

# WYKŁAD 3

# ***Podstawowe układy energoelektroniczne***

**Podział ze względu na charakter przebiegów  
wejściowych i wyjściowych**

Przebieg wejściowy	Przebieg wyjściowy	Nazwa
Przemienny <b>(AC)</b>	Stały <b>(DC)</b>	<b>(AC/DC)</b> Prostownik
Przemienny <b>(AC)</b>	Przemienny <b>(AC)</b>	<b>(AC/AC)</b> Przekształtnik prądu przemiennego Cyklokonwertor Przekształtnik matrycowy
Stały <b>(DC)</b>	Stały <b>(DC)</b>	<b>(DC/DC)</b> Przetwornik prądu stałego (ang. <i>chopper</i> )
Stały <b>(DC)</b>	Przemienny <b>(AC)</b>	<b>(DC/AC)</b> Falownik

**a) podział ze względu na sposób przekształcania energii źródeł:**

- pośrednie (np. przemienniki częstotliwości)
- bezpośrednie (np. prostowniki)

**b) podział ze względu na budowę:**

- proste
- złożone
  - połączenie kaskadowe
  - połączenie równoległe

**c) podział ze względu na kierunek przepływu prądu i energii, zwrot napięcia:**

- nawrotne i nienawrotne
- odzyskowe i nieodzyskowe

# Układy prostownikowe

Układy prostownikowe służą do **przekształcania napięcia przemiennego** na napięcie **jednokierunkowe**, nazywane napięciem **wyprostowanym** lub **stałym**.  
Napięcie zasilające układy prostownikowe jest napięciem sinusoidalnym 1- lub 3-fazowym.

## **Podstawowymi zespołami układu są:**

- transformator prostownikowy,**
- układ (blok) zaworów półprzewodnikowych,**
- układ sterowania zaworów, gdy zawory są sterowane,**
- urządzenia pomocnicze,**
- układy ochronne i zabezpieczające,**
- układy pomiarowe i sygnalizacyjne.**

# **KLASYFIKACJA UKŁADÓW PROSTOWNIKOWYCH**

## **1. Podział ze względu na zastosowane zawory:**

- **niesterowane (diodowe),**
- **sterowane, nazywane także w pełni sterowane (tyrystorowe),**
- **półsterowane (tyrystorowo-diodowe).**

## **2. Podział ze względu na liczbę grup komutacyjnych:**

- ***proste*** - zawierające tylko jedną grupę komutacyjną,
- ***złożone*** - zestawione z dwóch lub kilku grup komutacyjnych.

### **3. Podział ze względu na charakter pracy odbiornika zasilanego z układu prostownikowego:**

- ***nienawrotne*** (zarówno proste, jak i złożone),
- ***nawrotne***, czyli rewersyjne (tylko złożone).

### **4. Podział ze względu na liczbę faz uzwojenia pierwotnego transformatora sieciowego:**

- ***1-fazowe***,
- ***3-fazowe***.

### **5. Podział ze względu na liczbę faz uzwojenia wtórnego transformatora sieciowego:**

- ***1-fazowe***,
- ***2-fazowe***,
- ***3-fazowe***,
- ***6-fazowe***,

**6. Podział ze względu na wskaźnik tętnienia nazywany liczbą pulsów:**

- ***jednopulsowe,***
- ***dwupulsowe,***
- ***trójpulsowe,***
- ***sześciopulsowe,***
- ***dwunastopulsowe, itd..***

**7. Podział ze względu na sposób połączenia uzwojenia wtórnego transformatora z układem zaworów:**

- ***jednokierunkowe,***
- ***dwukierunkowe.***

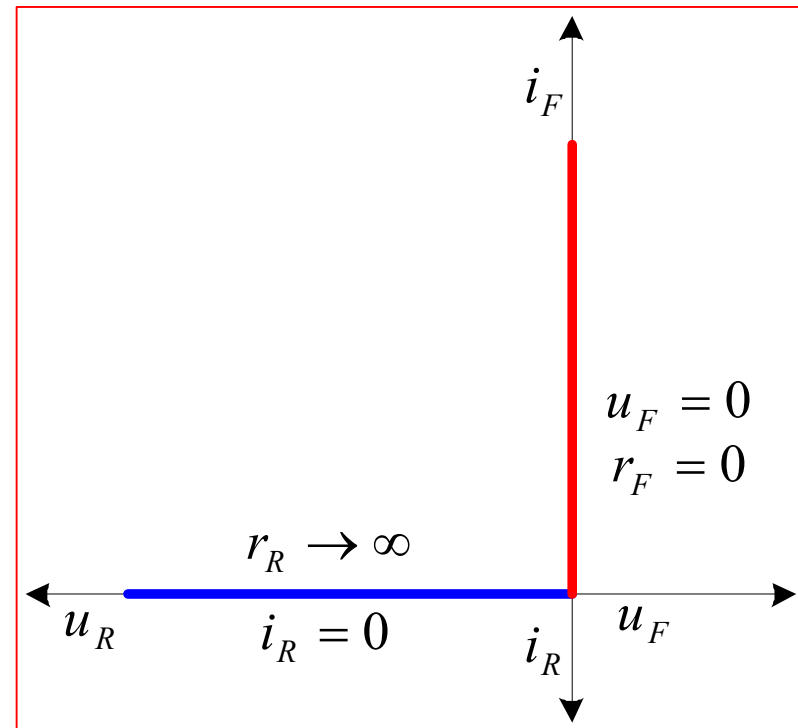
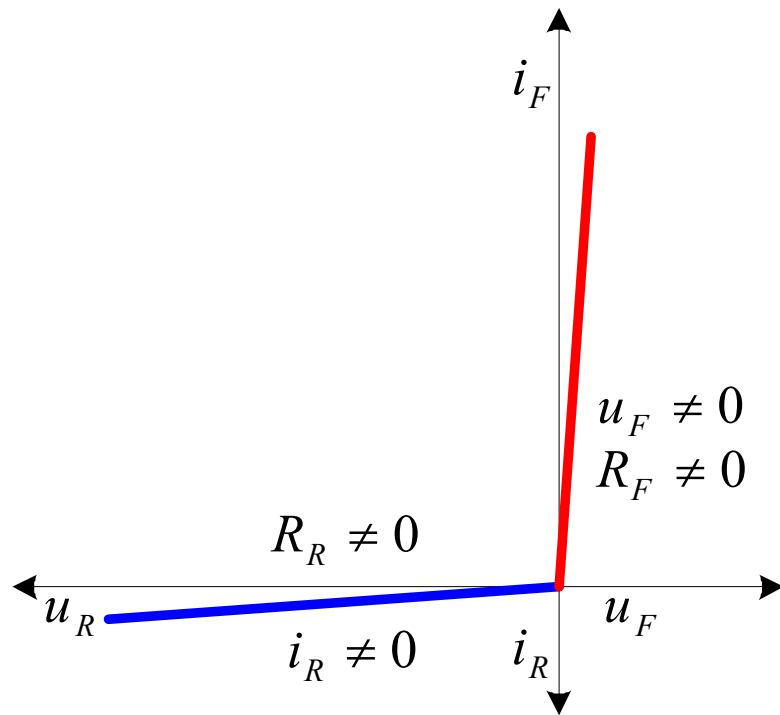


**8. Podział ze względu na liczbę kwadrantów  
(ćwiartek układu współrzędnych)  
charakterystyk zewnętrznych:**

