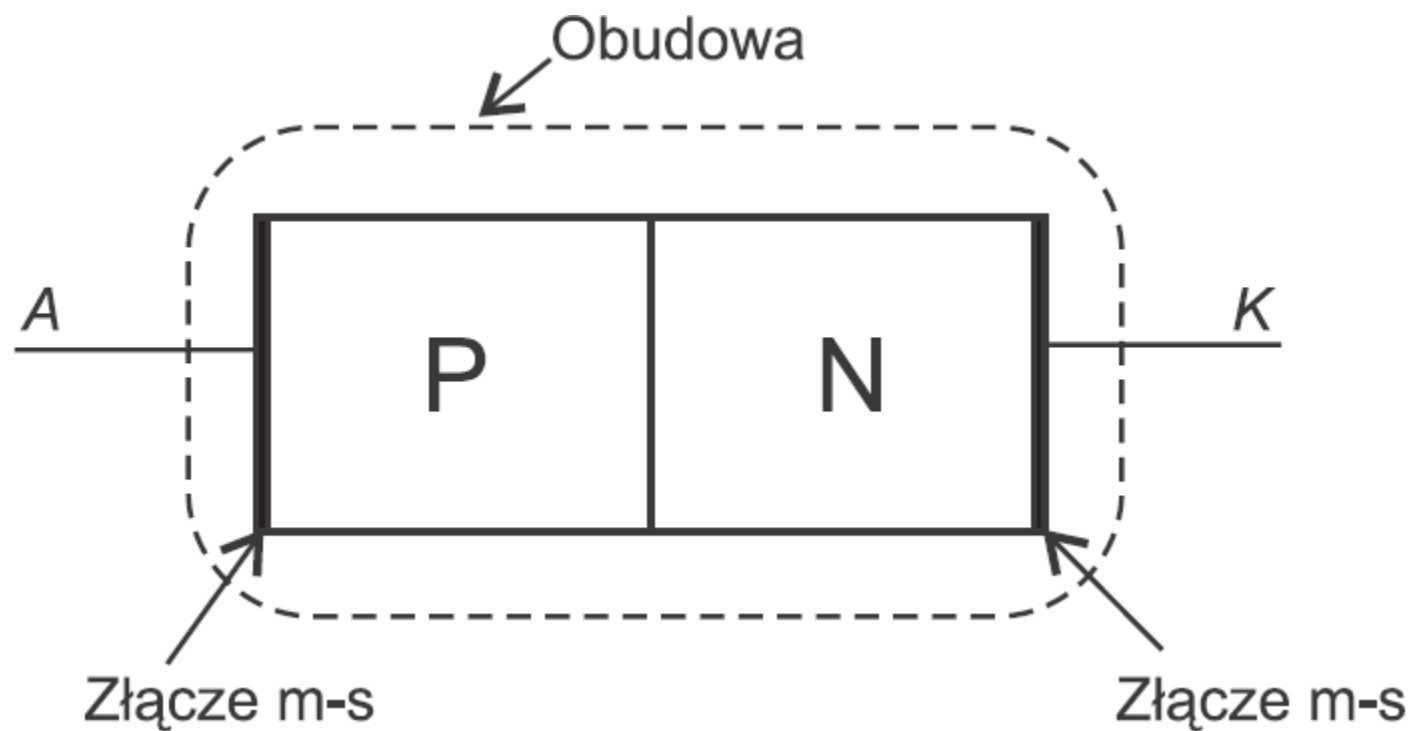
# Dioda

Najbardziej charakterystyczną cechą diody jest przewodzenie prądu elektrycznego tylko w jednym kierunku.

Materiał domieszkowany do typu  $p$  pełni w diodzie funkcję anody, materiał typu  $n$  działa jako katoda.



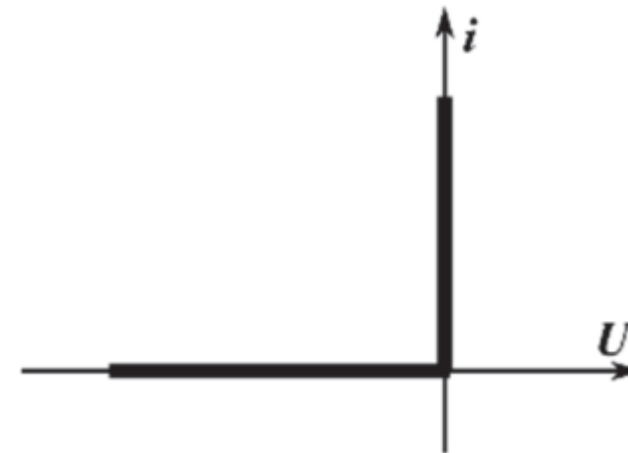
# Dioda



# Dioda

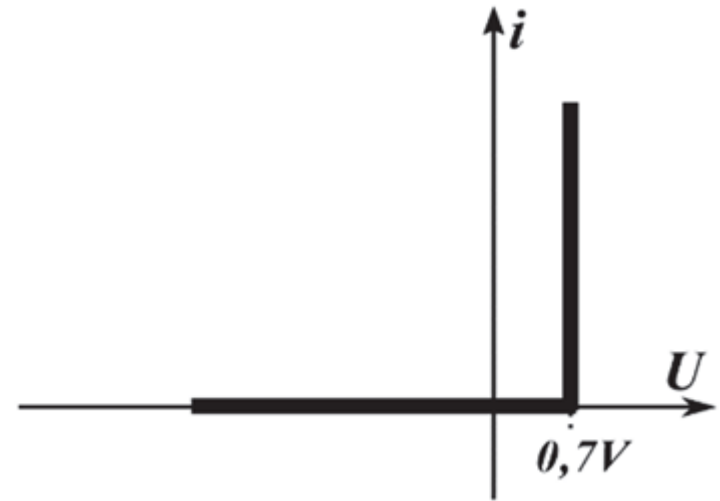
Bardzo często przyjmuje się, że w obwodzie znajduje się dioda idealna. Takie założenie pozwala znacznie uprościć analizy.

Spadek napięcia na diodzie idealnej w kierunku przewodzenia wynosi zero, natomiast w kierunku zaporowym nie płynie przez nią żaden prąd.



# Dioda

Rzeczywista dioda przechodzi w stan przewodzenia dopiero po przekroczeniu napięcia progowego.

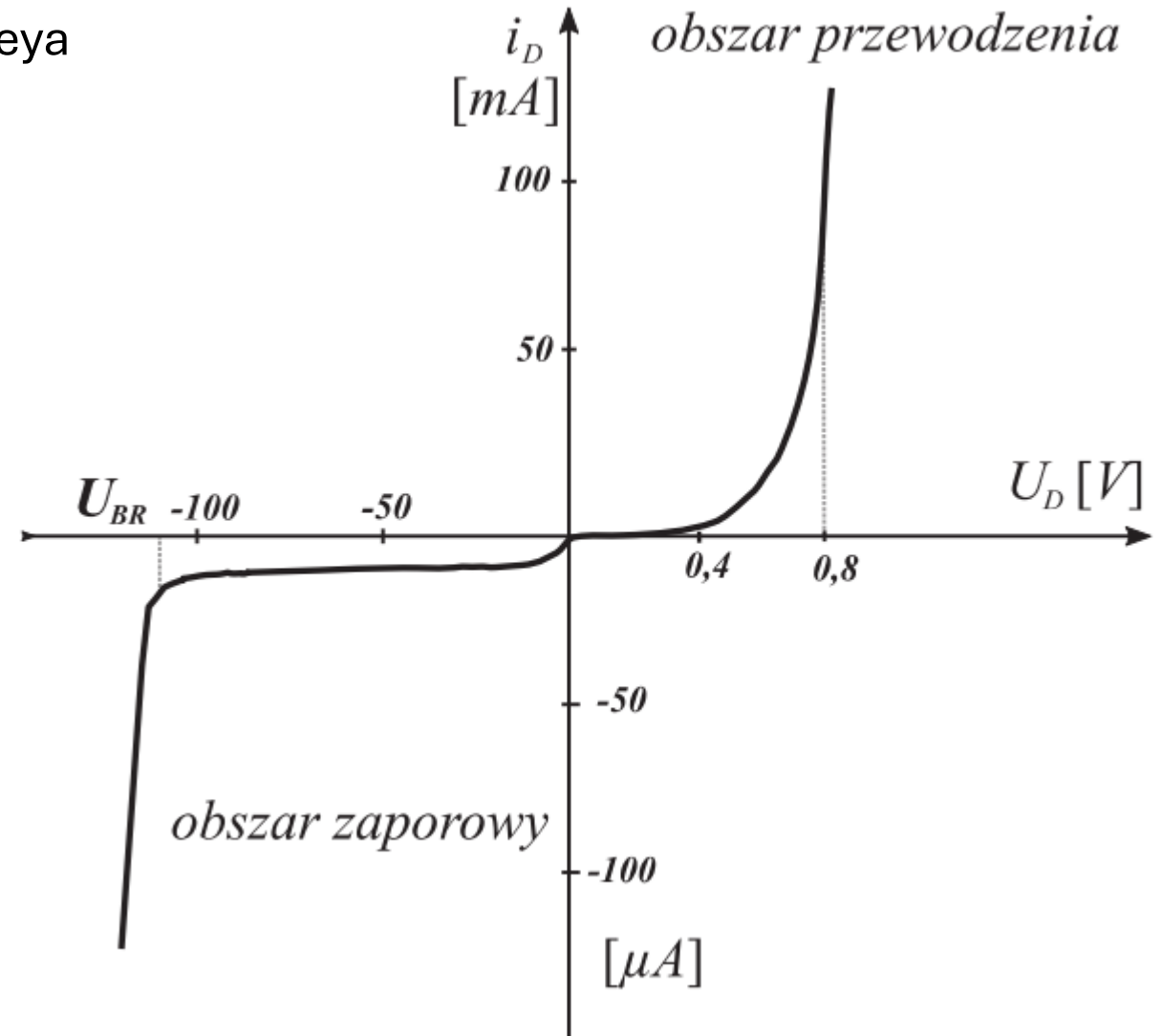


# Charakterystyka diody

Charakterystyka ta jest opisana równaniem Shockleya o postaci:

$$I = I_0 \left[ \exp \left( \frac{U}{\frac{kT}{q}} \right) - 1 \right]$$

gdzie  $\frac{kT}{q} = U_T$  to potencjał elektrokinetyczny.

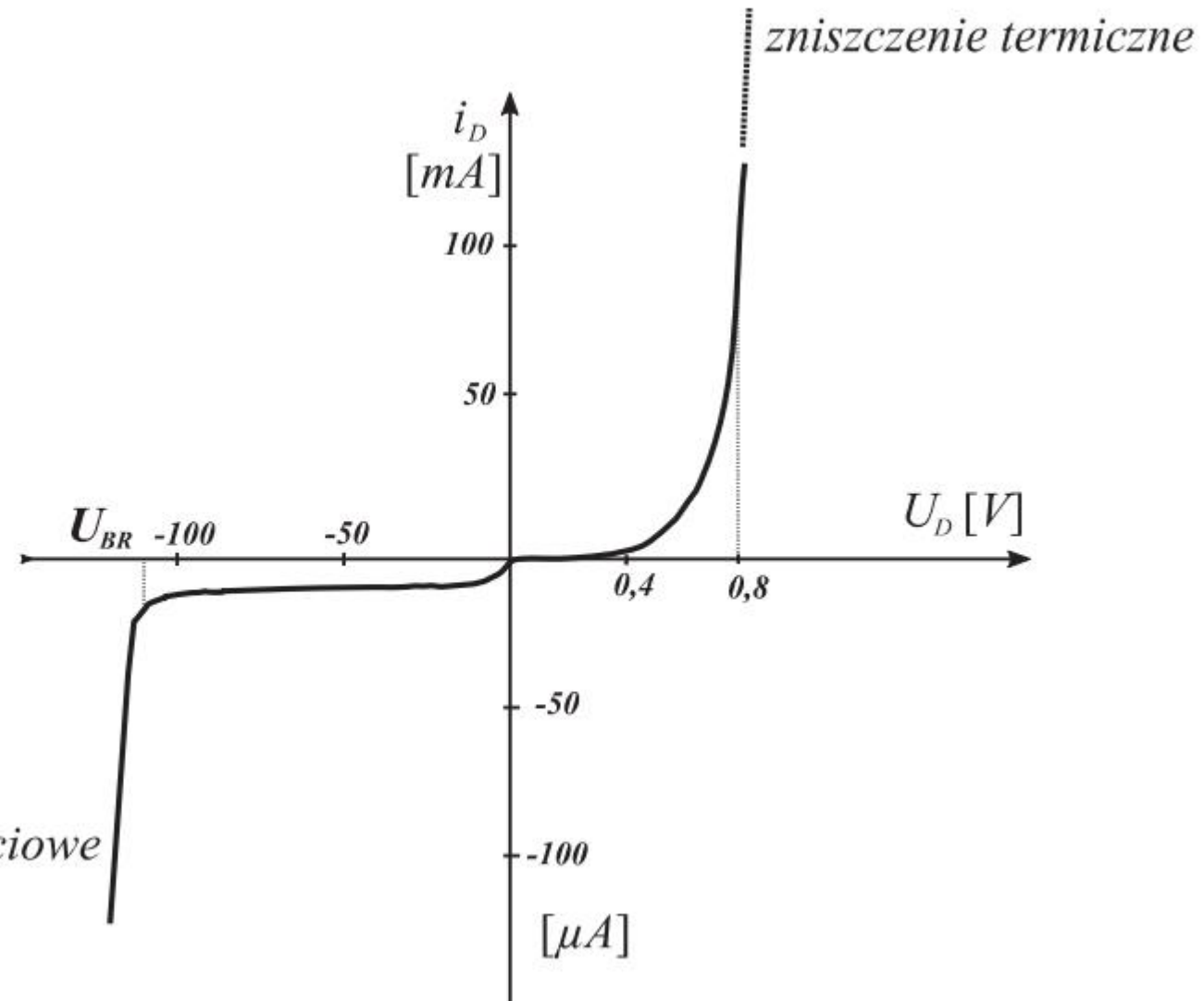


# Rodzaje uszkodzeń diody

Należy zauważyć, że niekontrolowany niczym przyrost prądu w kierunku przewodzenia w obszarze, w którym zaczyna się termiczne przyrostowe powielanie generowanych par elektron-dziura, może doprowadzić do termicznego zniszczenia złącza.

W odwrotnym kierunku, przepływ nośników mniejszościowych tworzy prąd upływu o niewielkiej wartości. Po przekroczeniu granicznego napięcia  $U_{BR}$  rozpoczyna się proces powielania lawinowego nośników ładunku niszczący warstwę zaporową poprzez jej przebicie.

*przebiecie napięciowe*



# „Moc” diody

Maksymalny graniczny prąd przewodzenia ma wpływ na określenie maksymalnej mocy traconej/rozpraszanej na diodzie:

$$P_{Diss}[W] = U \cdot i_{max}$$

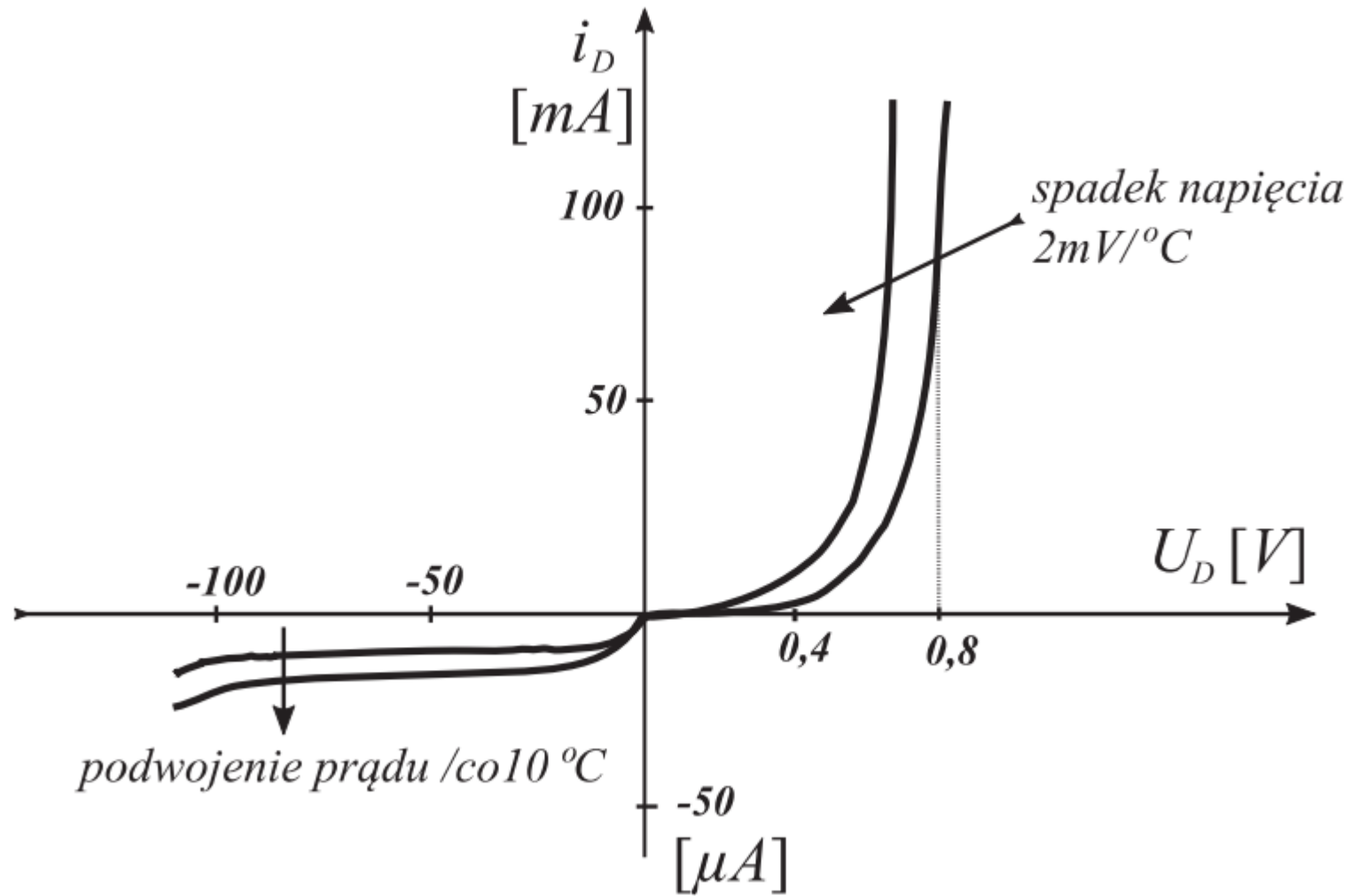
Dla zapewnienia bezpiecznego osiągnięcia mocy granicznej należy diodę odpowiednio wykonać, szczególnie dbając o wielkość powierzchni złącza.

# „Moc” diody

Dla umożliwienia niewielkiego przekroczenia wartości mocy granicznej można obudować diodę w odpowiedniej wielkości radiator, tak aby nadmiar mocy traconej w postaci ciepła mógł być efektywnie odprowadzany.



# Wpływ temperatury na charakterystykę diody



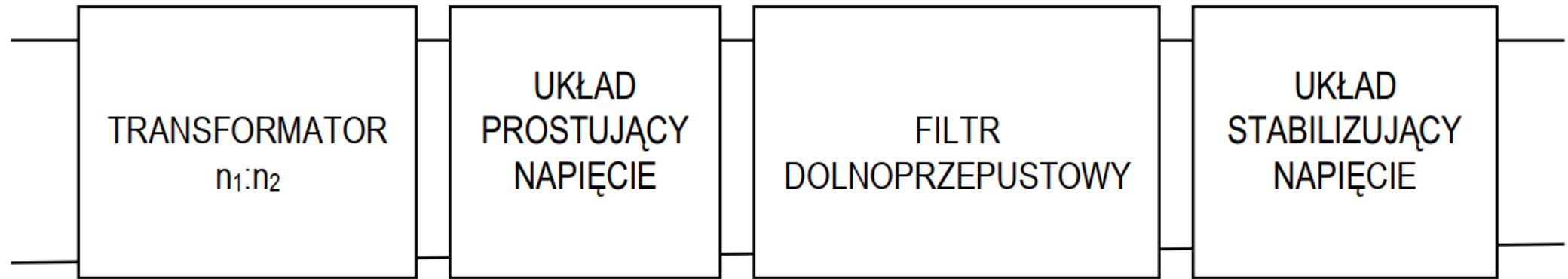
# Elektronika

Zasilacze

# Sieć elektroenergetyczna

- W Europie lokalna sieć elektroenergetyczna tzw. „niskiego napięcia”, doprowadzona bezpośrednio do odbiorcy indywidualnego dostarcza prądu przemiennego o częstotliwości 50Hz pod napięciem  $230V \pm 10\%$  (wartość skuteczna).
- W USA, Kanadzie, Japonii i niektórych innych krajach świata standardem jest sieć o częstotliwości 60Hz pod napięciem 120V/240V.
- **A jakie napięcie jest potrzebne do zasilenia większości układów elektronicznych?**

# Schemat zasilacza liniowego



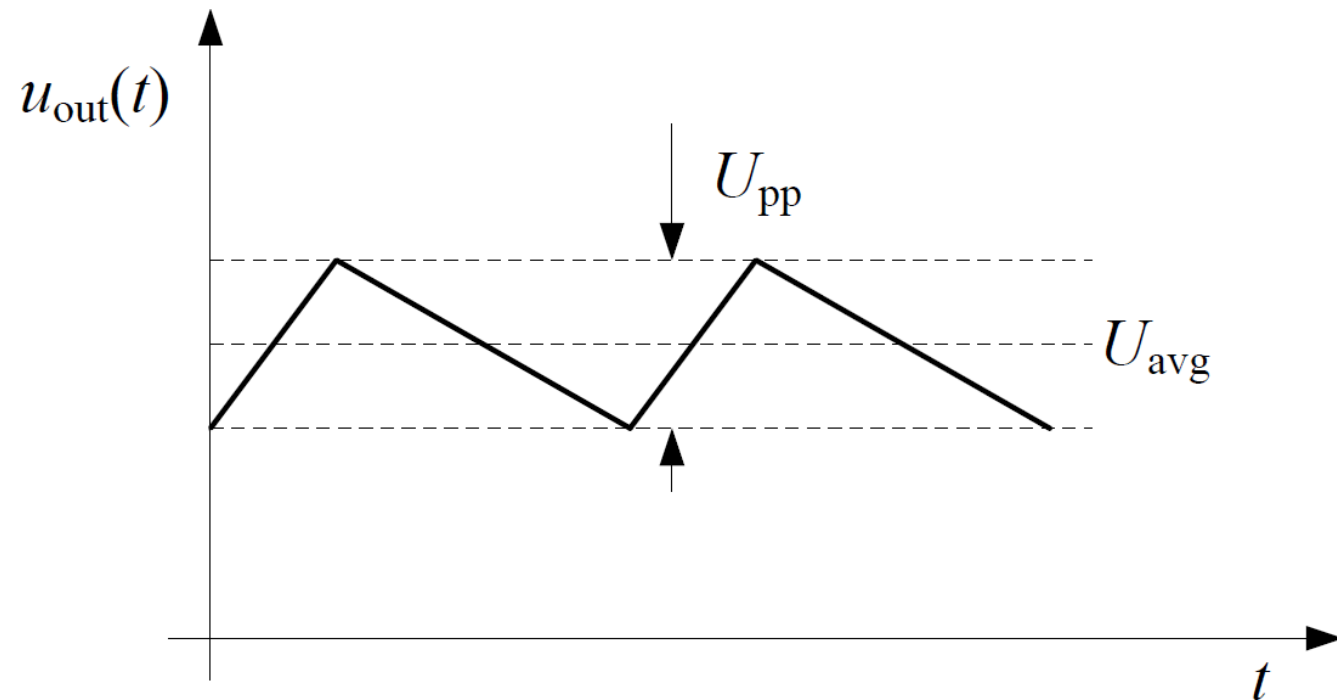
# Kluczowe parametry zasilacza

Sprawność zasilacza mówi, jak duże straty energii są związane z działaniem układu. Jest ona określona stosunkiem mocy, którą zasilacz oddaje do obciążenia, do mocy którą pobiera on ze źródła napięcia wejściowego:

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}}$$

# Kluczowe parametry zasilacza

Jakość napięcia, które jest otrzymywane na wyjściu zasilacza, można ocenić przy pomocy współczynnika tętnień:



$$\tau = \frac{U_{\text{pp}}}{U_{\text{avg}}}$$

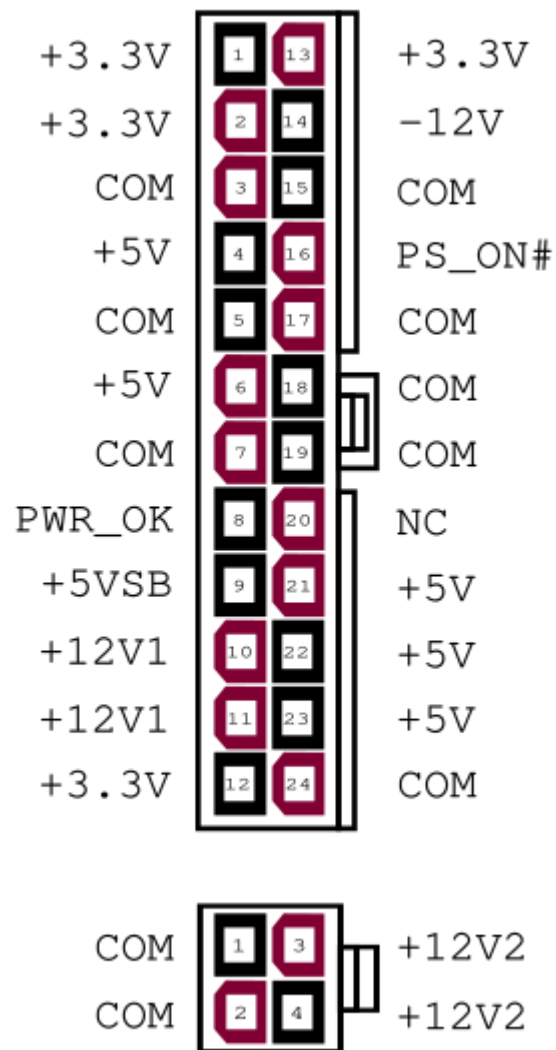
# Kluczowe parametry zasilacza

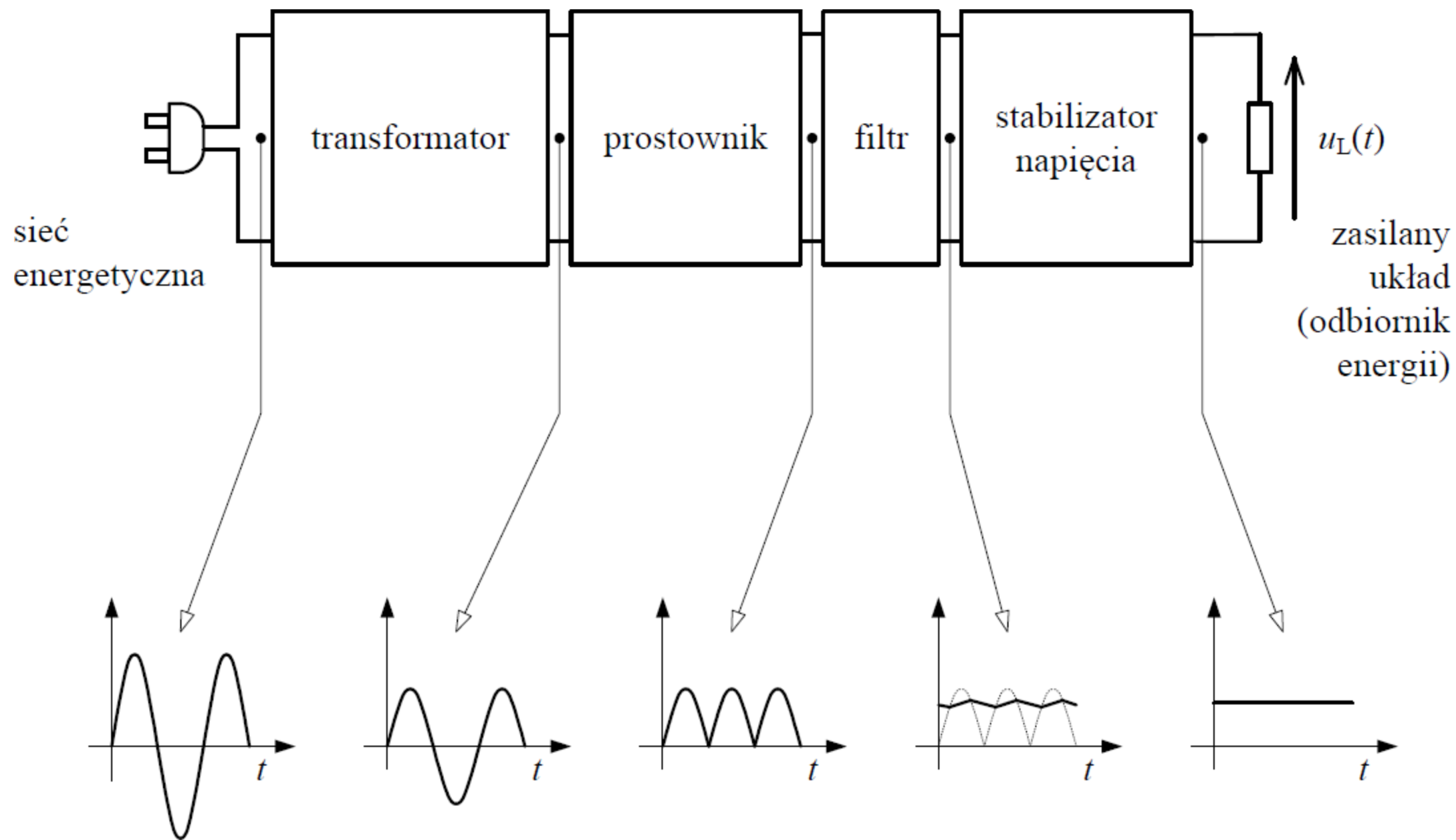
Dodatkowo od zasilacza może być oczekiwana duża szybkość działania, gdy ma on pracować z napięciem wejściowym lub obciążeniem mogącym zmieniać się szybko i znacząco.

# Norma ATX (Advanced Technology Extended)

Określa standardowe wartości napięć, które powinny być dostarczane przez zasilacz komputerowy oraz ich dopuszczalne odchylenia.

| Linia napięciowa | Napięcie nominalne | Dopuszczalne odchylenie | Minimalne napięcie | Maksymalne napięcie |
|------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|---------------------|
| +3.3V            | 3.3V               | ±5%                     | 3.14V              | 3.47V               |
| +5V              | 5V                 | ±5%                     | 4.75V              | 5.25V               |
| +12V             | 12V                | ±5%                     | 11.4V              | 12.6V               |
| -12V             | -12V               | ±10%                    | -13.2V             | -10.8V              |
| +5Vsb            | 5V                 | ±5%                     | 4.75V              | 5.25V               |

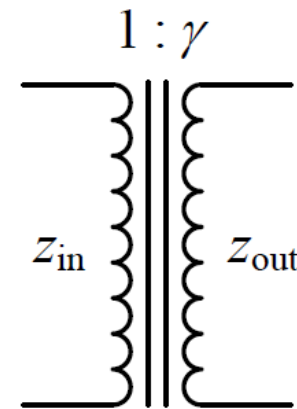
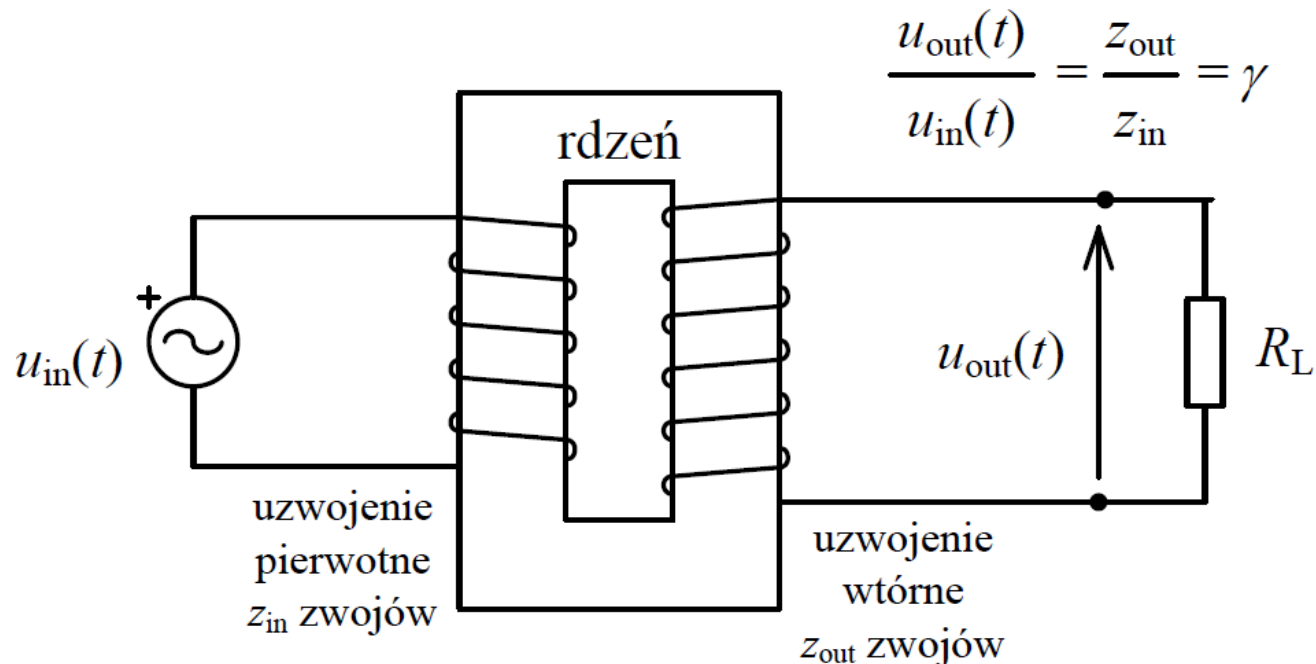




# Transformator

Transformator jest urządzeniem elektromagnetycznym, w którym uzwojenia (cewki) są nawinięte na jednym rdzeniu, dzięki czemu występuje między nimi silne sprzężenie magnetyczne.

Wymuszając zmiany prądu w jednym uzwojeniu, powoduje się indukowanie siły elektromotorycznej w drugim.



# Transformator

Można zaprojektować, można kupić... Najważniejsze, by napięcie wyjściowe było właściwe, a moc dopasowana do mocy zasilacza.



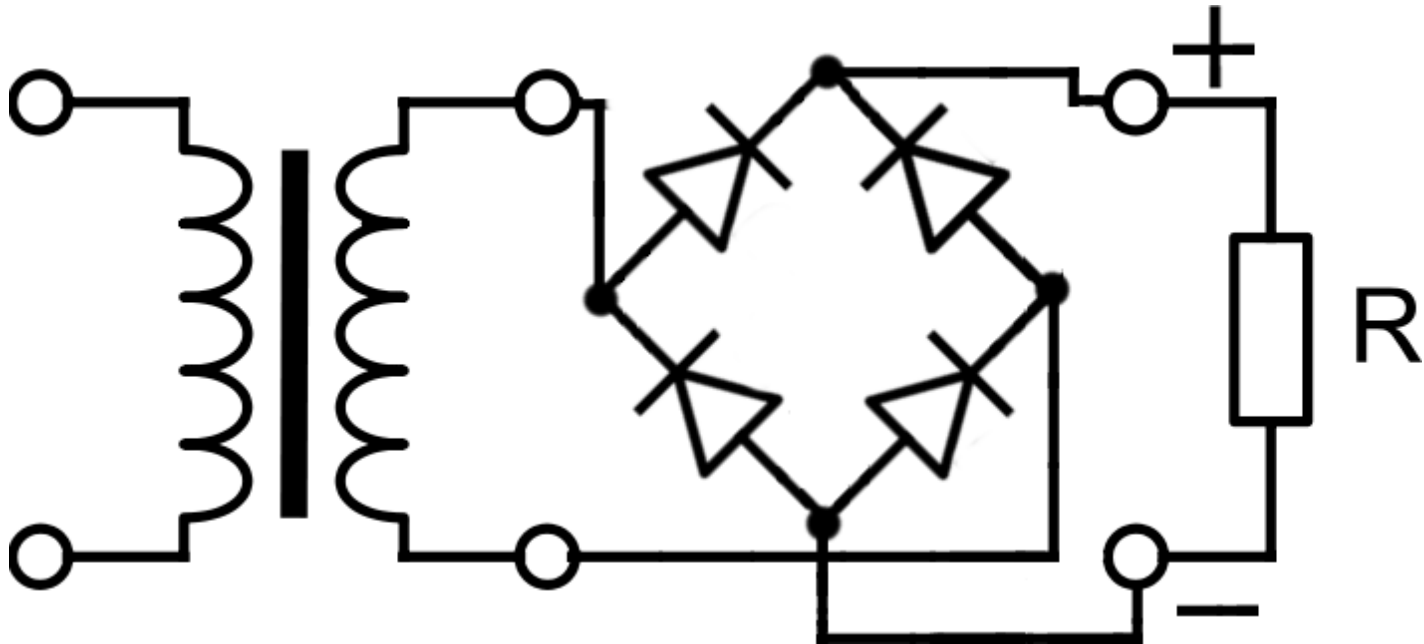
| Typ     | Moc | U pierwotne | U wtórne | Prad       |
|---------|-----|-------------|----------|------------|
| TS 1/1  | 1W  | 220V        | 25V      | 0,4A       |
| TS 2/10 | 2W  | 220V        | 10,5V    | 0,17A      |
| TS 2/14 | 2W  | 220V        | 8,2V     | 0,22A      |
| TS 2/15 | 2W  | 220V        | 10,1V    | 0,18A      |
| TS 2/16 | 2W  | 220V        | 6V       | 0,22A      |
| TS 2/18 | 2W  | 220V        | 2x 5,5V  | 2x 0,14A   |
| TS 2/20 | 2W  | 220V        | 10,6V    | 0,2A       |
| TS 2/22 | 2W  | 220V        | 8,2V     | 0,2A       |
| TS 2/24 | 2W  | 220V        | 25V      | 0,04A      |
| TS 2/31 | 2W  | 220V        | 2x 20V   | 2x 0,0506A |
| TS 2/32 | 2W  | 220V        | 6V       | 0,1A       |
| TS 2/33 | 2W  | 220V        | 8,6V     | 0,16A      |
| TS 2/34 | 2W  | 220V        | 10,1V    | 0,18A      |
| TS 2/36 | 2W  | 220V        | 8,8V     | 0,22A      |
| TS 2/38 | 2W  | 220V        | 24,0V    | 0,06A      |
| TS 2/39 | 2W  | 220V        | 10,6V    | 0,2A       |
| TS 2/4  | 2W  | 220V        | 5,2V     | 0,28A      |
| TS 2/44 | 2W  | 220V        | 14V      | 0,1A       |
| TS 2/45 | 2W  | 220V        | 10V      | 0,14A      |

# Prostownik

- Dioda prostownicza = prostownik jednopółwkowy

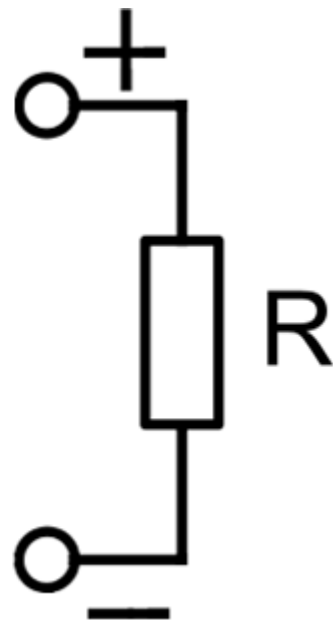
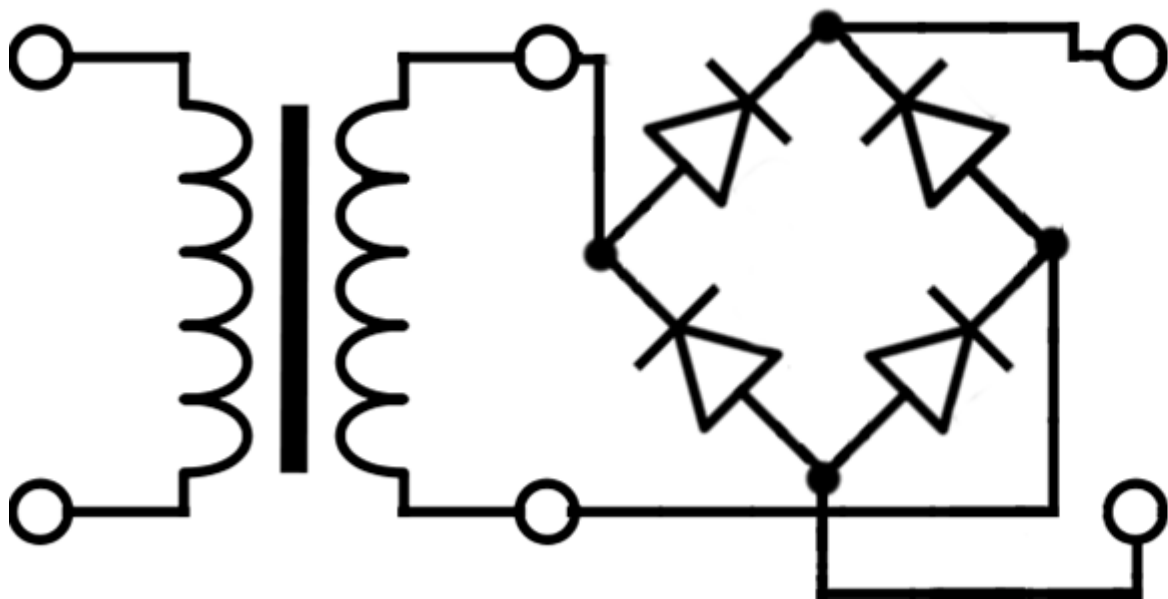
# Prostownik

- Mostek Graetza



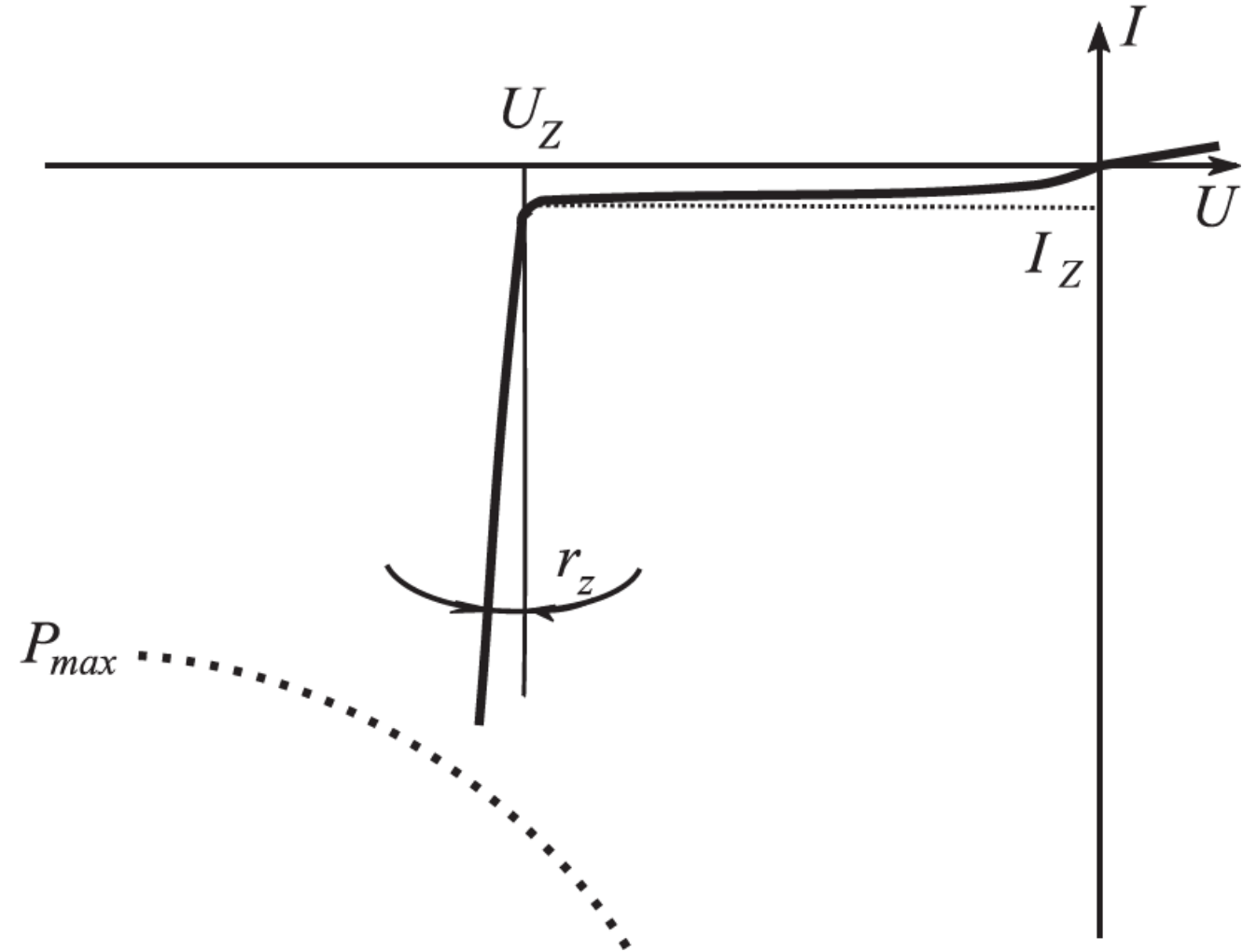
# Filtr

- Najprościej - kondensator



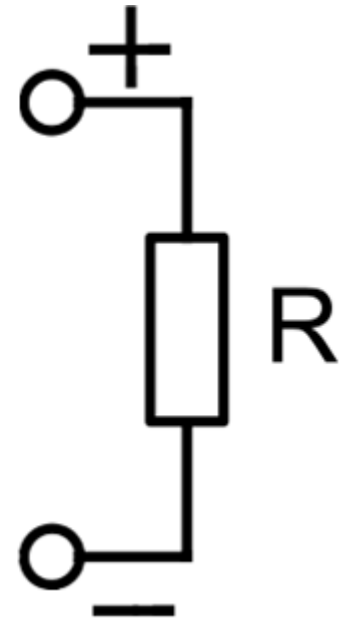
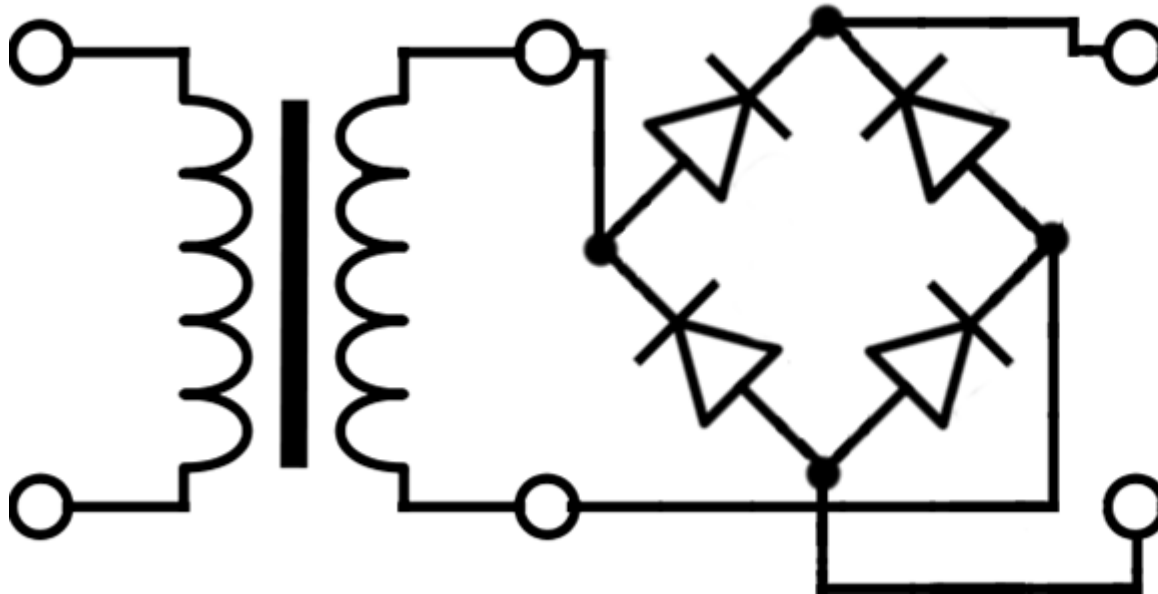
# Stabilizacja napięcia wyjściowego

- Najprościej – dioda Zenera



# Stabilizacja napięcia wyjściowego

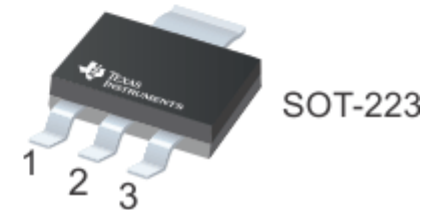
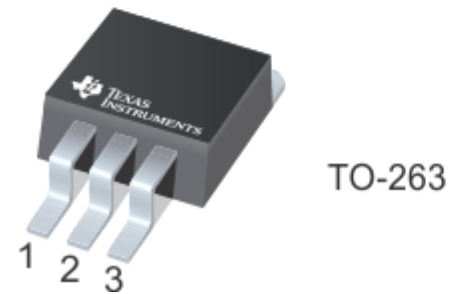
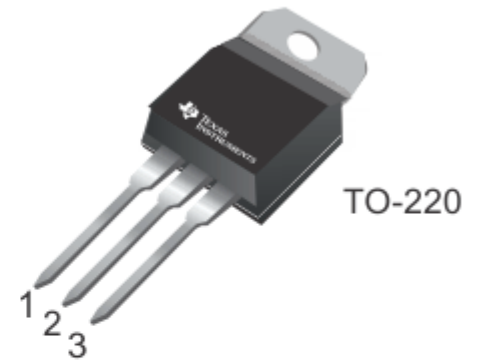
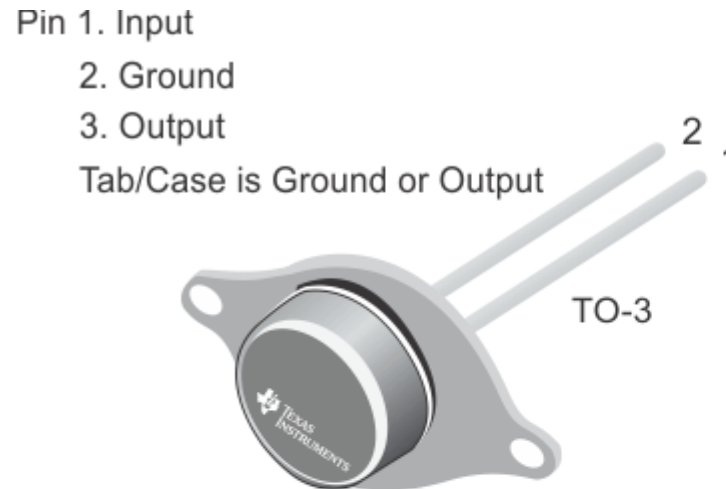
- Najprościej – dioda Zenera



# Stabilizacja napięcia wyjściowego

Klasyczne stabilizatory scalone:

- 78xx (napięcia dodatnie),
- 79xx (napięcia ujemne).

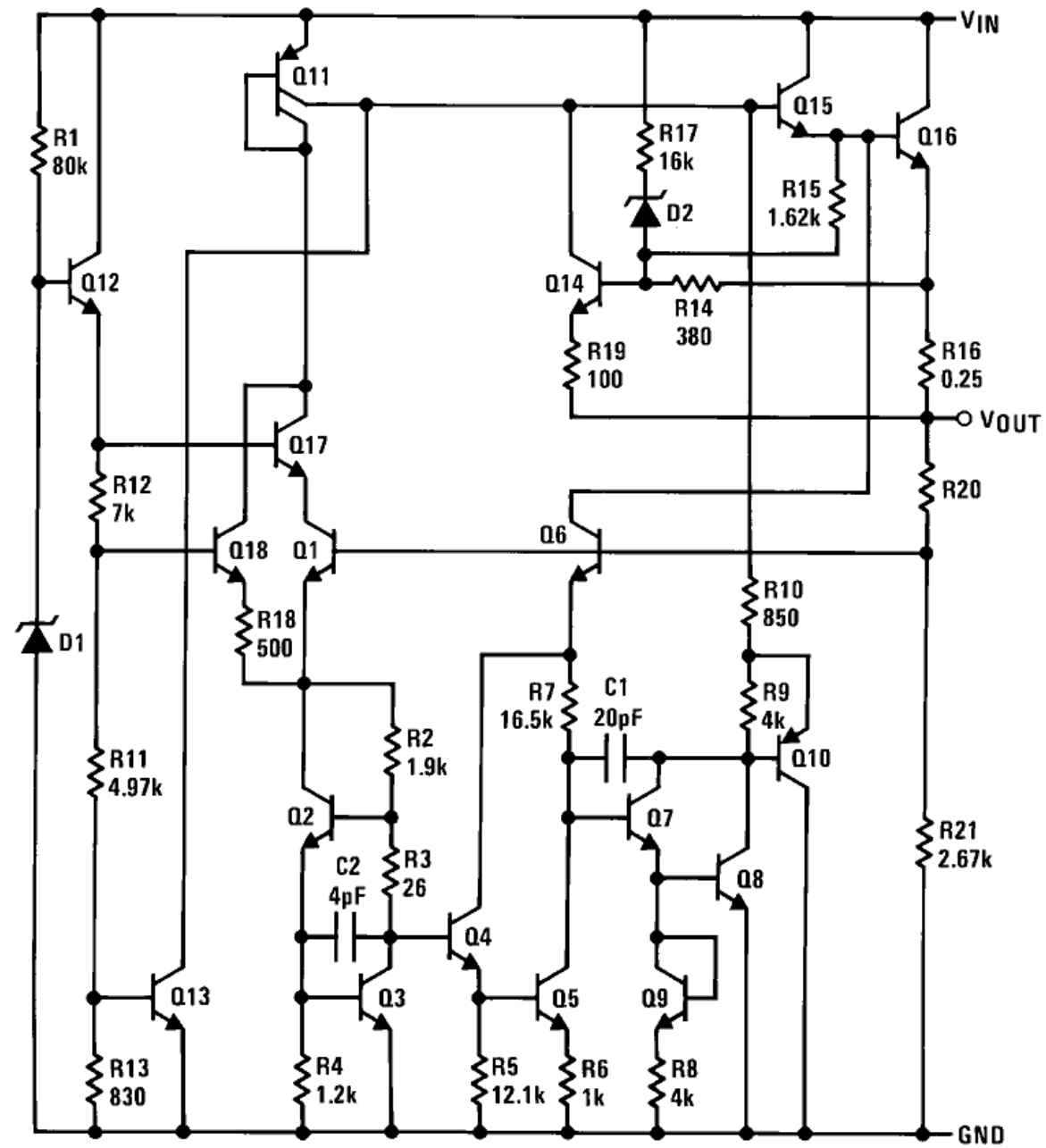


## 1 Features

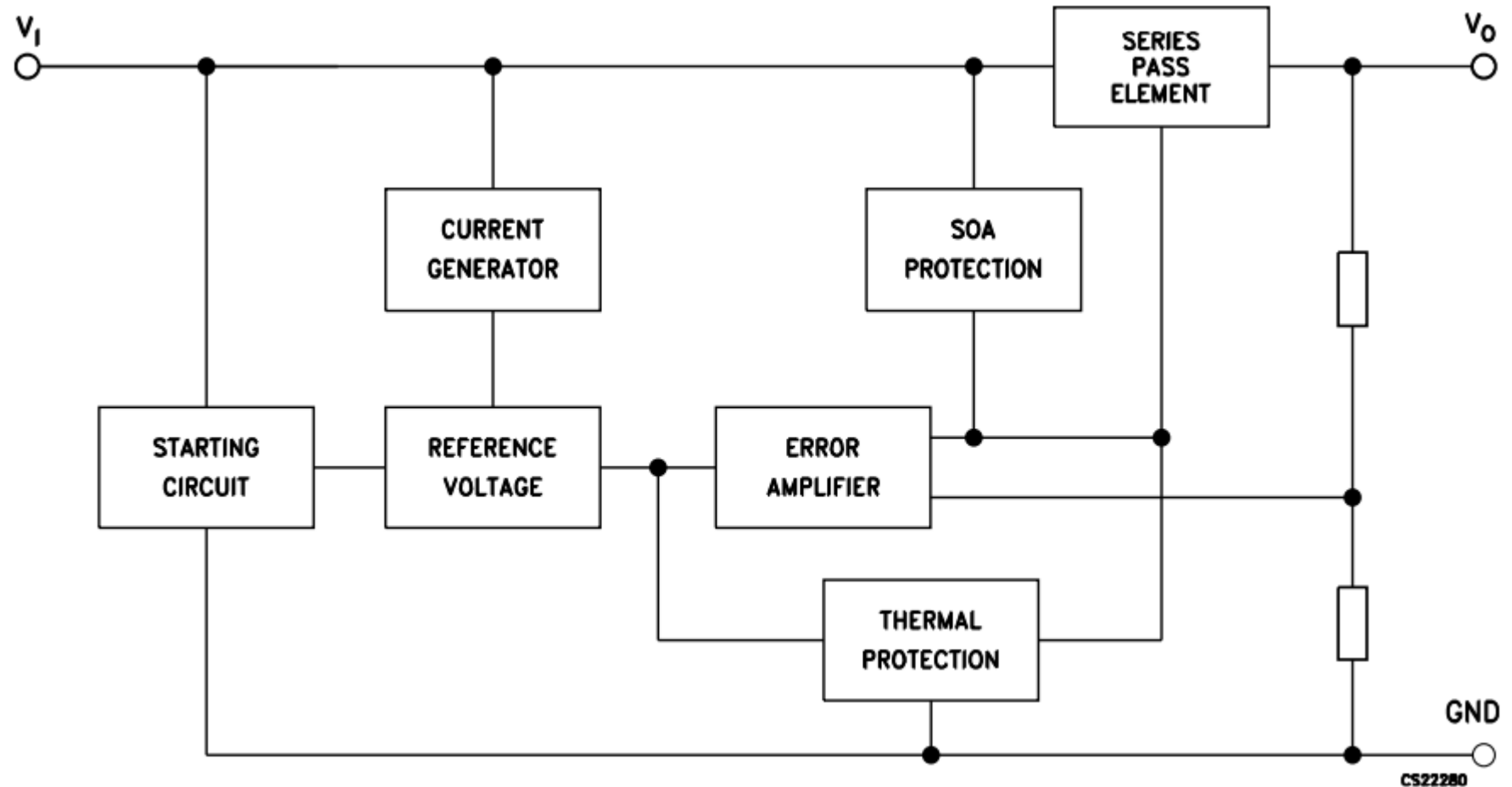
- Output Current up to 1.5 A
- Available in Fixed 5-V, 12-V, and 15-V Options
- Output Voltage Tolerances of  $\pm 2\%$  at  $T_J = 25^\circ\text{C}$  (LM340A)
- Line Regulation of 0.01% / V of at 1-A Load (LM340A)
- Load Regulation of 0.3% / A (LM340A)
- Internal Thermal Overload, Short-Circuit and SOA Protection
- Available in Space-Saving SOT-223 Package
- Output Capacitance Not Required for Stability

## 2 Applications

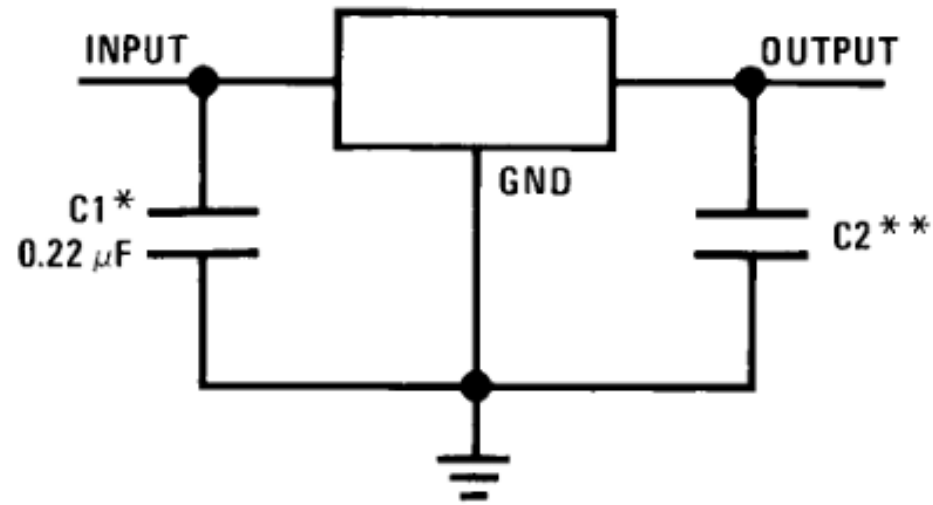
- Industrial Power Supplies
- SMPS Post Regulation
- HVAC Systems
- AC Invertors
- Test and Measurement Equipment
- Brushed and Brushless DC Motor Drivers
- Solar Energy String Invertors



# Stabilizacja napięcia wyjściowego



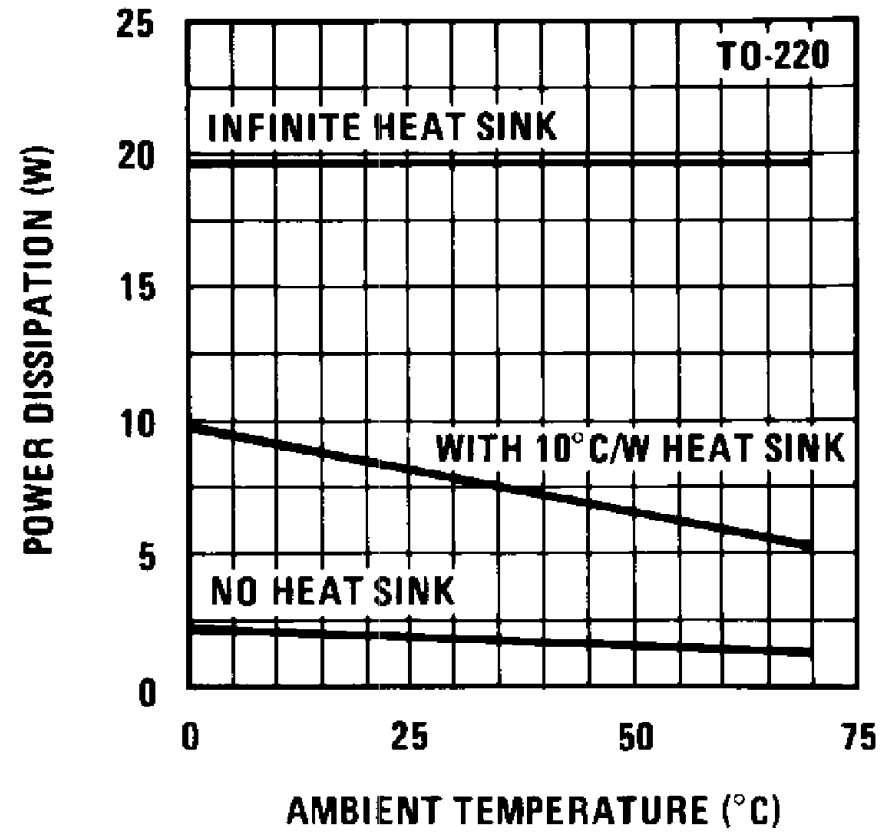
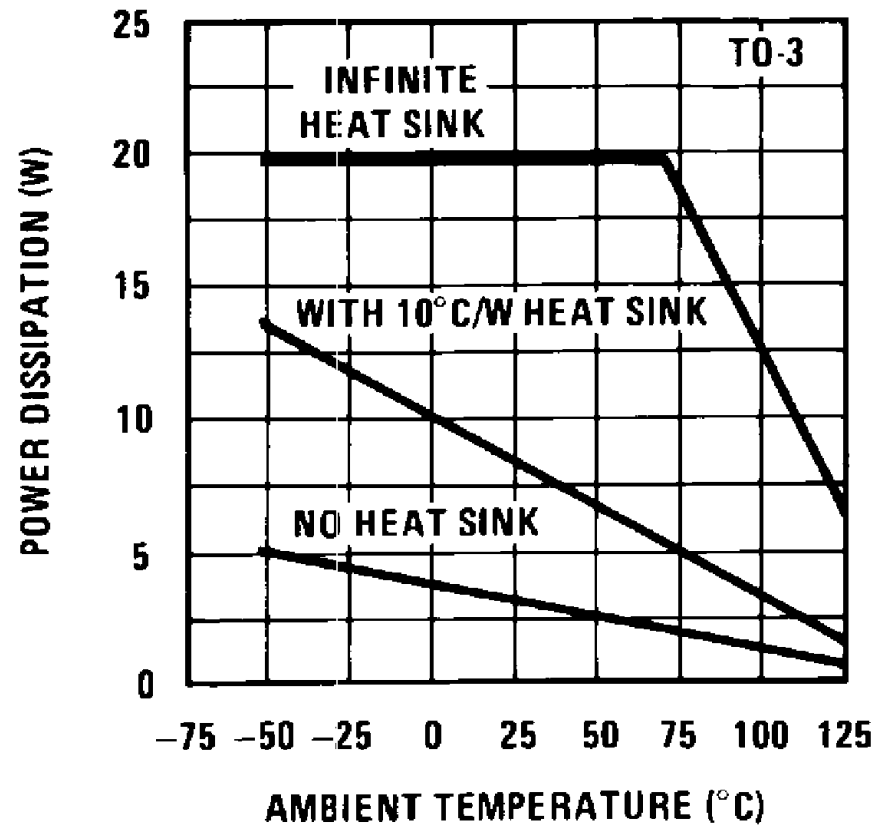
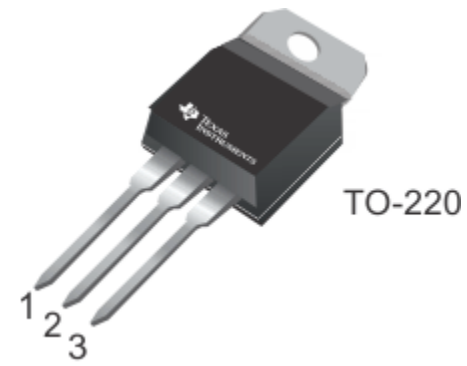
## Fixed Output Voltage Regulator

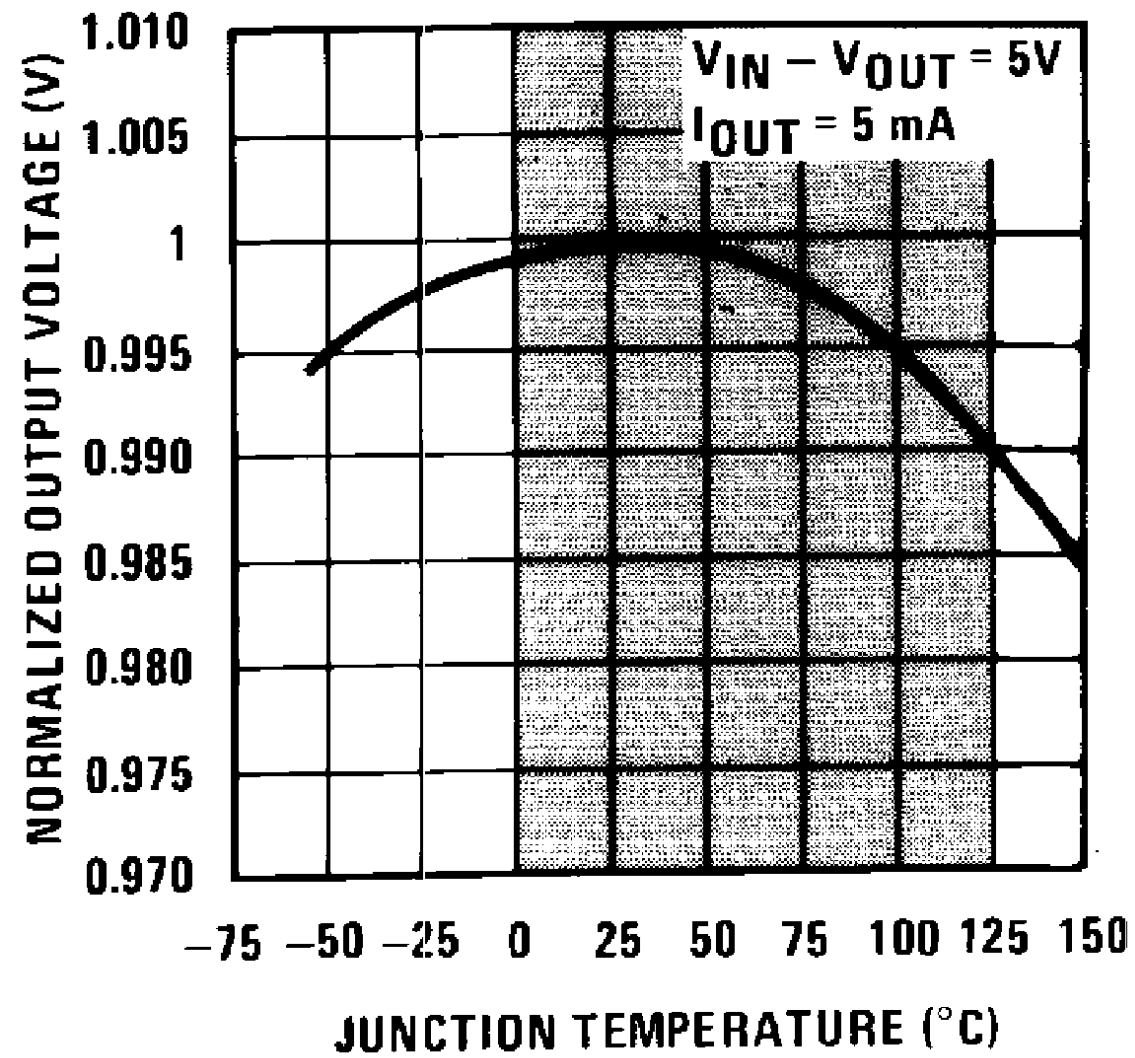


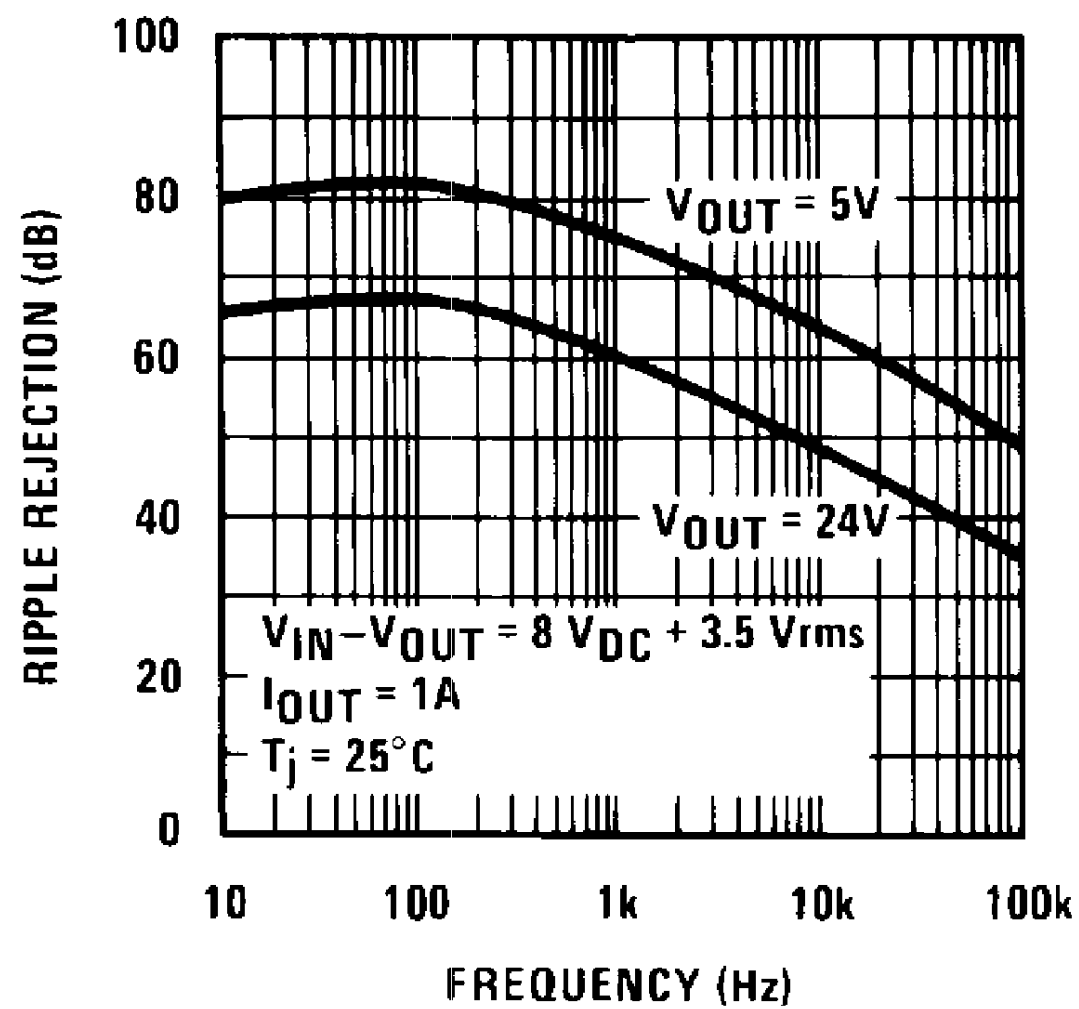
Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

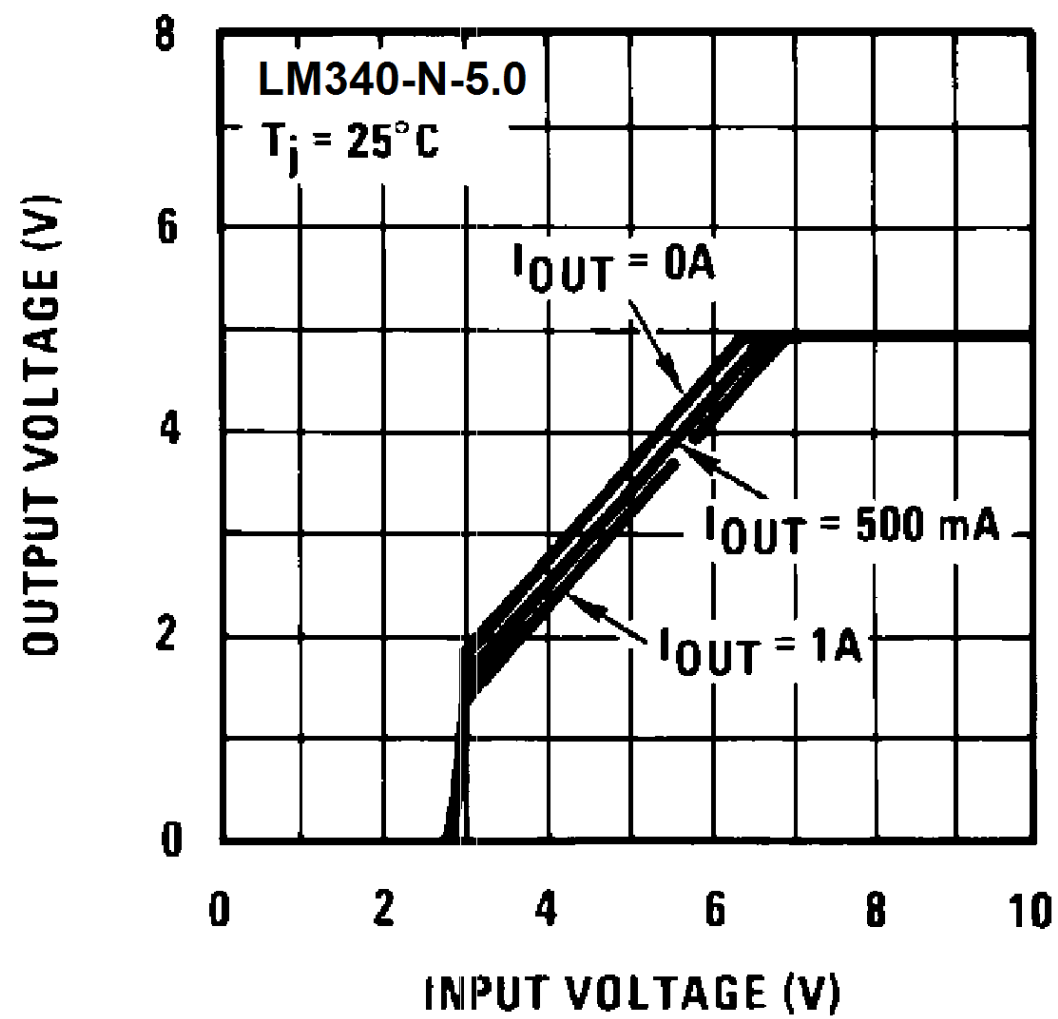
\*Required if the regulator is located far from the power supply filter.

\*\*Although no output capacitor is needed for stability, it does help transient response. (If needed, use 0.1- $\mu$ F, ceramic disc).

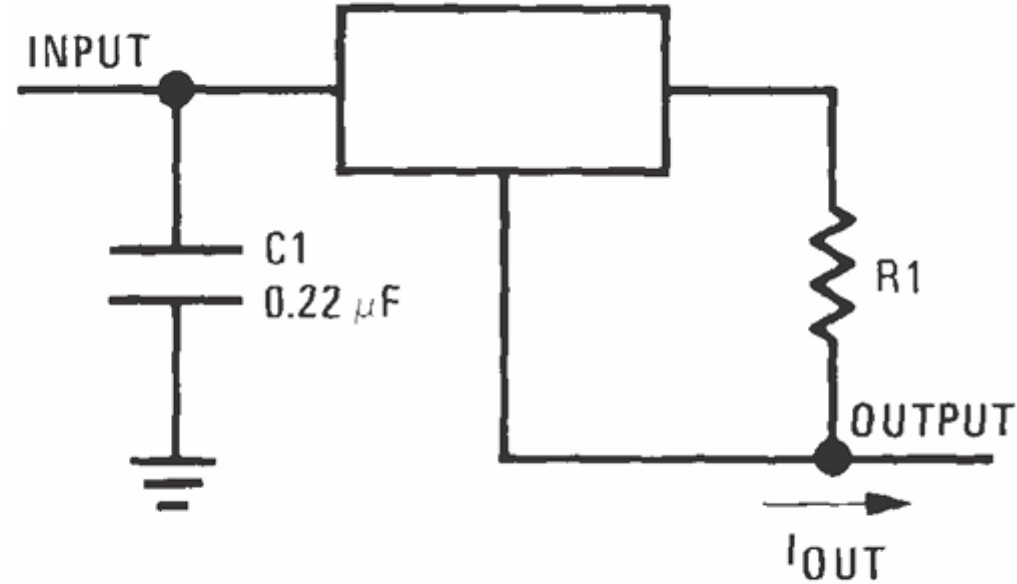








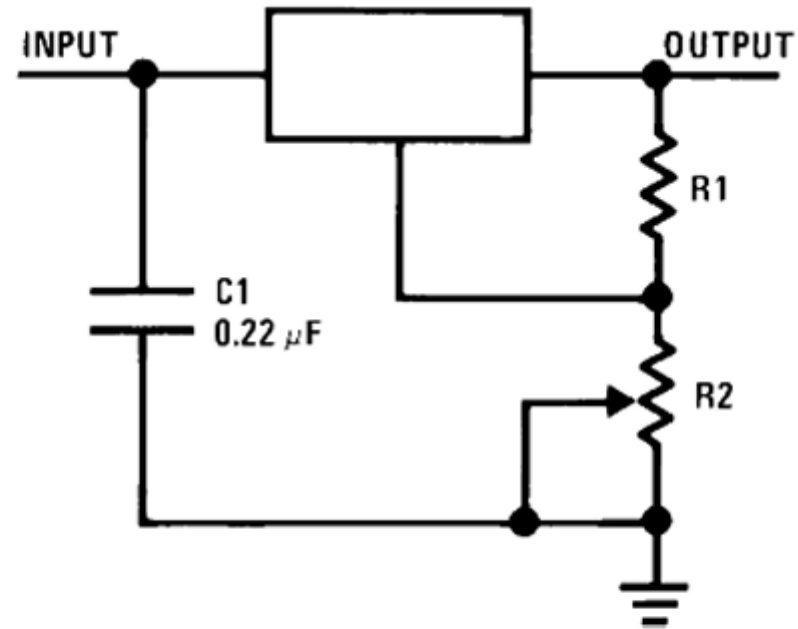
### 8.3 System Examples



$$I_{OUT} = V_{2-3} / R1 + I_Q$$

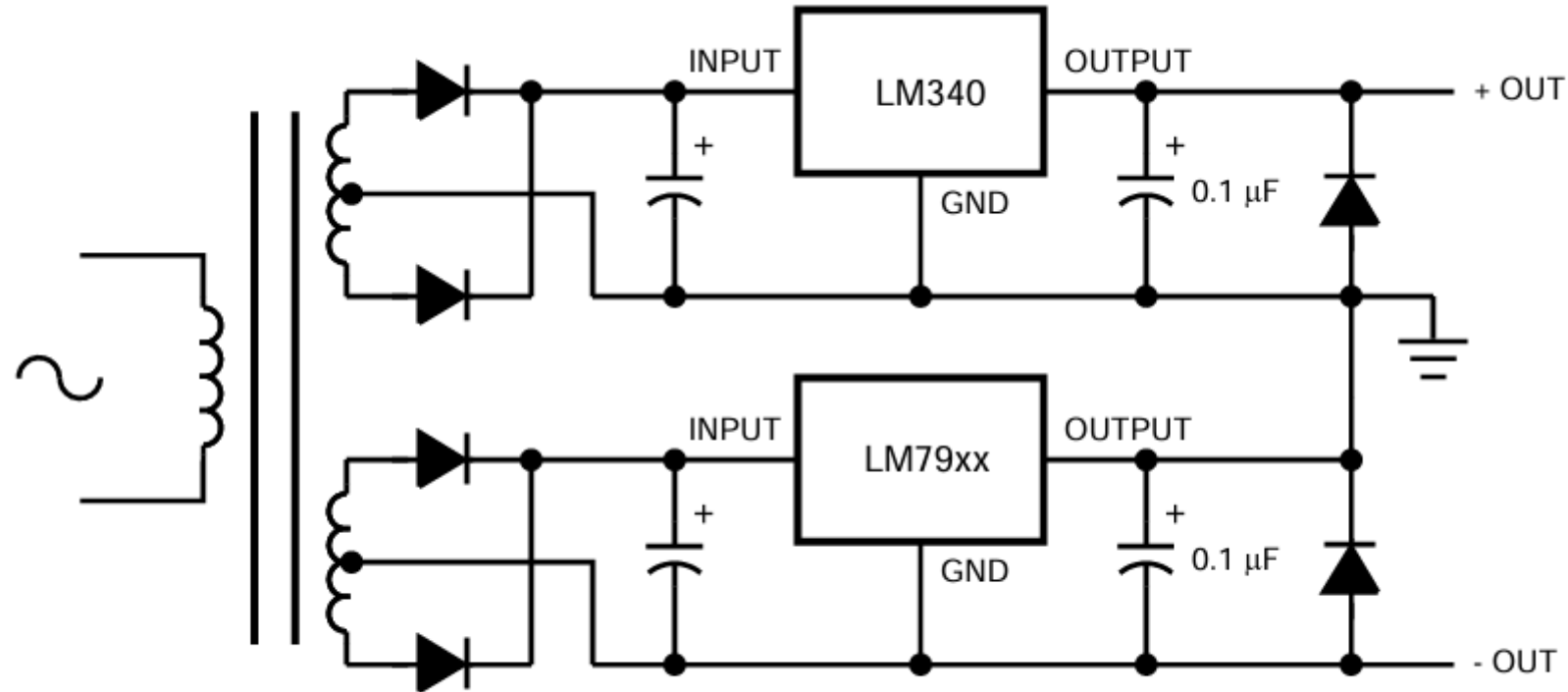
$\Delta I_Q = 1.3 \text{ mA}$  over line and load changes.

**Figure 20. Current Regulator**



$V_{OUT} = 5\text{ V} + (5\text{ V}/R1 + I_Q) R2$   
 $5\text{ V}/R1 > 3 I_Q$ ,  
 load regulation ( $L_r$ )  $\approx [(R1 + R2)/R1]$  ( $L_r$  of LM340-5).

**Figure 21. Adjustable Output Regulator**



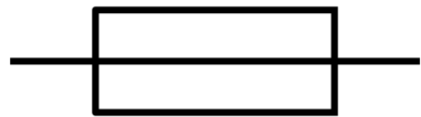
**Figure 26. LM340 Used With Negative Regulator LM79xx**

# Dodatkowe elementy zasilacza

- Bezpiecznik, warystor...
- Sygnalizacja napięcia...



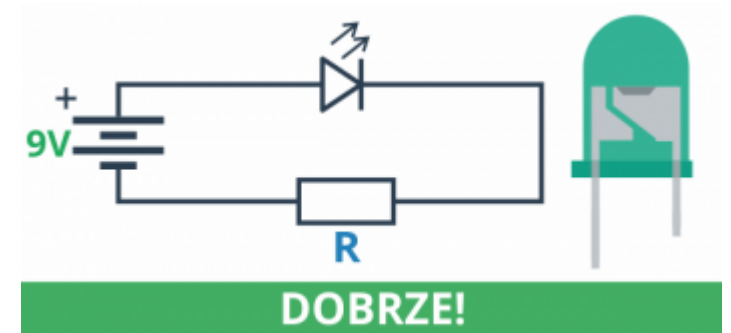
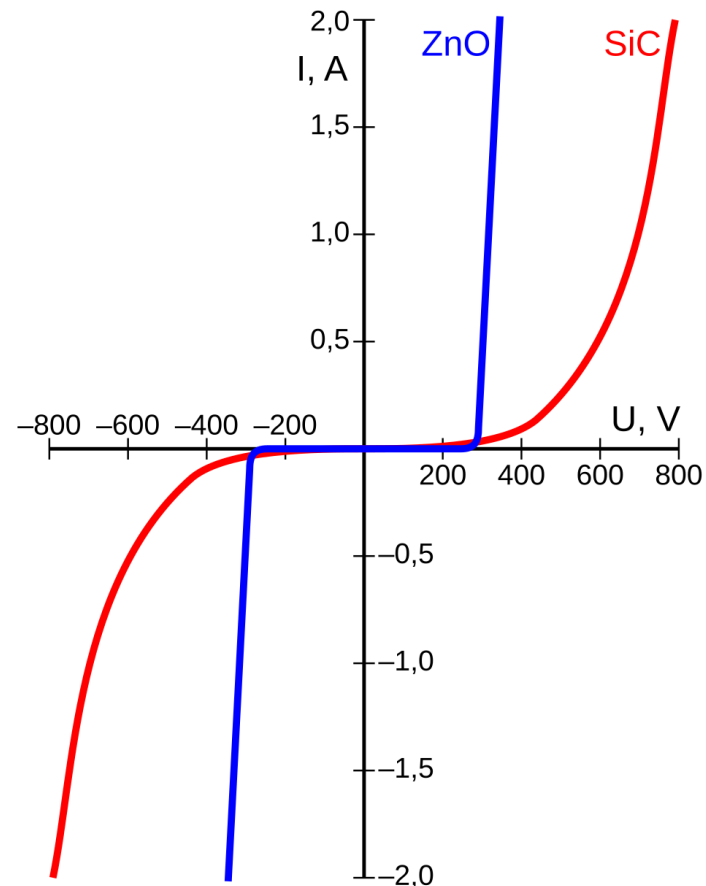
IEC



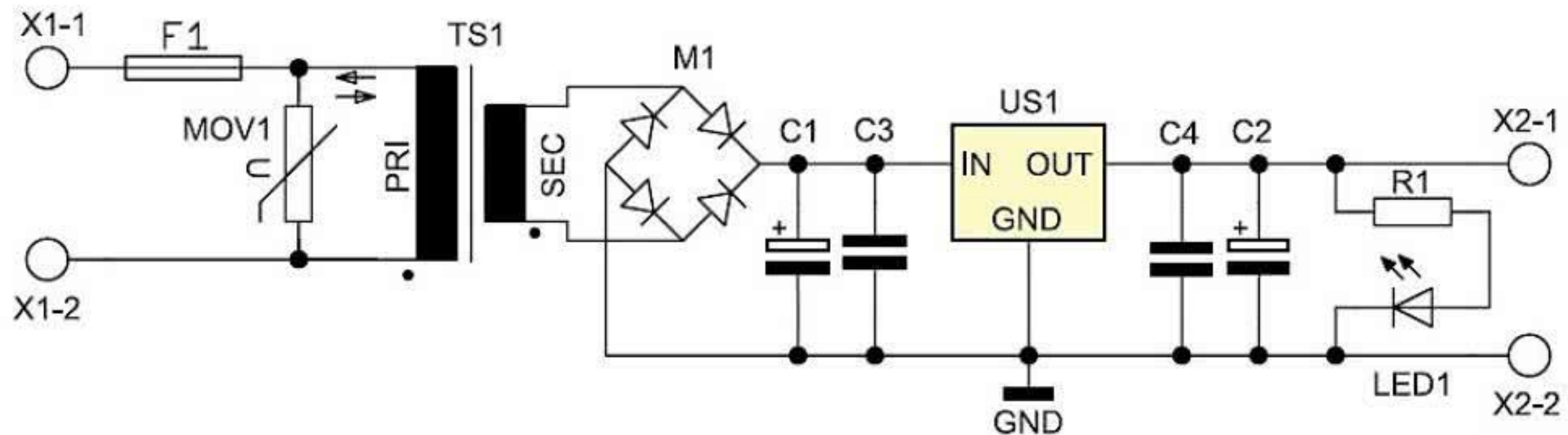
IEEE/ANSI



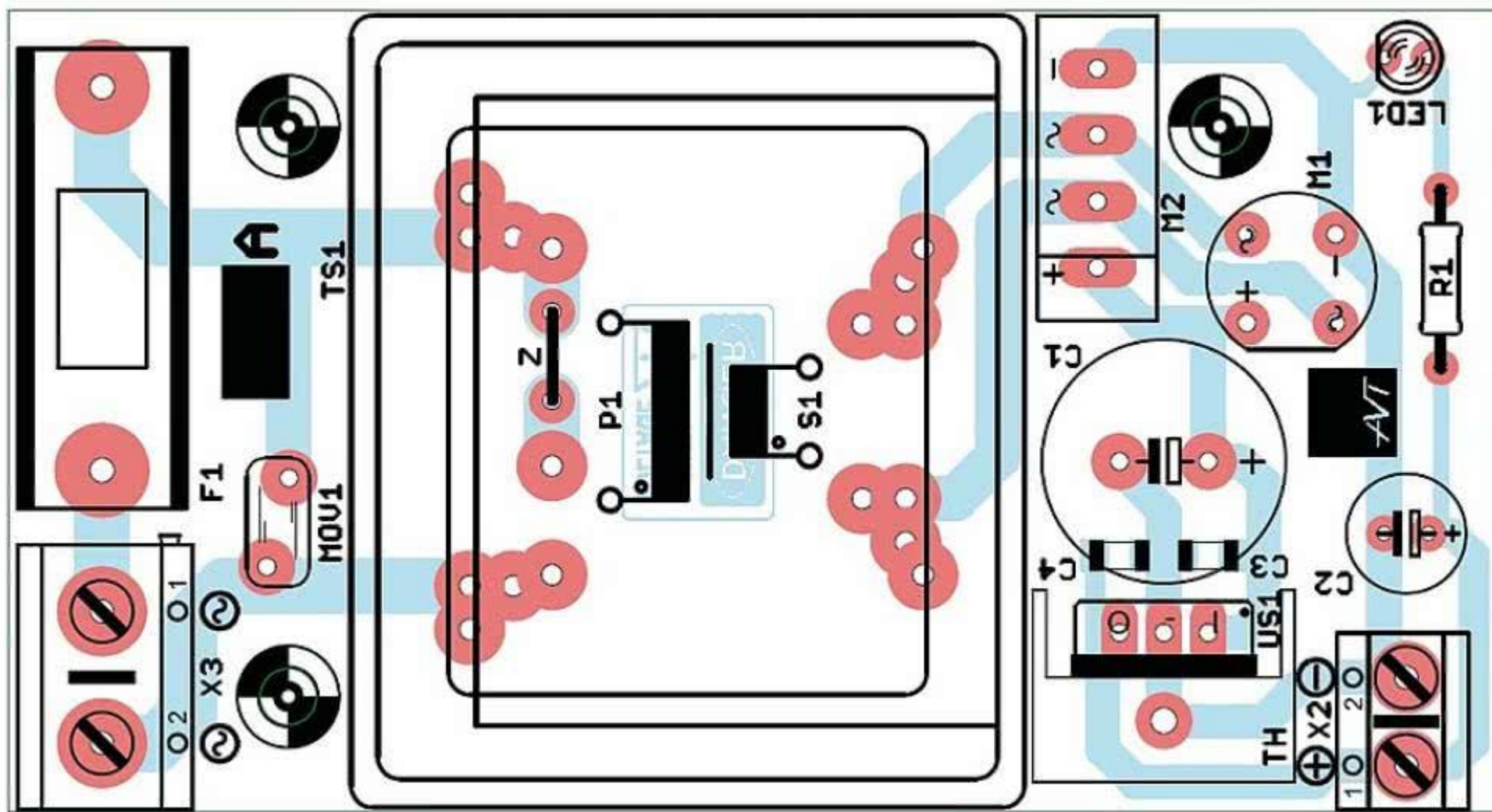
IEEE/ANSI

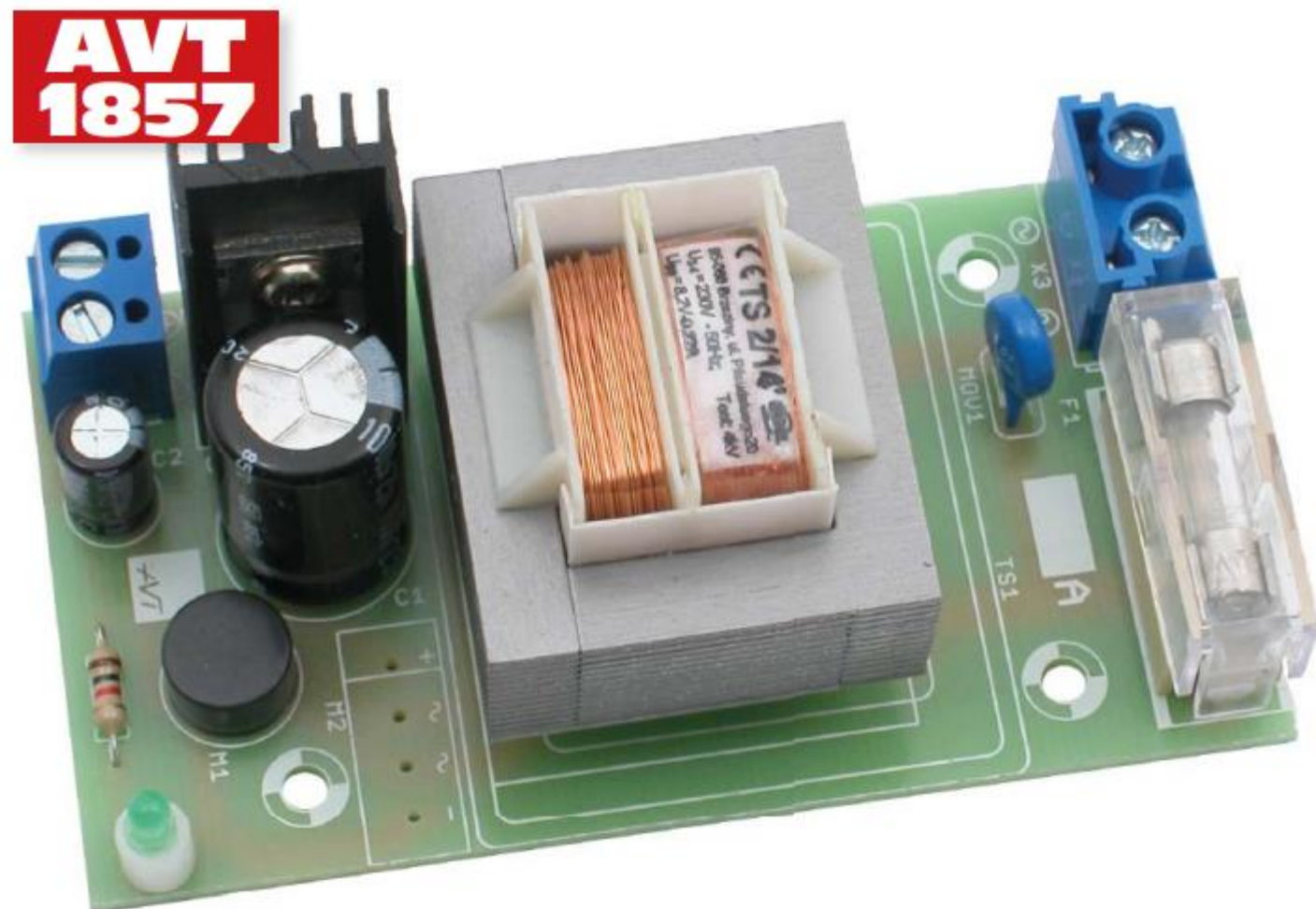
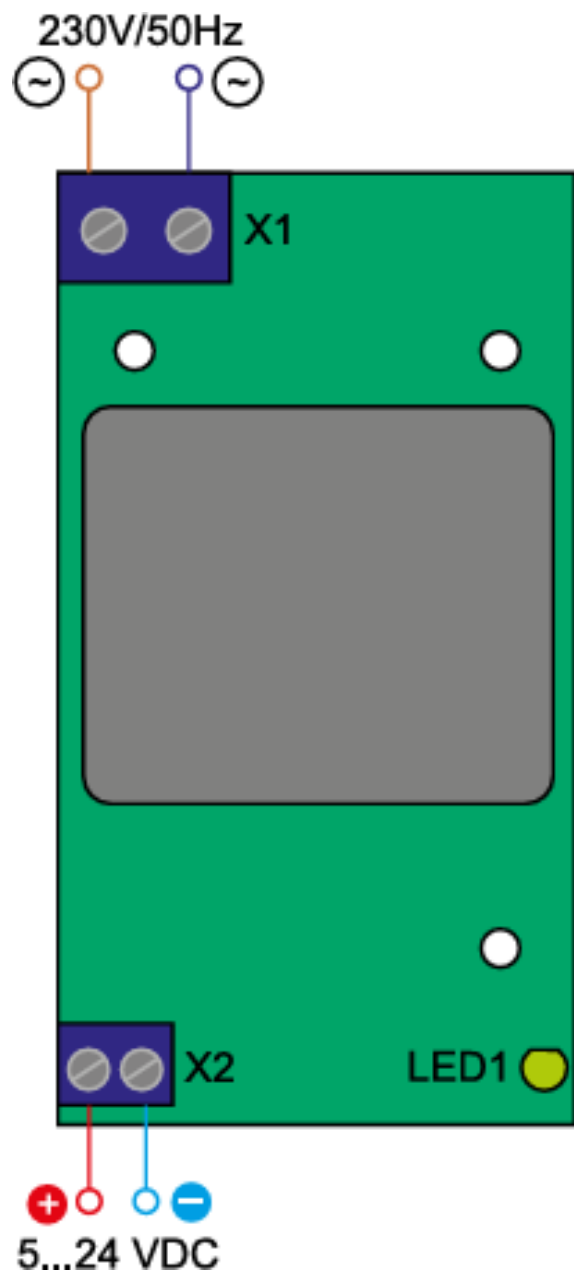


# Dodatkowe elementy zasilacza



# Montaż

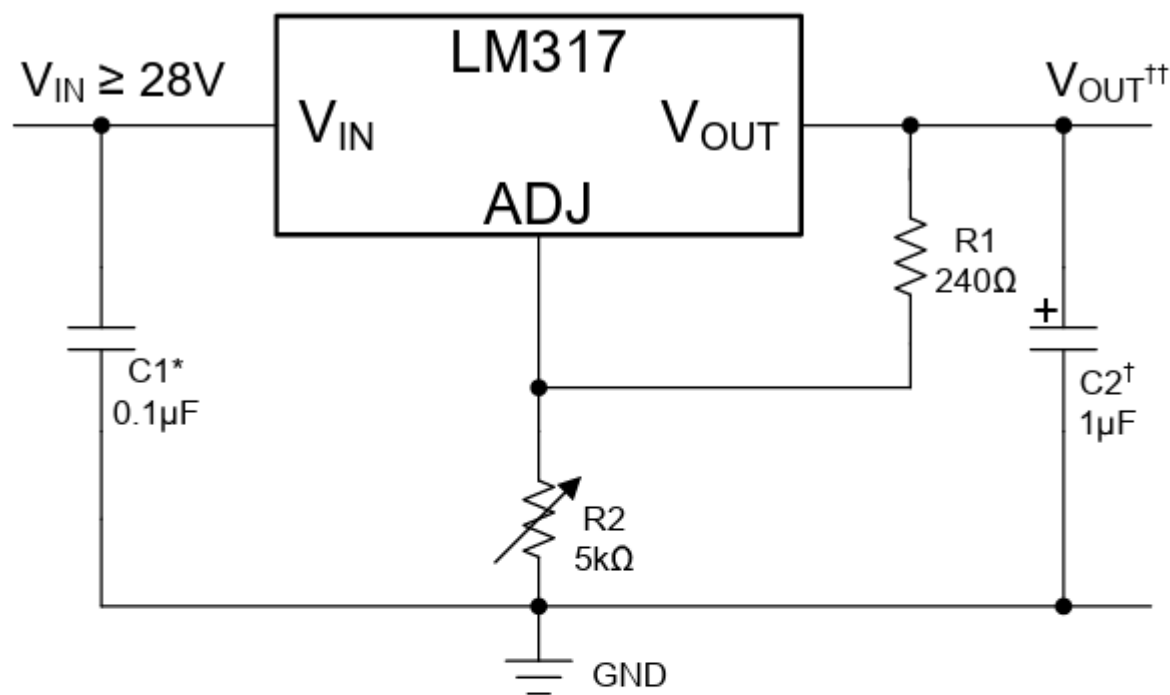




# Zasilacz regulowany

## 1 Features

- Output voltage range:
  - Adjustable: 1.25V to 37V
- Output current: 1.5A
- Line regulation: 0.01%/V (typ)
- Load regulation: 0.1% (typ)
- Internal short-circuit current limiting
- Thermal overload protection
- Output safe-area compensation (new chip)
- PSRR: 80dB at 120Hz for  $C_{ADJ} = 10\mu\text{F}$  (new chip)
- Packages:
  - 4-pin, SOT-223 (DCY)
  - 3-pin, TO-263 (KTT)
  - 3-pin, TO-220 (KCS, KCT), legacy chip

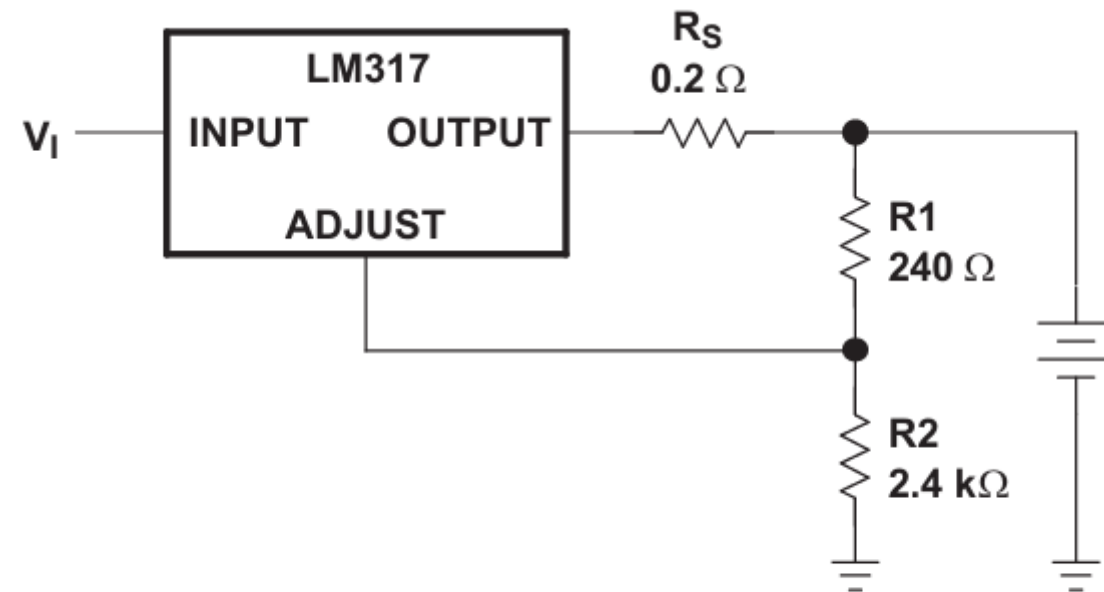


\*Needed if the device is more than 6 inches from filter capacitors.

†Optional, improves transient response.

††See [Equation 1](#).

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



**Battery-Charger Circuit**

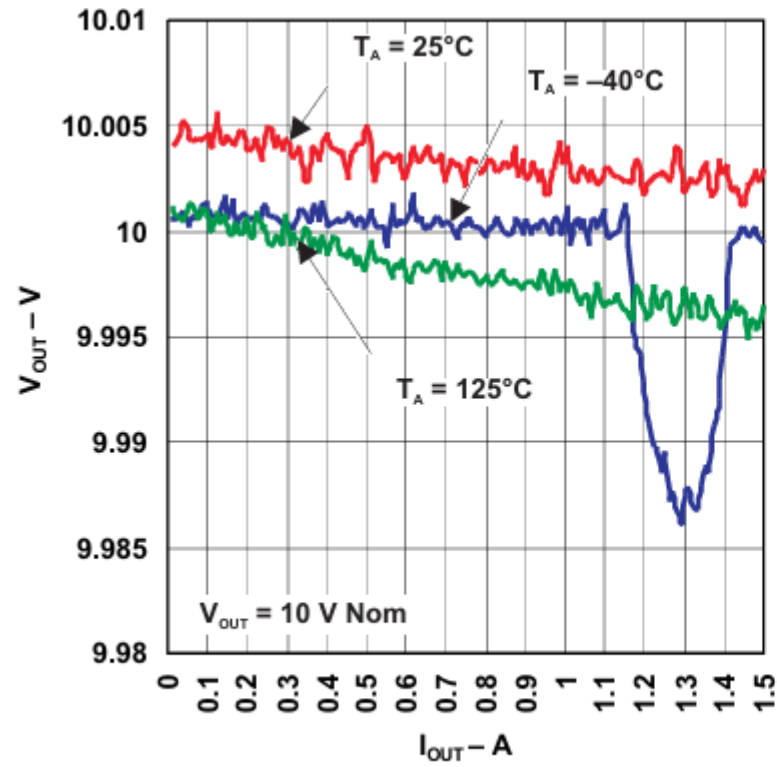


Figure 6-1. Load Regulation (Legacy Chip)

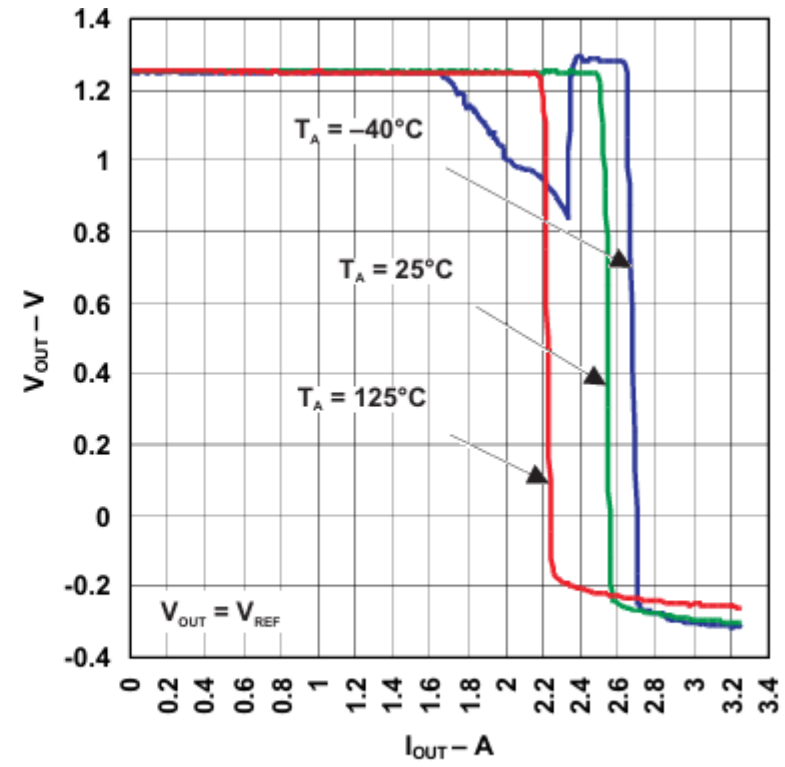
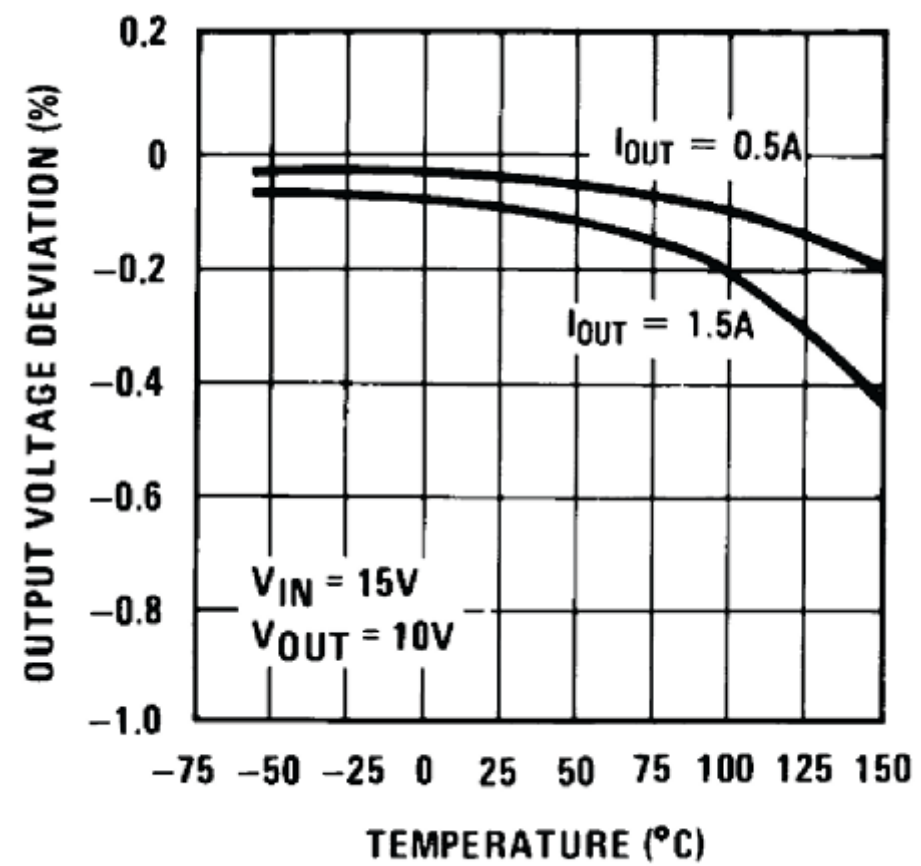
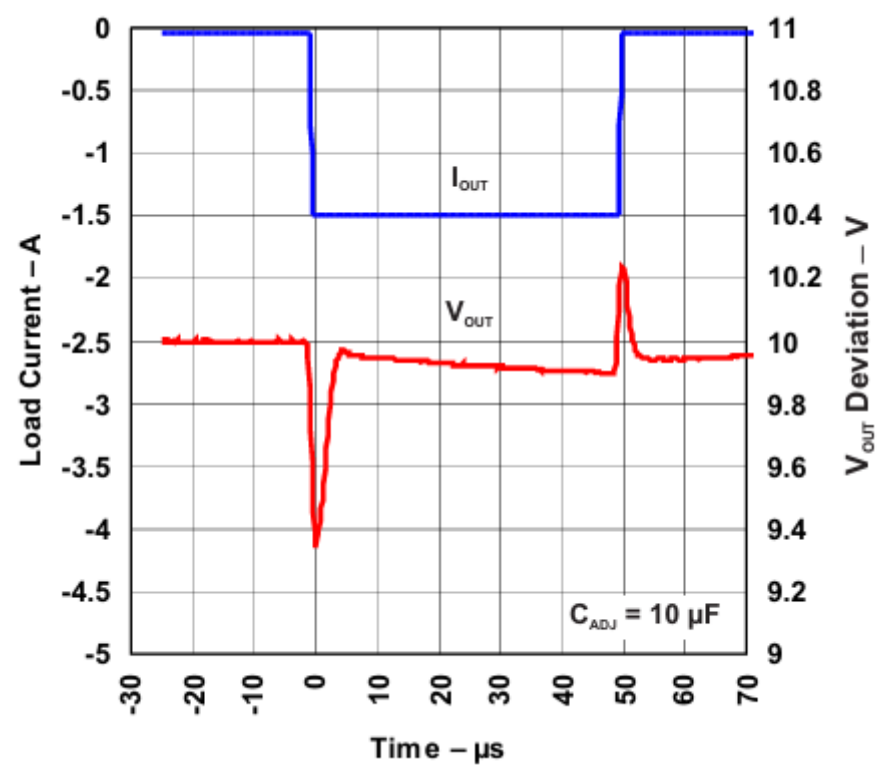
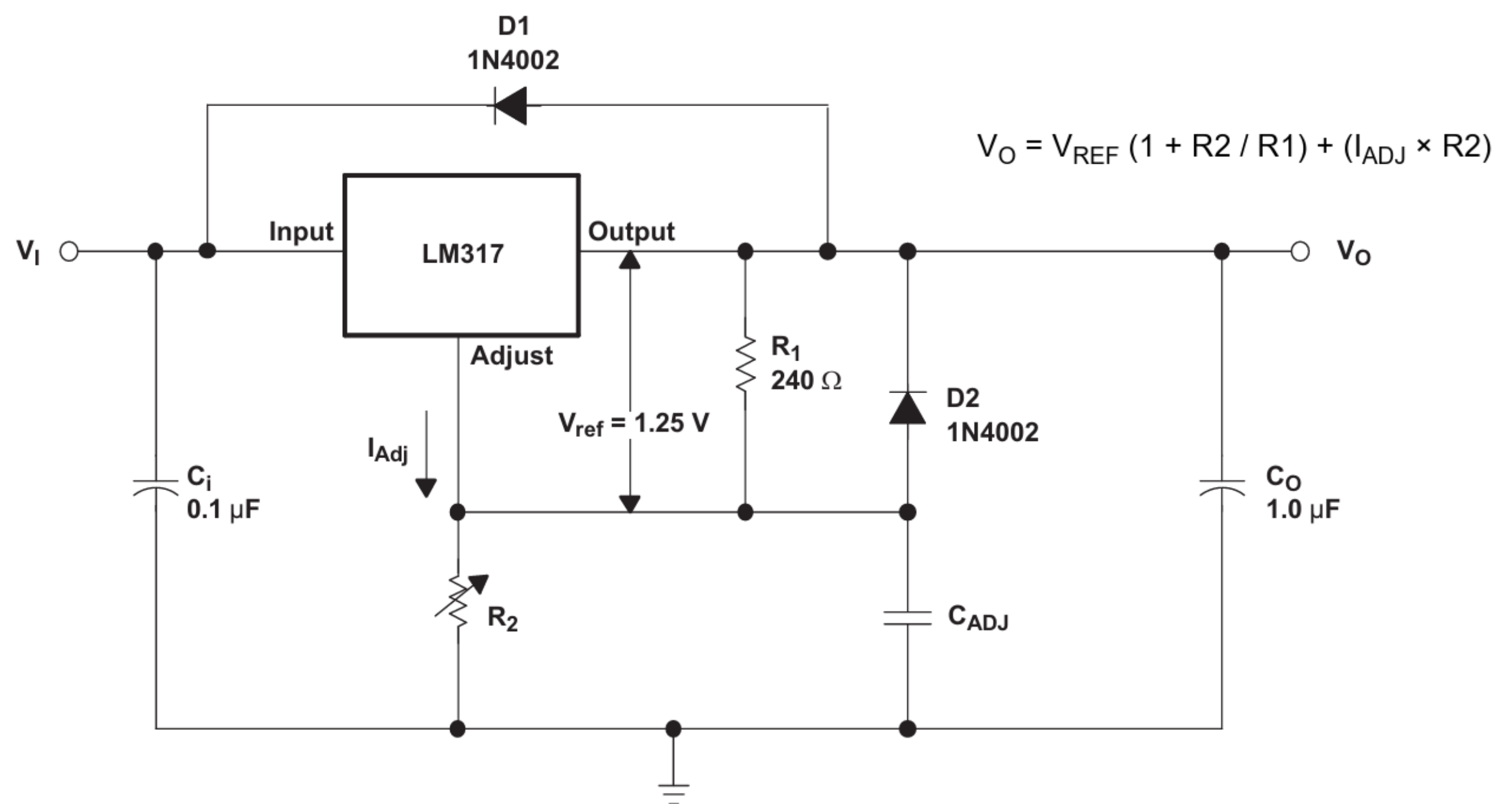


Figure 6-2. Load Regulation (Legacy Chip)







**Figure 8-1. Adjustable Voltage Regulator**

### 8.2.1 Design Requirements

- R1 and R2 are required to set the output voltage.
- Use  $C_{ADJ}$  to improve ripple rejection.  $C_{ADJ}$  prevents amplification of the ripple when the output voltage is adjusted higher. The impact of  $C_{ADJ}$  on the ripple rejection performance is captured in the [Electrical Characteristics](#) table.
- $C_i$  is recommended, particularly if the regulator is not in close proximity to the power-supply filter capacitors. A 0.1 $\mu$ F or 1 $\mu$ F ceramic or tantalum capacitor provides sufficient bypassing for most applications, especially when adjustment and output capacitors are used.
- $C_O$  improves transient response, but is not needed for stability.
- Protection diode D2 is recommended if  $C_{ADJ}$  is used. The diode provides a low-impedance discharge path to prevent the capacitor from discharging into the output of the regulator.
- Protection diode D1 is recommended if  $C_O$  is used. The diode provides a low-impedance discharge path to prevent the capacitor from discharging into the output of the regulator.

### 8.3.6 Battery-Charger Circuit

The series resistor limits the current output of the LM317, minimizing damage to the battery cell.

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

$$I_{\text{OUT}}(\text{short}) = \frac{1.25\text{V}}{R_S}$$

$$\text{Output Impedance} = R_S \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

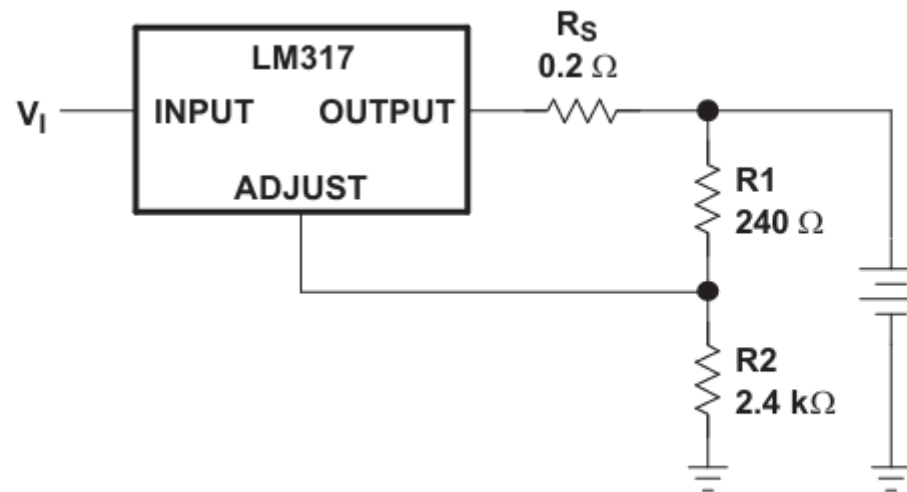


Figure 8-11. Battery-Charger Circuit

### 8.3.7 50mA, Constant-Current, Battery-Charger Circuit

Use the current-limit operation mode to trickle charge a battery at a fixed current.  $I_{\text{CHG}} = 1.25\text{V} \div 24\Omega$ . Make sure  $V_I$  is greater than  $V_{\text{BAT}} + 4.25\text{V}$ . ( $1.25\text{V}$  [ $V_{\text{REF}}$ ] +  $3\text{V}$  [headroom]). [Figure 8-12](#) shows a diagram of a battery-charger circuit.

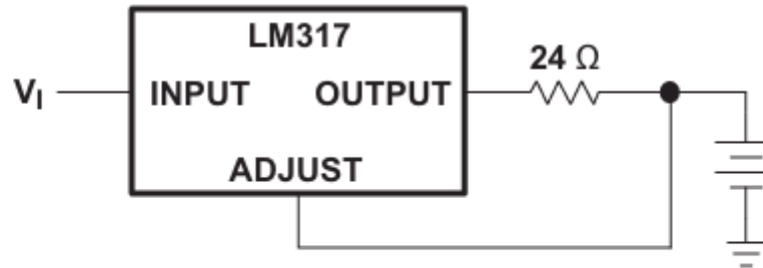


Figure 8-12. 50mA, Constant-Current, Battery-Charger Circuit

### 8.3.9 AC Voltage-Regulator Circuit

Figure 8-14 shows a circuit employing two LM317 devices. These two LM317 devices regulate both the positive and negative swings of a sinusoidal AC input.

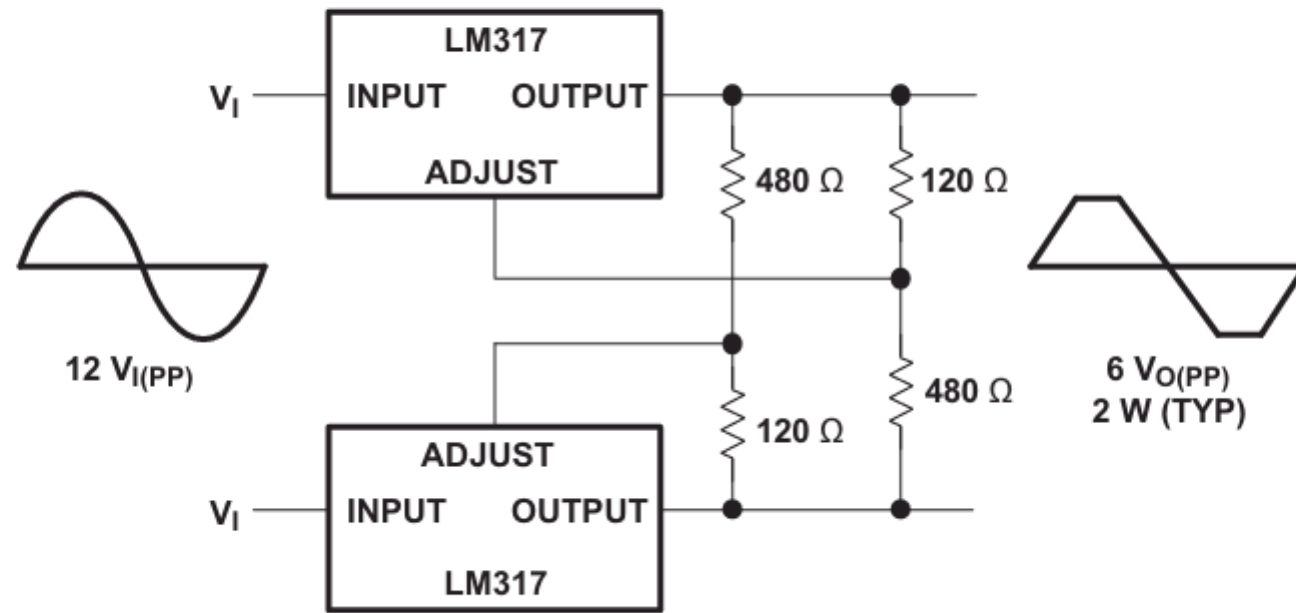


Figure 8-14. AC Voltage-Regulator Circuit



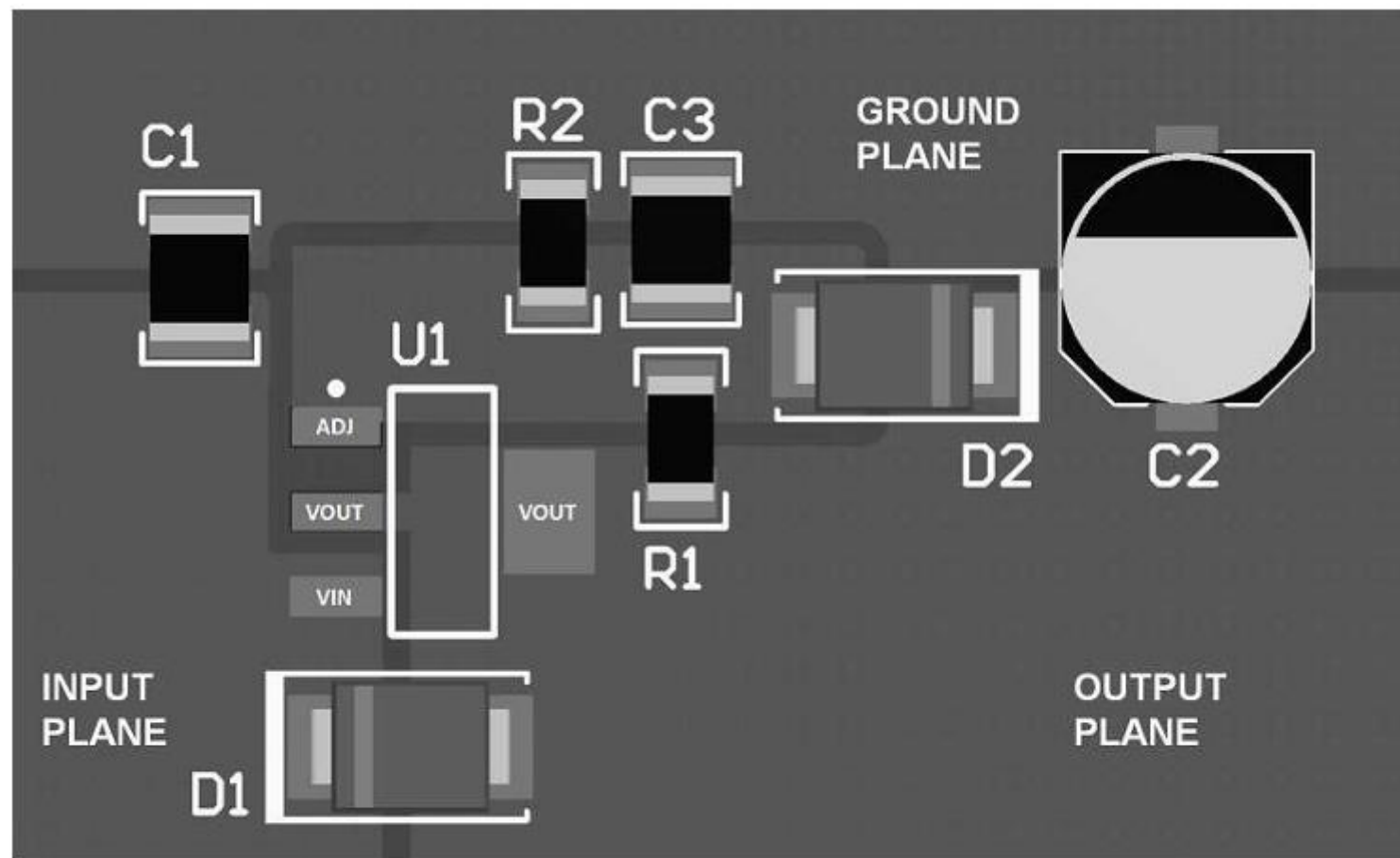


Figure 8-24. SOT-223 Layout Example (New Chip)

# TPS7A05 1- $\mu$ A Ultralow $I_Q$ , 200-mA, Low-Dropout Regulator in a Small-Size Package

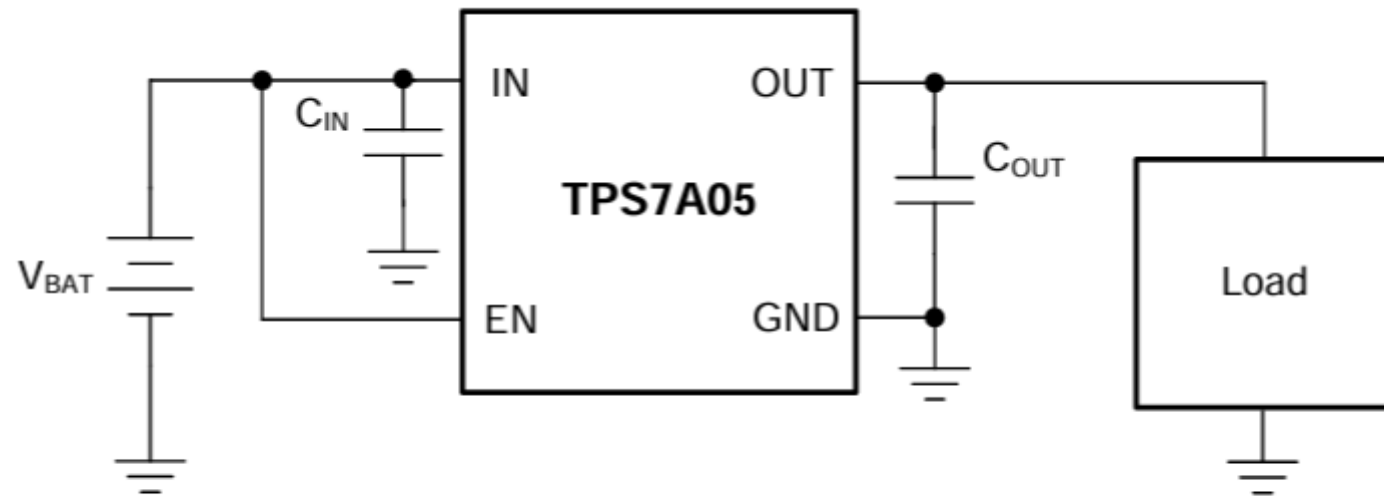


## 2 Applications

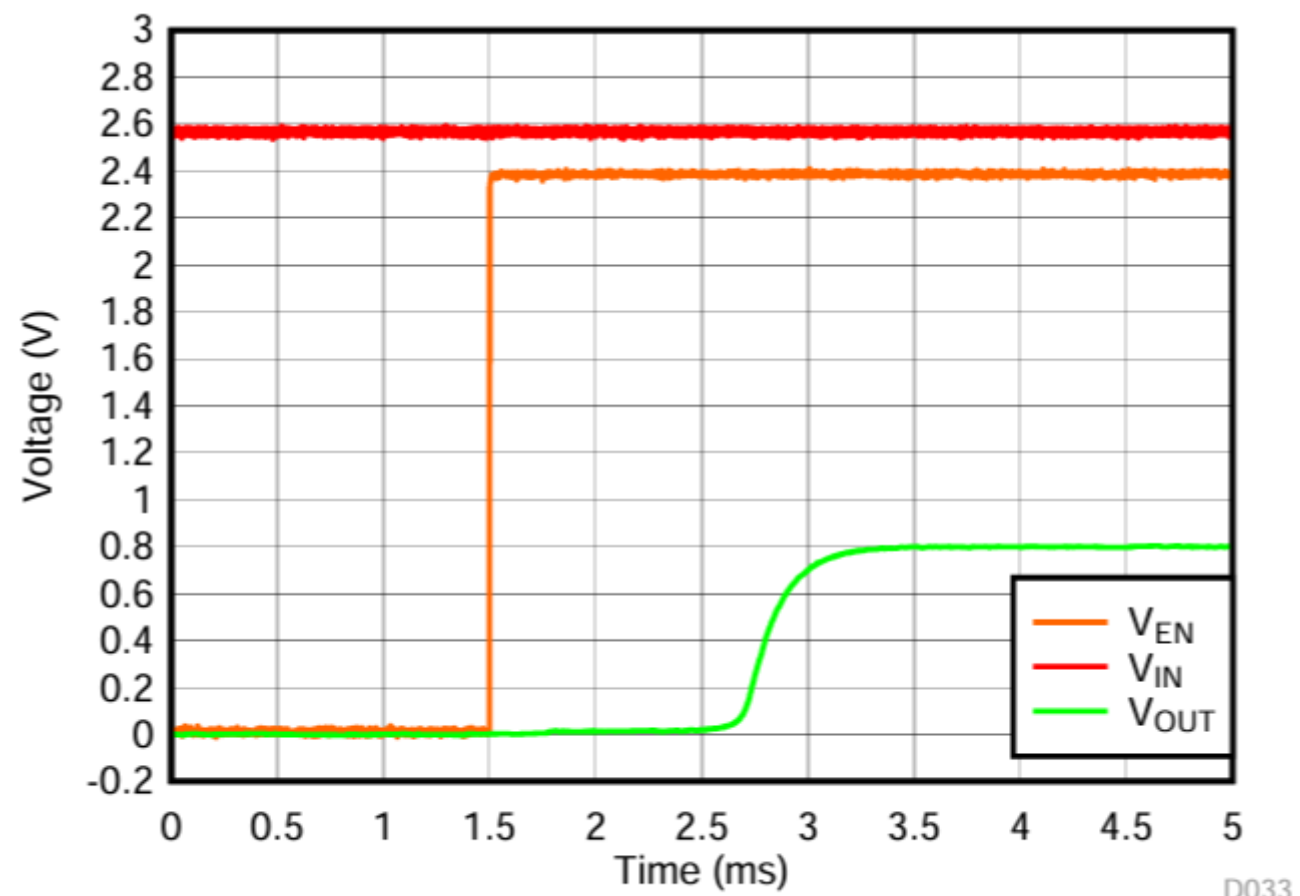
- Wearable electronics
- Ultrabooks, tablets, E-readers
- Always-on power supplies
- Set-top boxes
- Gaming controllers, remote controls, toys, drones
- Wireless handsets and smart phones
- Portable and battery-powered equipment

## 1 Features

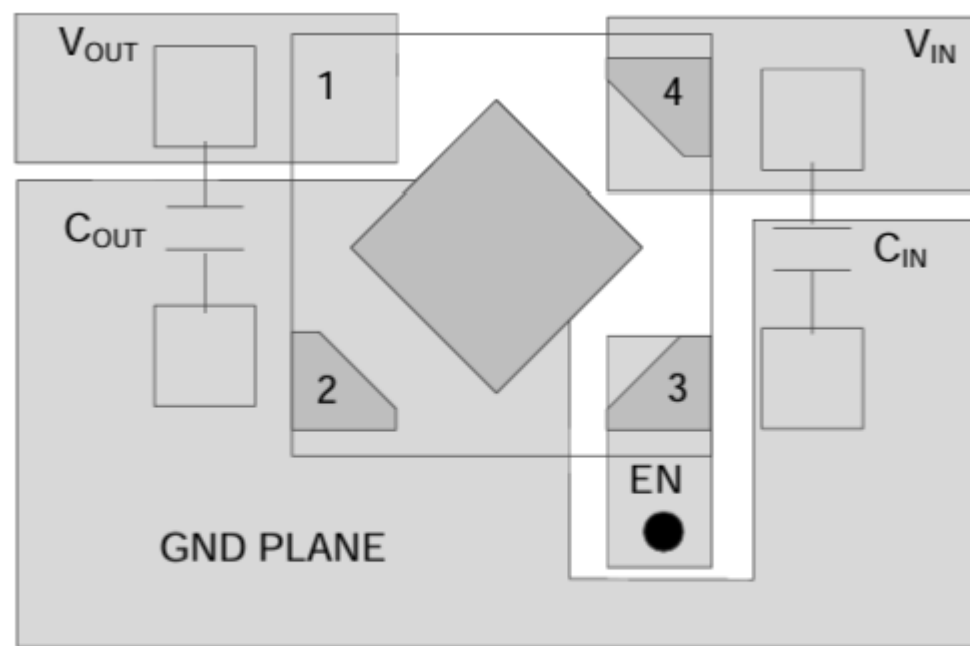
- Ultralow  $I_Q$ : 1  $\mu\text{A}$  (typ), 3  $\mu\text{A}$  (max)
  - $I_{\text{GND}}$ : 6  $\mu\text{A}$  (typ) at 200 mA
- Excellent transient response
- Packages:
  - 1.0-mm  $\times$  1.0-mm X2SON (4)
  - 0.65-mm  $\times$  0.65-mm DSBGA (4)
  - SOT-23 (5)
  - SOT-23 (3)
- Input voltage range: 1.4 V to 5.5 V
- Output accuracy: 1% typical, 3% maximum
- Available in fixed-output voltage:
  - 0.8 V to 3.3 V
- Very low dropout:
  - 235 mV (max) at 200 mA (3.3 V<sub>OUT</sub>)
- Active output discharge
- Foldback current limit
- Stable with a 0.47- $\mu\text{F}$  or larger capacitor



**Figure 53. Operation From the Battery Input Supply**



$V_{OUT} = 0.8 \text{ V}$ ,  $I_{OUT} = 30 \text{ mA}$

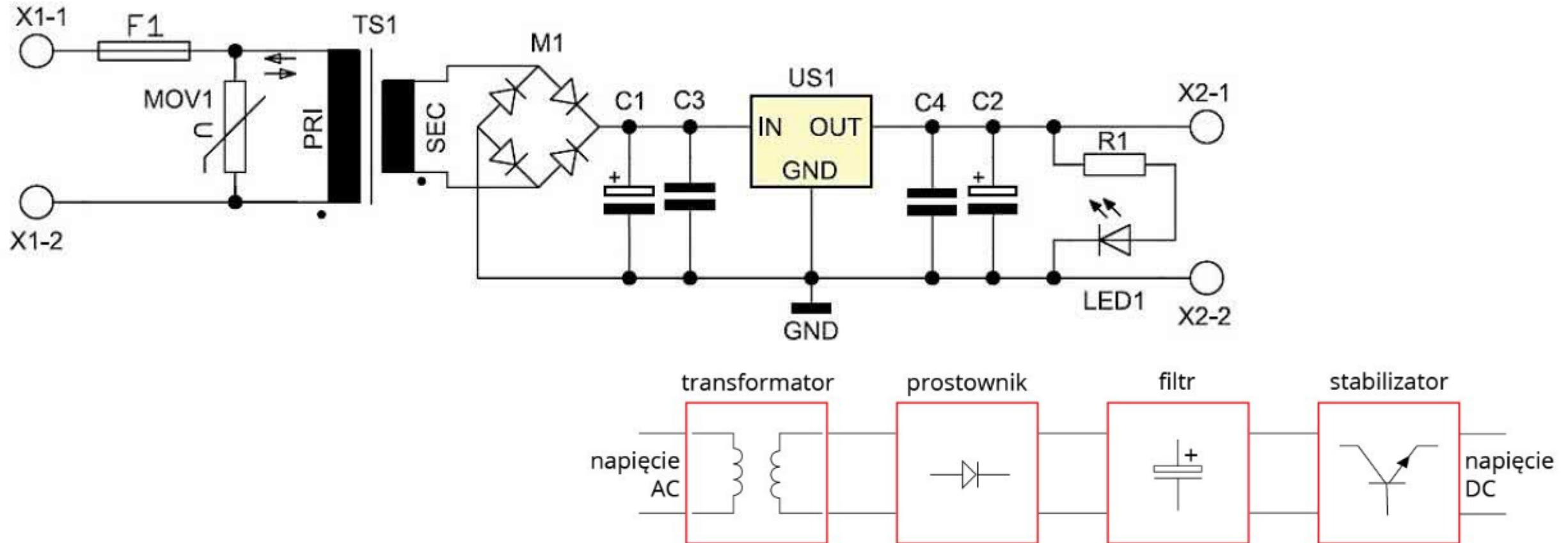


● Represents via used for application specific connections

**Figure 57. Layout Example for the DQN Package**

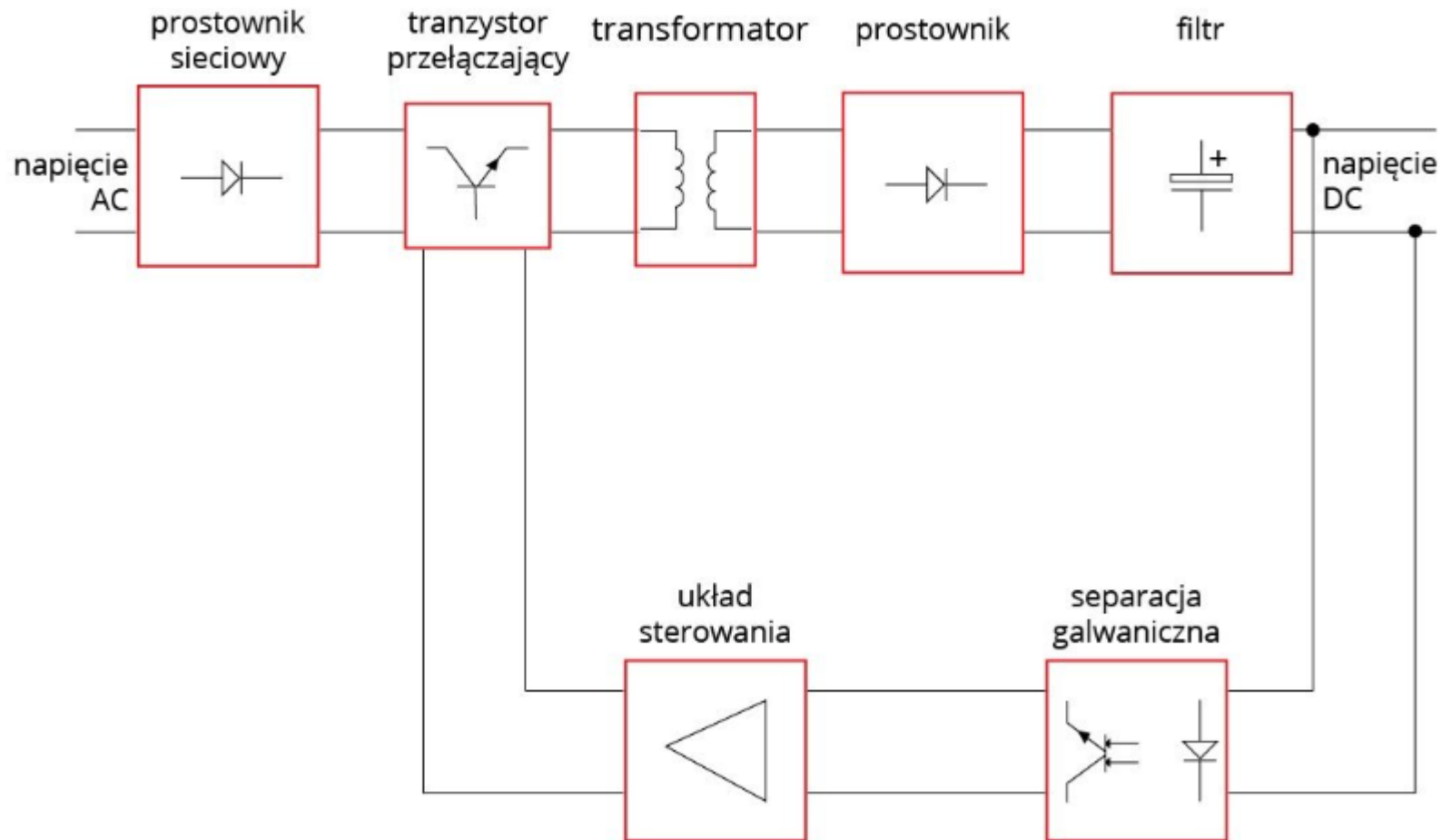
# Zasilacze impulsowe

- Kluczowe elementy działają tak samo...



# Zasilacze impulsowe

- Kluczowe elementy działają tak samo...



# Zasilacz liniowy vs. impulsowy

- **Zasilacz liniowy**

- Zalety:

- *Stosunkowo prosta konstrukcja*
- *Niskie szумы i tętnienia na wyjściu*
- *Szybka reakcja przejściowa*

- Wady:

- *Mniejsza sprawność niż w zasilaczu impulsowym*
- *Ze względu na wielkość transformatora – duży rozmiar i ciężar*
- *Duże radiatory dodatkowo zwiększające masę zasilacza*
- *Zazwyczaj osiąganie niższych wartości mocy, napięcia i natężenia prądu*

- **Zasilacz impulsowy**

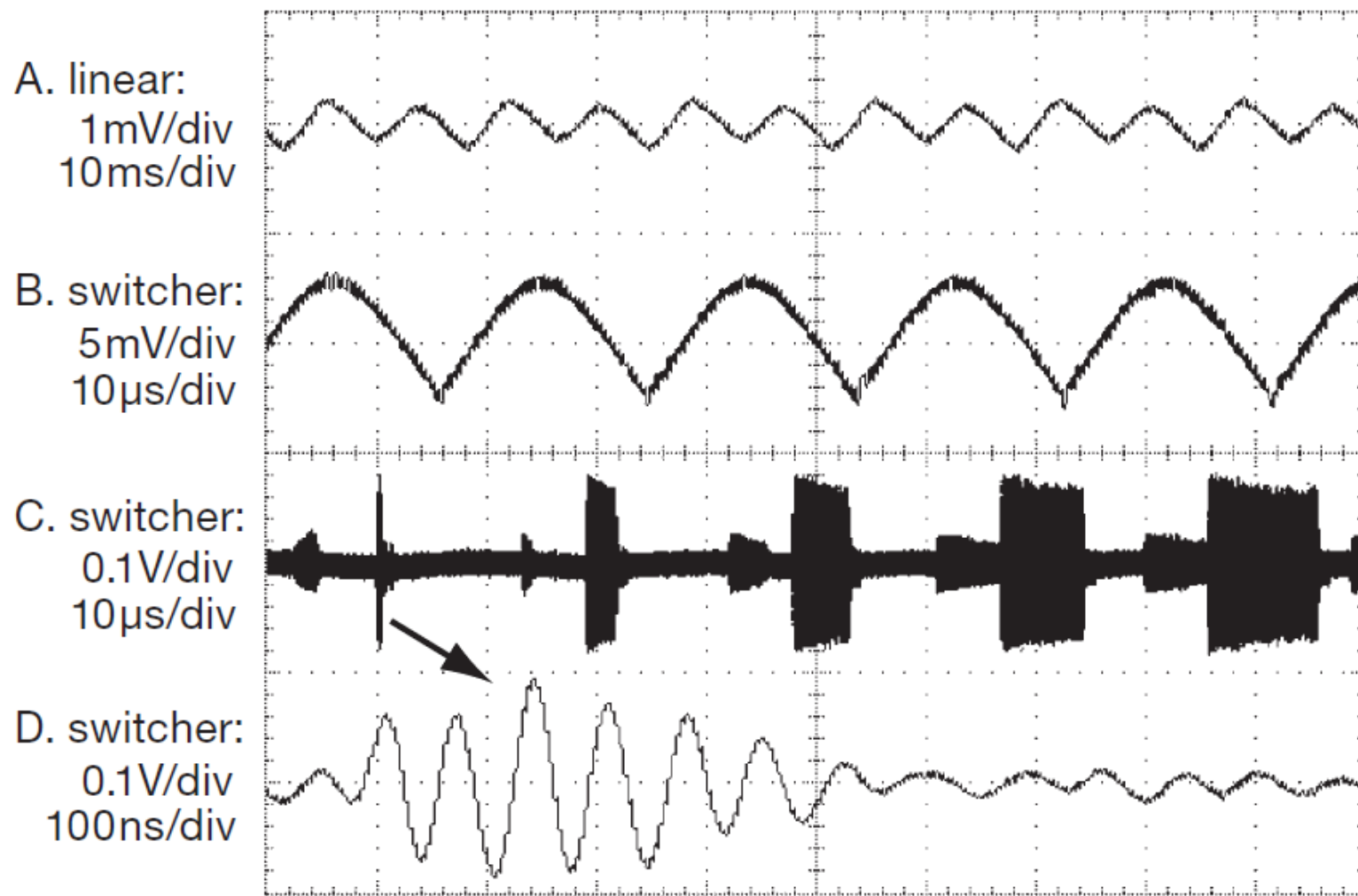
- Zalety:

- *Wysoka sprawność - przekraczająca 90%*
- *Mały rozmiar i niewielki ciężar*
- *Łatwość wygenerowania dużych napięć i prądów*
- *Przy dużych mocach zdecydowanie lepszy stosunek kosztów za każdy wat [zł/W]*
- *Odporny na krótkie zaniki napięcia*

- Wady:

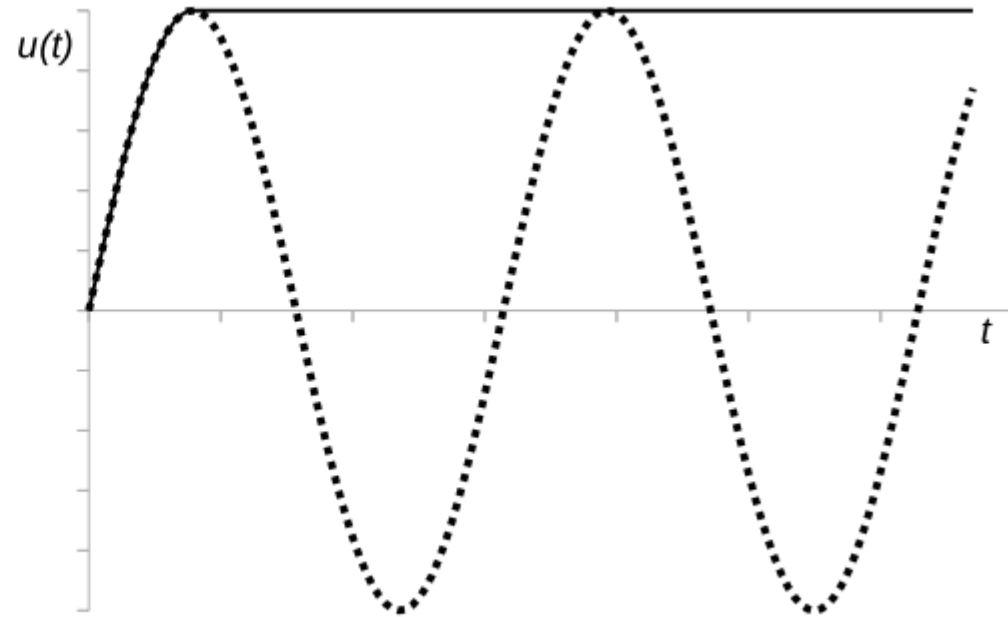
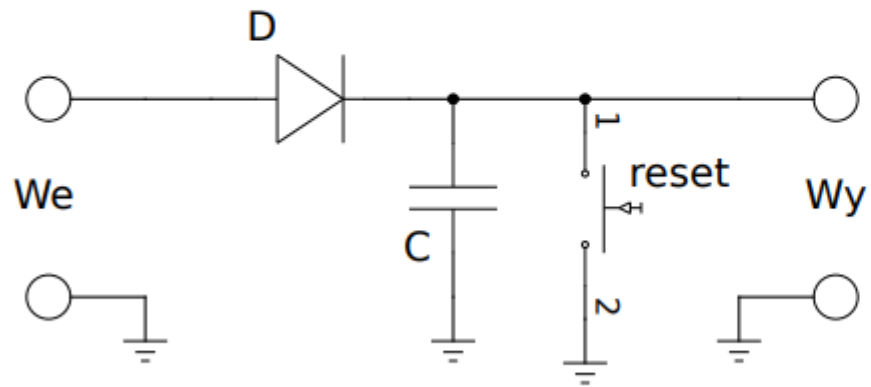
- *Skomplikowana budowa*
- *Wyższe szумы i tętnienia niż w zasilaczu liniowym*
- *Zawartość dużej ilości wyższych harmoniczných*
- *Wolniejsza reakcja*

# Zasilacz liniowy vs. impulsowy



# Diody – inne układy

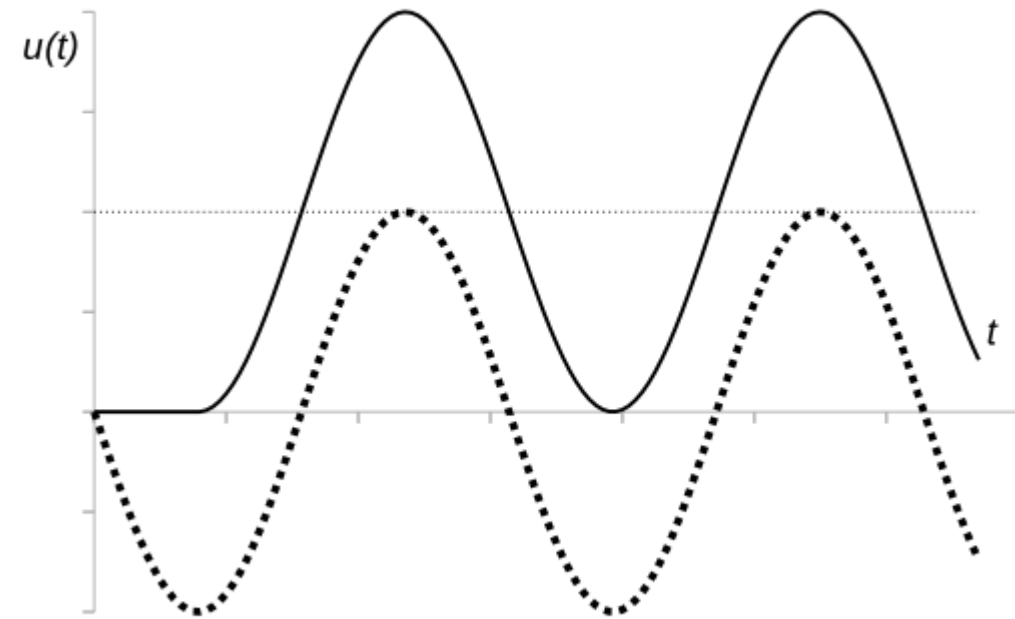
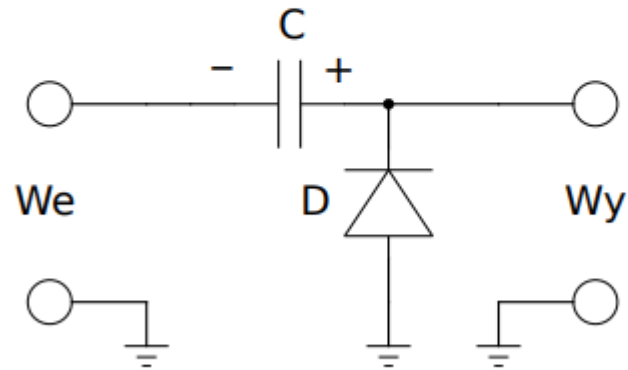
## DETEKTOR SZCZYTOWY



# Diody – inne układy

## DETEKTOR SZCZYTOWY

Alternatywna realizacja detektora amplitudy

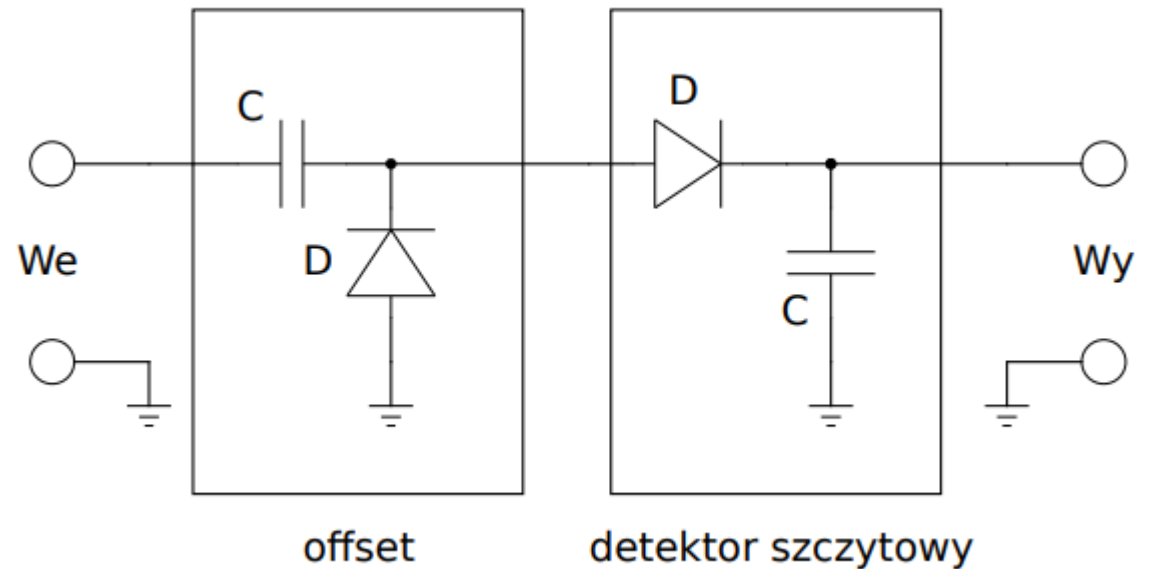


# Diody – inne układy

## PODWAJACZ NAPIĘCIA i...

Fakt, że w poprzednim układzie napięcie szczytowe jest równe podwojonej amplitudzie napięcia wejściowego, można wykorzystać do podwojenia napięcia wyjściowego, stosując znany już detektor szczytowy.

Stosując kaskadę układów przesuwających z naprzemiennie ułożonymi diodami, możemy dowolnie zwielokrotnić napięcie wejściowe.



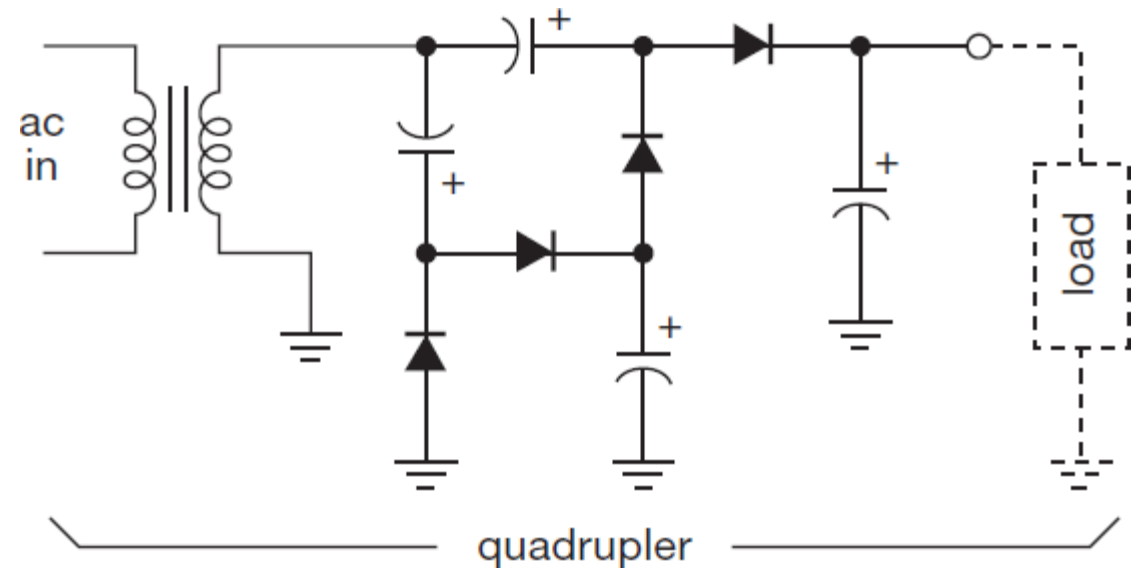
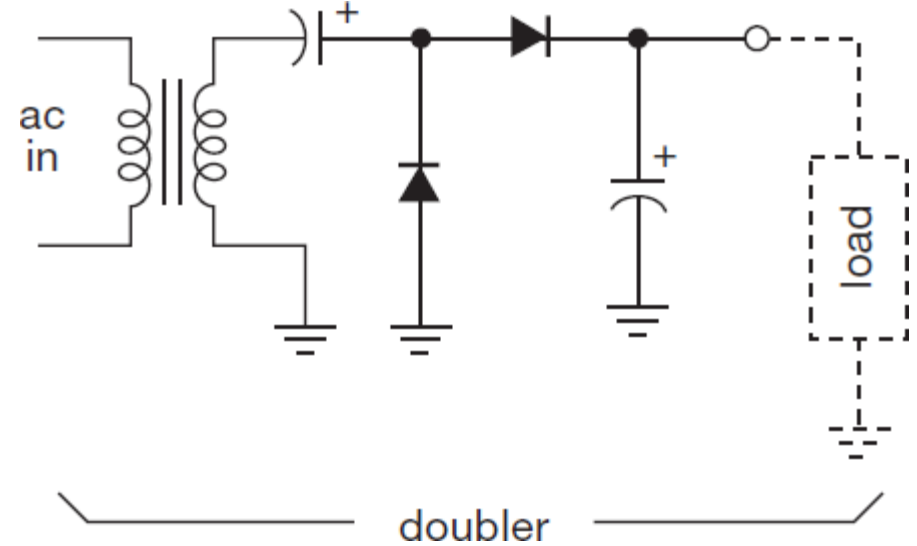
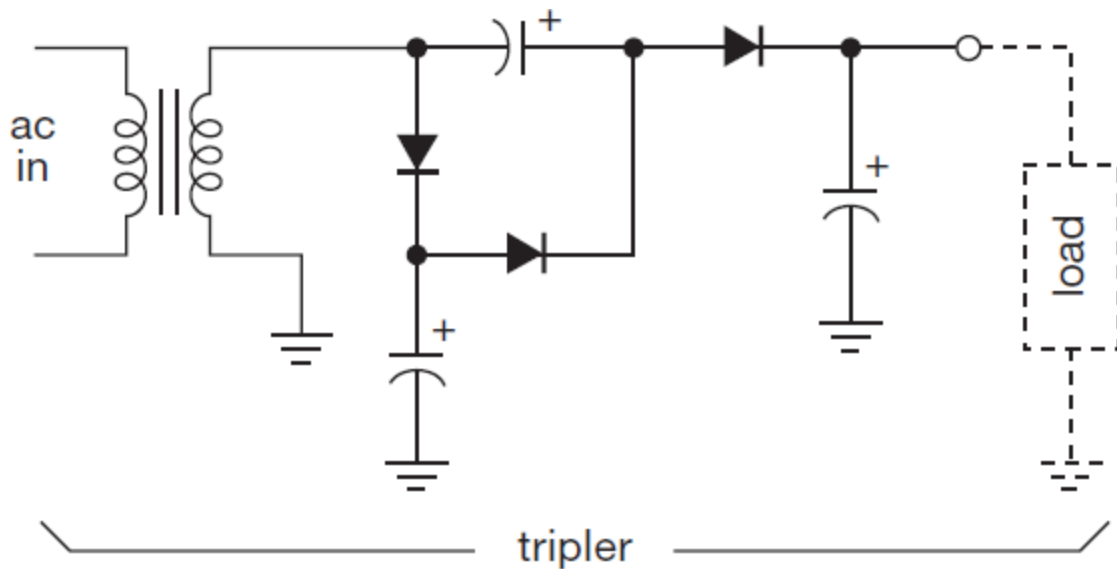
# Diody – inne układy

## ... POWIELACZE NAPIĘCIA

Układy takie noszą nazwę powielaczy napięcia - w praktyce spotyka się układy powielające od dwóch do dwudziestu razy.

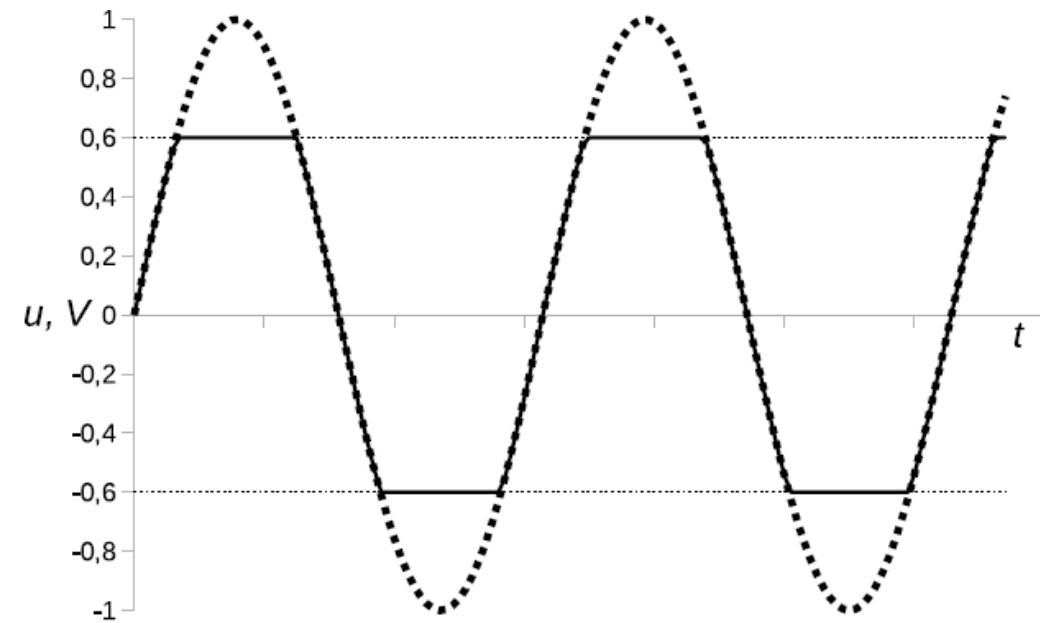
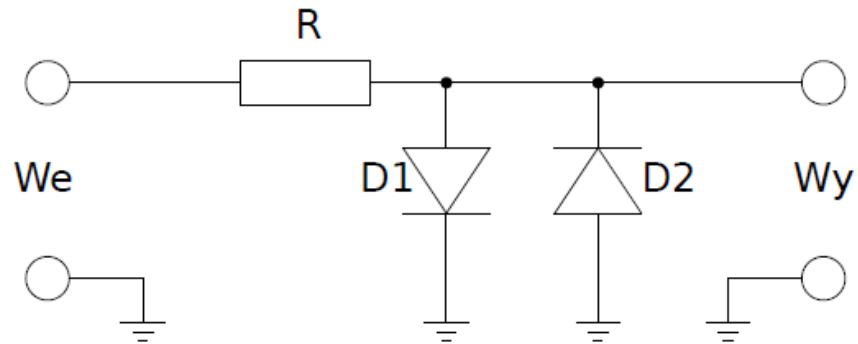
### GDZIE?

Duże napięcia, niskie prądy.



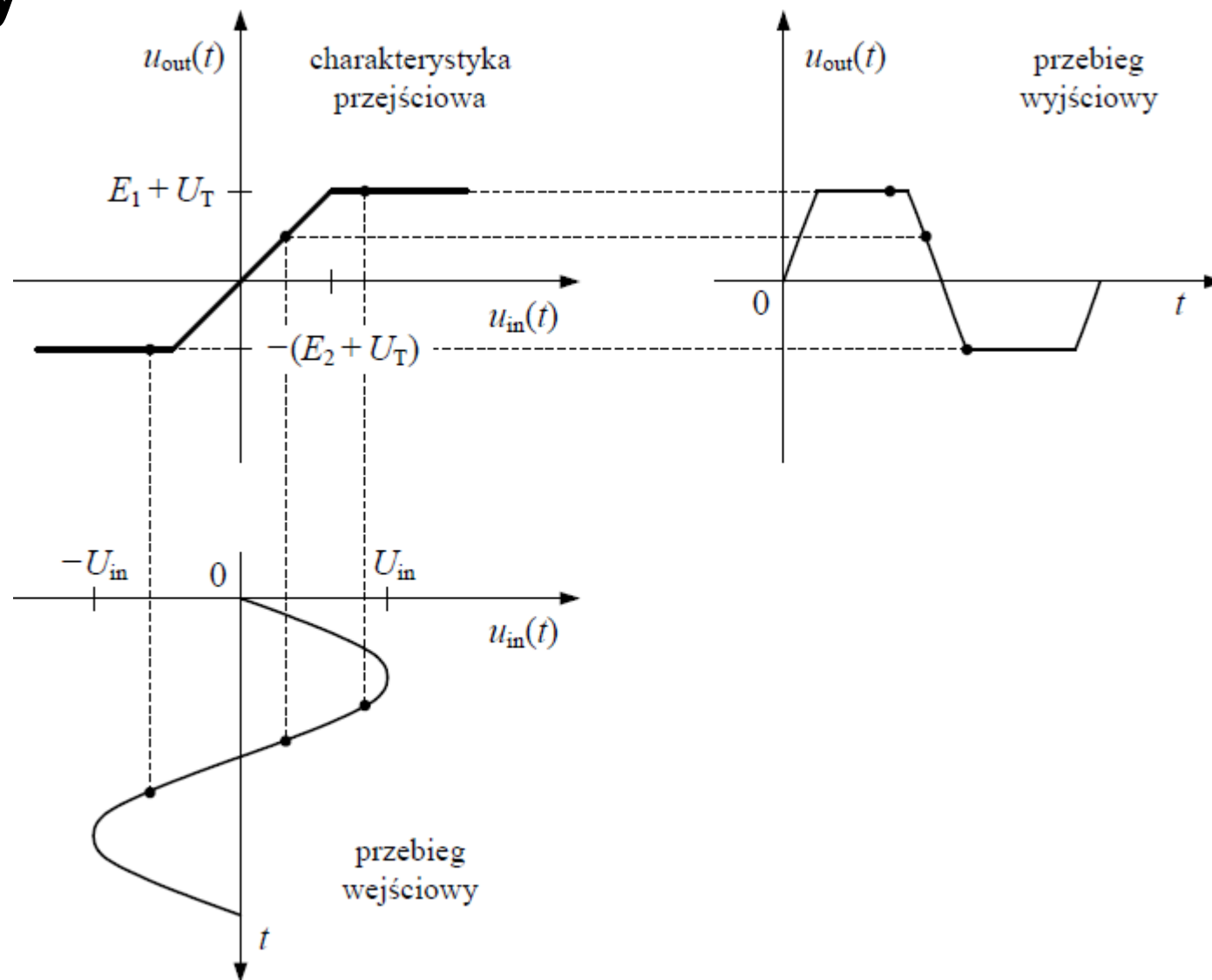
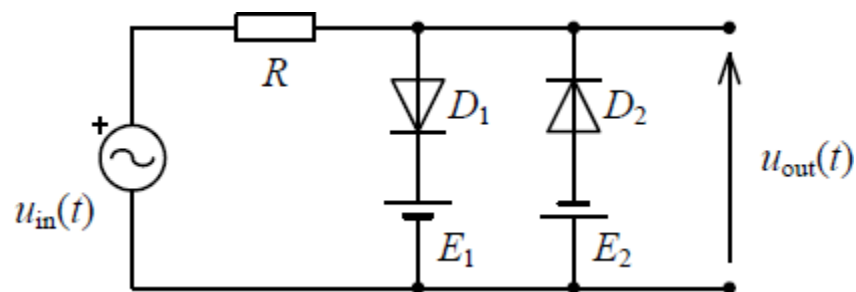
# Diody – inne układy

## OGRANICZNIKI AMPLITUDY



# Diody – inne układy

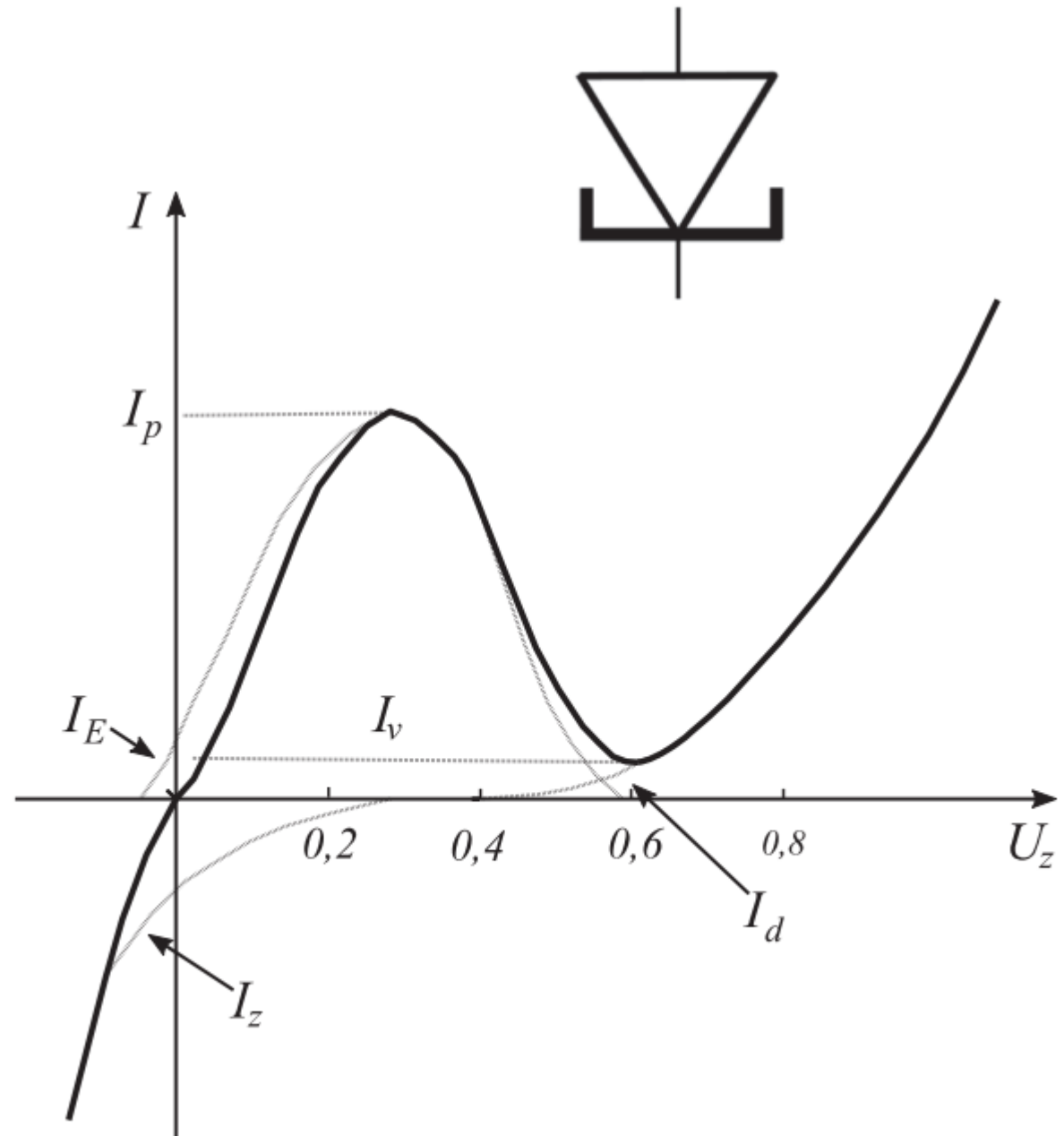
## OGRANICZNIKI AMPLITUDY



# Diody tunelowe

Są to diody, w których wykorzystywane jest zjawisko zmian pojemności warstwy zaporowej złącza p-n pod wpływem przyłożonej polaryzacji w kierunku zaporowym.

Ujemna charakterystyka diody powoduje powstanie właściwości korzystnych do wykorzystania jej przy konstruowaniu generatorów bardzo wielkich częstotliwości (rzędu GHz).



# Diody Schottky'ego

Jest to dioda powstająca na styku półprzewodnik – metal. Odpowiednio dobrany materiał może utworzyć złącze o charakterystyce prądowo-napięciowej podobnej do charakterystyki normalnego złącza p-n.

Korzystną cechą jest też małe napięcie w kierunku przewodzenia, wynoszące dla krzemu Si = 0,4 – 0,5 V.

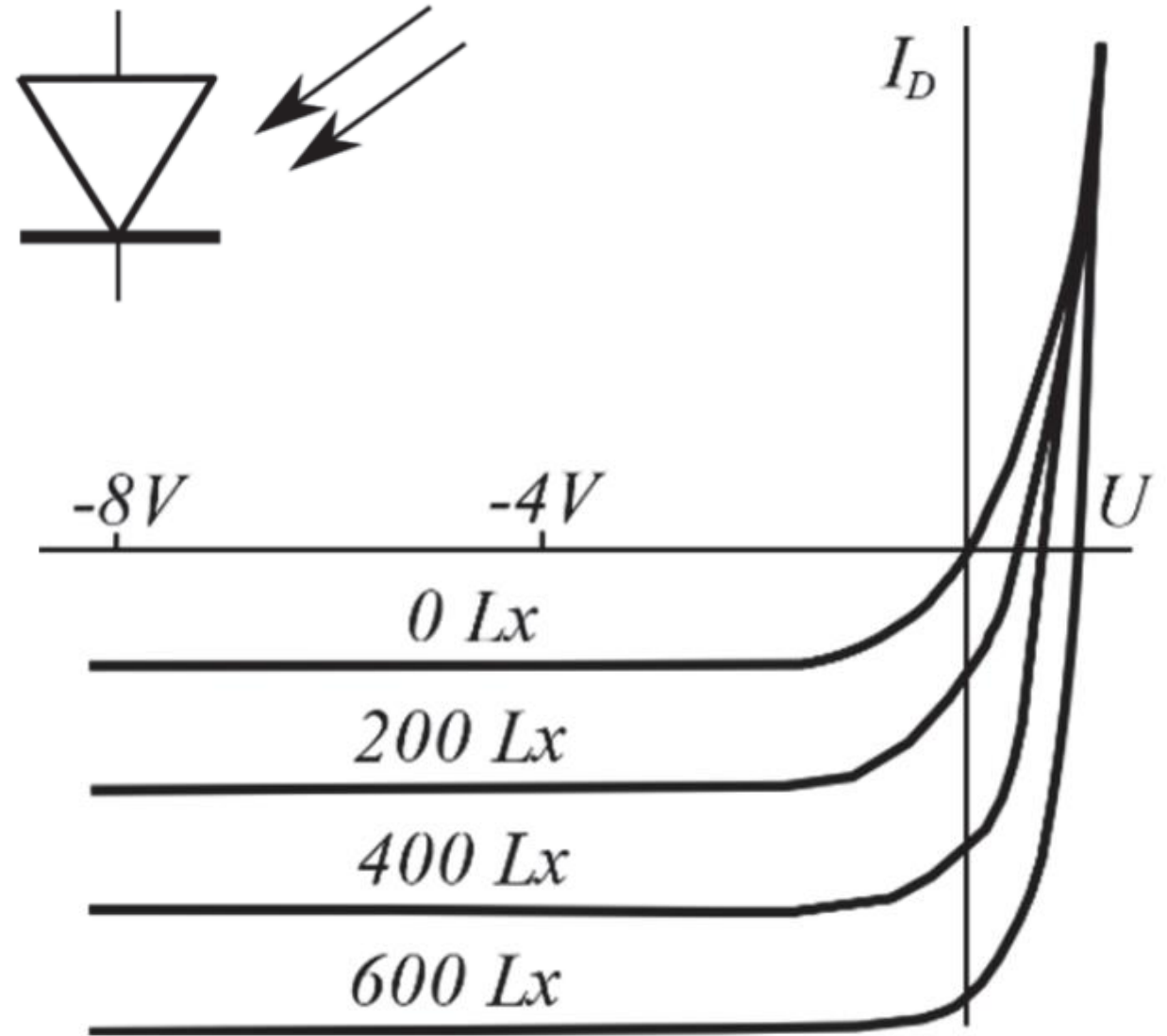
Ponieważ nie ma magazynowania nośników w metalu, nie występuje pojemność dyfuzyjna i dioda taka bardzo szybko przełącza. Nadaje się więc przede wszystkim do tworzenia szybkich kluczy przełączających pomiędzy dwoma stanami: niskim i wysokim, czyli do realizacji szybkich funkcyj przełączających w technice cyfrowej.



## Zanim o fotodetektorach...

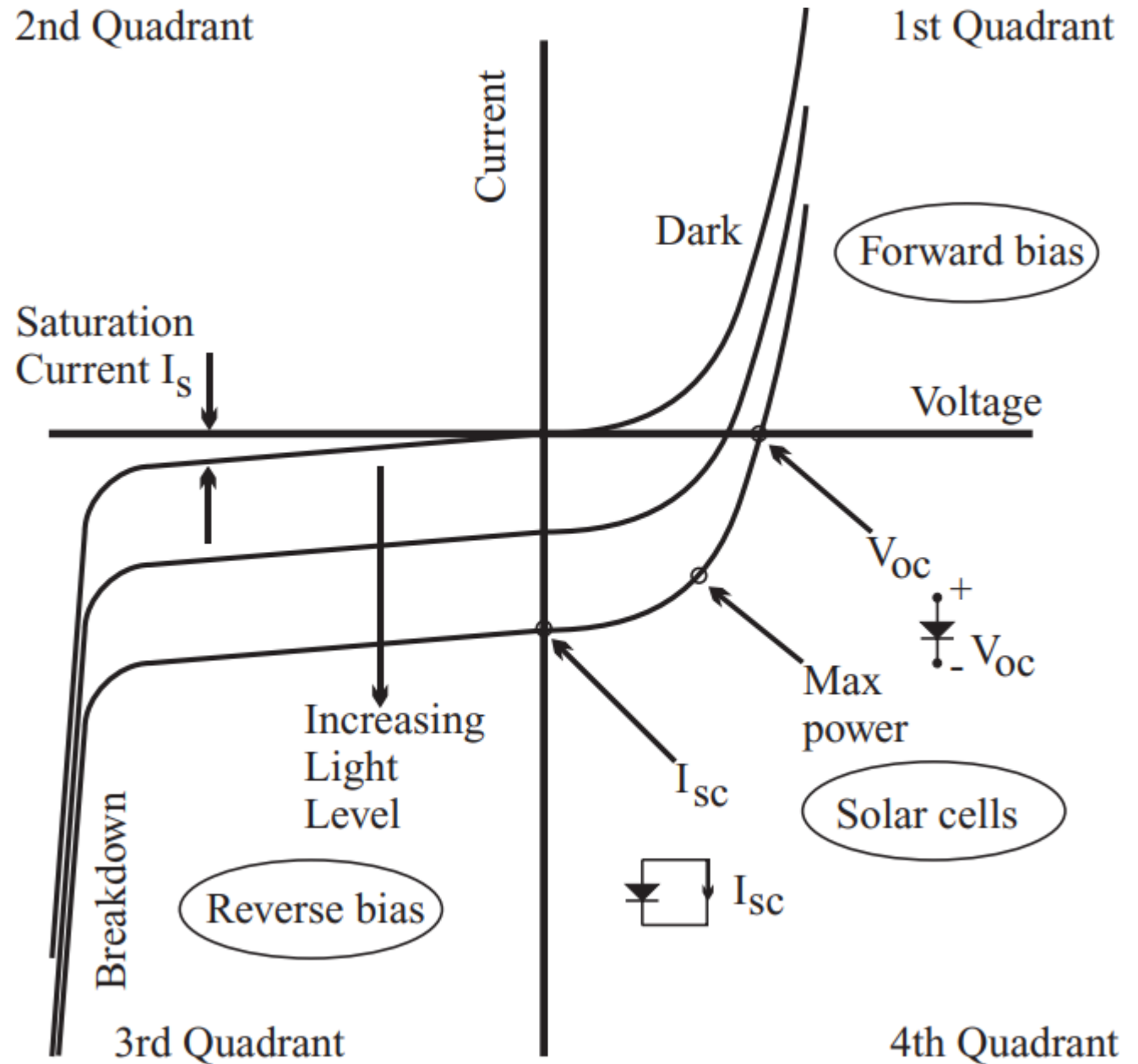
Fotodioda jest diodą, której parametry elektryczne zależą od wartości natężenia padającego światła.

Wykorzystując ogromny zestaw fotodiod, można zbudować panel fotowoltaiczny.

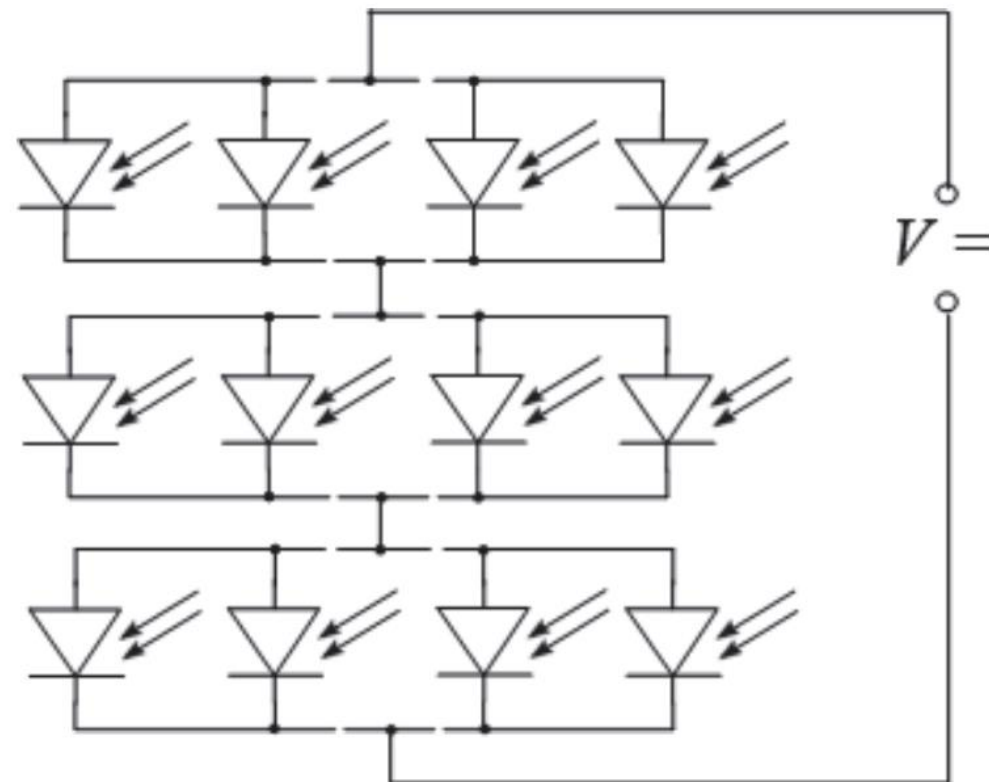
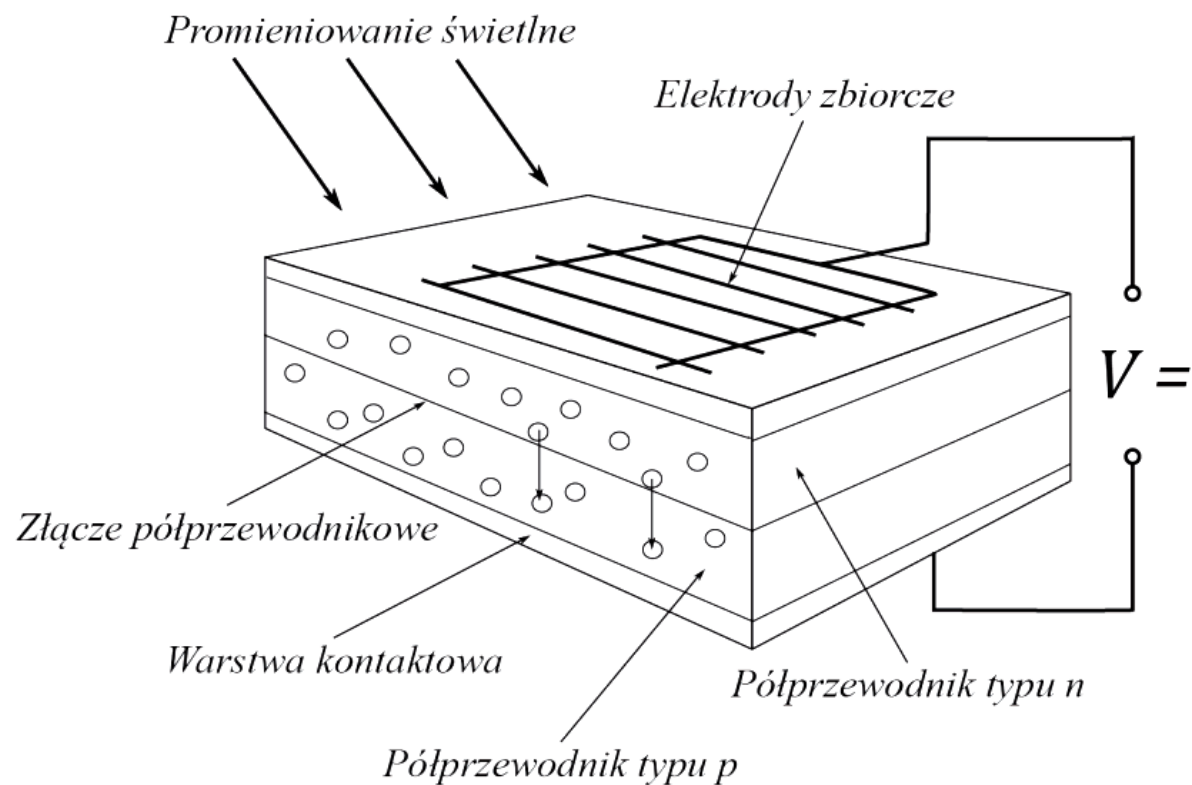


W czwartej ćwiartce charakterystyki fotodiody możemy uzyskać z niej moc.

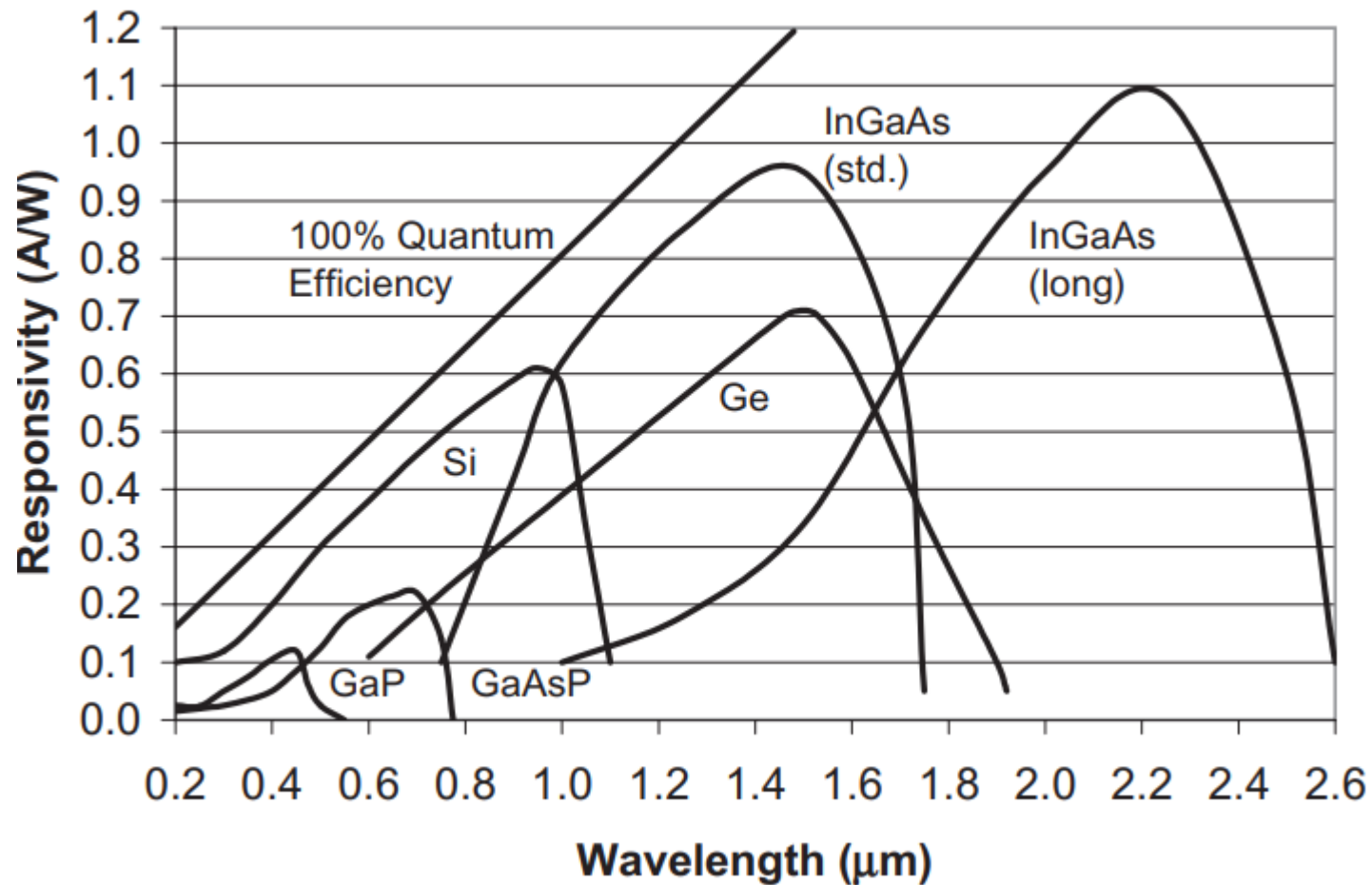
To właśnie obszar, w którym projektowane są ogniwa słoneczne. Aby uzyskać najwyższą wydajność, powinniśmy zdefiniować punkt pracy poprzez dobór rezystancji obciążenia, aby zmaksymalizować moc.



Panel słoneczny to w istocie zestaw fotodiod połączonych równolegle (dla zwiększenia prądu) oraz szeregowo (dla zwiększenia napięcia).



Fotodiody z różnych materiałów półprzewodnikowych wykazują czułość w różnych zakresach długości fal:



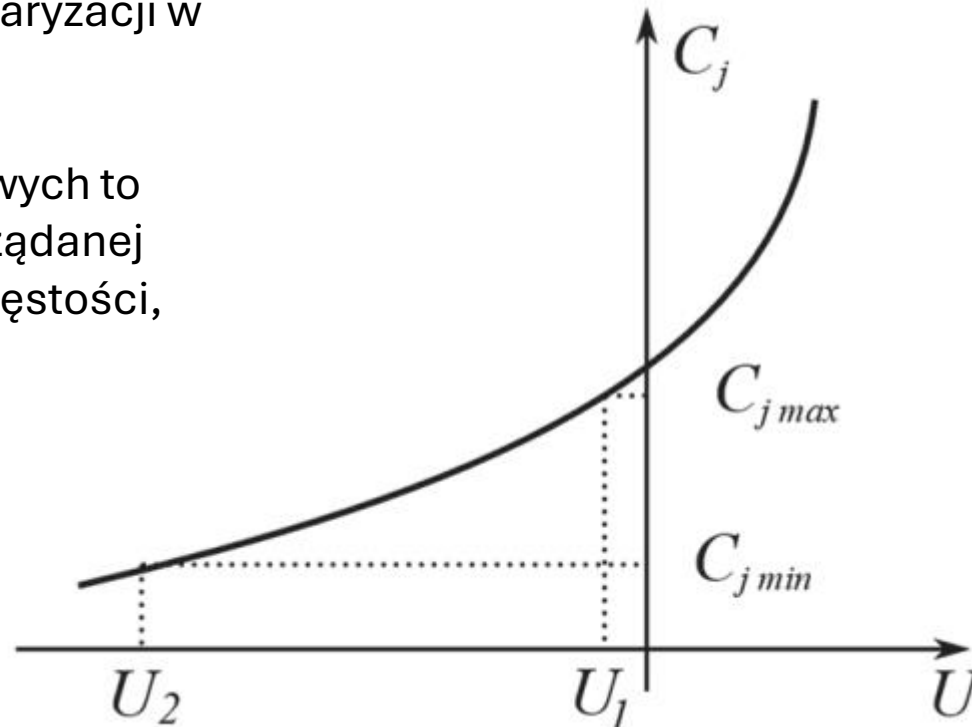
100-procentowa wydajność kwantowa oznacza, że jeden foton wytwarza jedną parę dziura-elektron.

# Diody pojemnościowe — warikapy



Są to diody, w których wykorzystywane jest zjawisko zmian pojemności warstwy zaporowej złącza p-n pod wpływem przyłożonej polaryzacji w kierunku zaporowym.

Obszary zastosowań diod pojemnościowych to układy automatycznego dostrojenia do żądanej częstotliwości, nadajniki z modulacją częstotliwości, generatory o regulowanej częstotliwości itp.

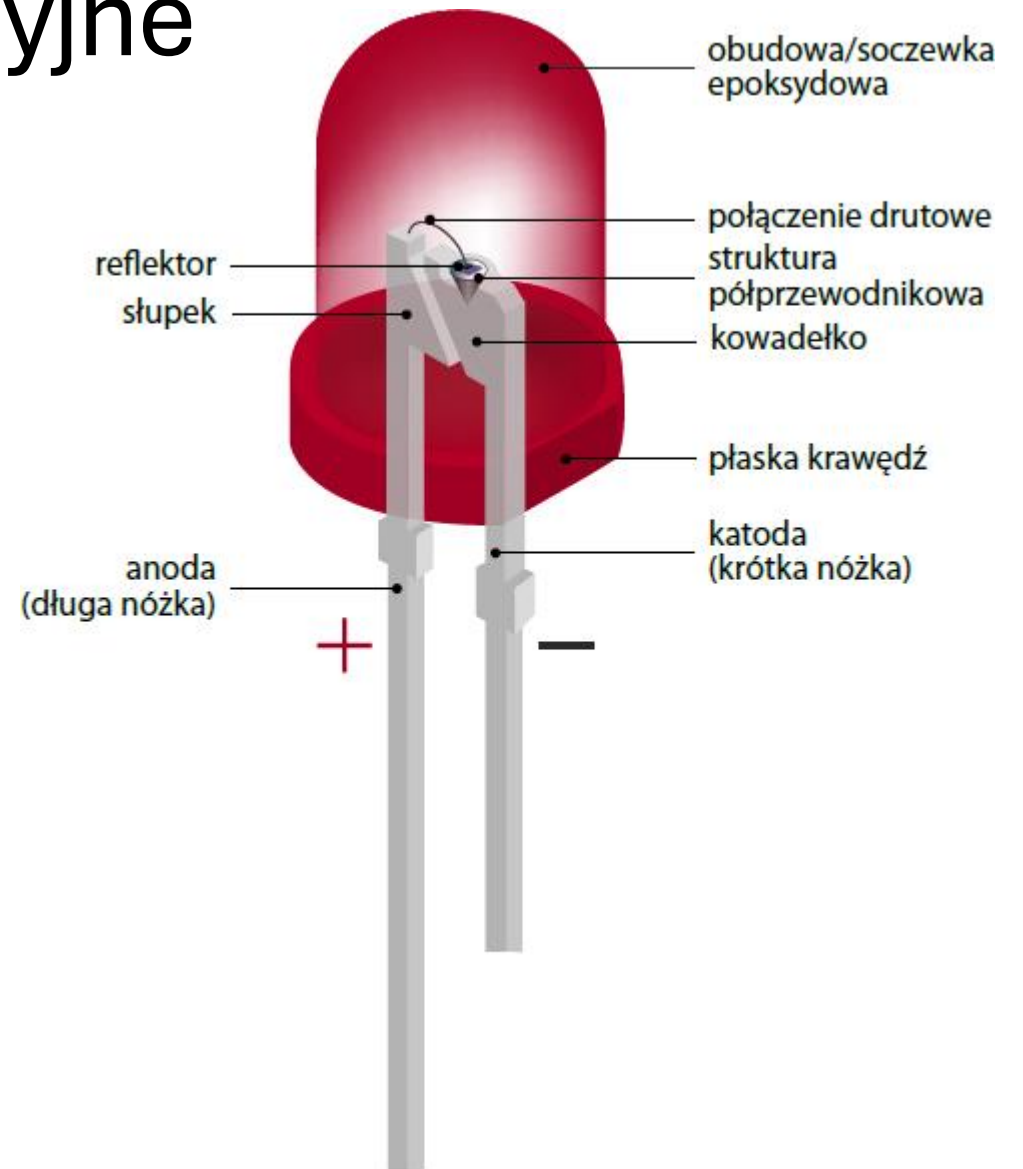
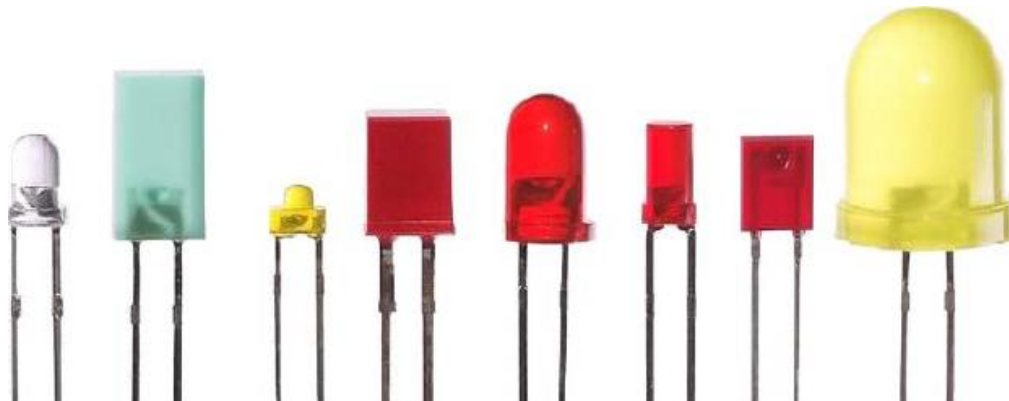


# Diody elektroluminescencyjne

W niektórych półprzewodnikach, z tak zwaną prostą przerwą energetyczną, rekombinacji nośników może towarzyszyć emisja światła zamiast efektów cieplnych.

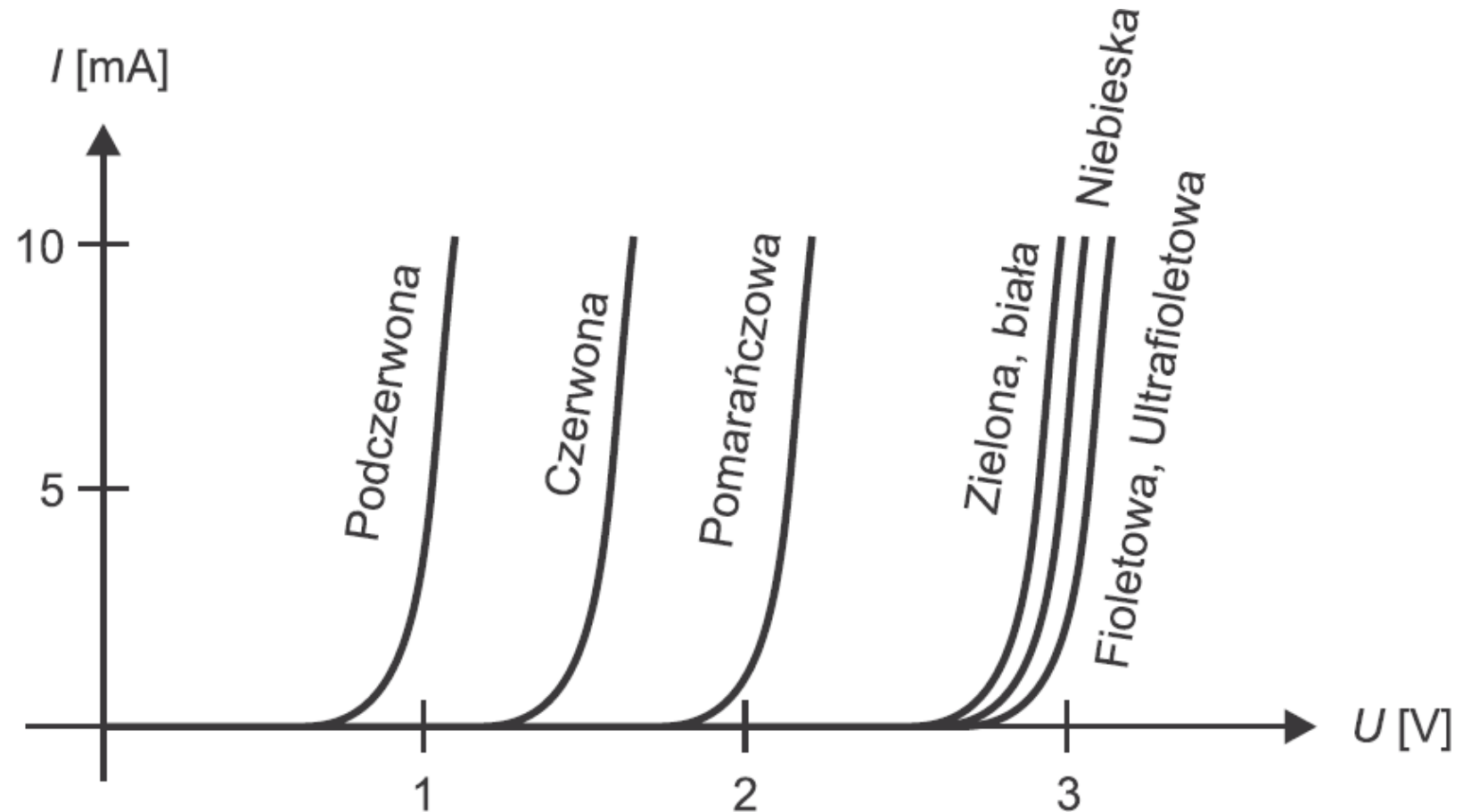
Diody emitujące światło nazywamy elektroluminescencyjnymi (z ang. LED light-emitting diode).

Światło przez nie emitowane jest w miarę monochromatyczne.

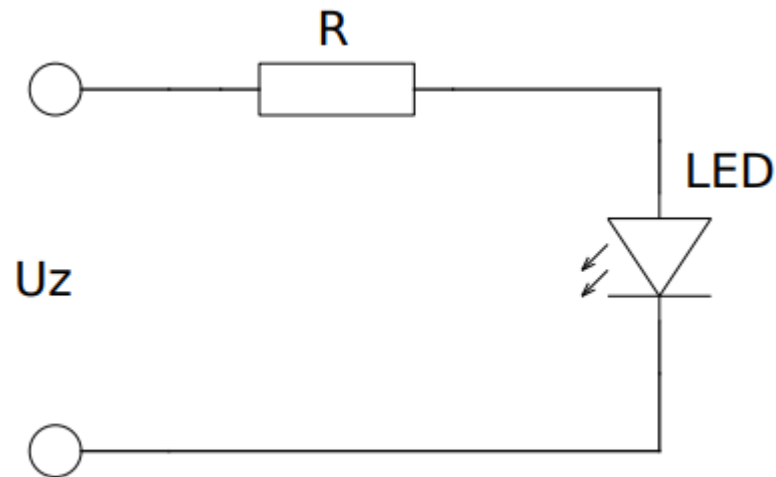


# Diody elektroluminescencyjne

Dioda taka ma teoretyczną charakterystykę prądowo-napięciową opisywaną tym samym wzorem co dioda prostownicza.



# Diody elektroluminescencyjne



$$R = \frac{U_Z - U_P}{I_D}$$

| Barwa        | Napięcie przewodzenia |
|--------------|-----------------------|
| podczerwień  | poniżej 1,6 V         |
| czerwona     | 1,6 V do 2,0 V        |
| pomarańczowa | 2,0 V do 2,1 V        |
| żółta        | 2,1 V do 2,2 V        |
| zielona      | 1,9 V do 3,7 V        |
| niebieska    | 2,5 V do 4,0 V        |
| fioletowa    | 2,7 V do 4,0 V        |
| ultrafiolet  | 3,0 V do 4,1 V        |
| biała        | 3,0 V do 3,6 V        |

Dziękuję za uwagę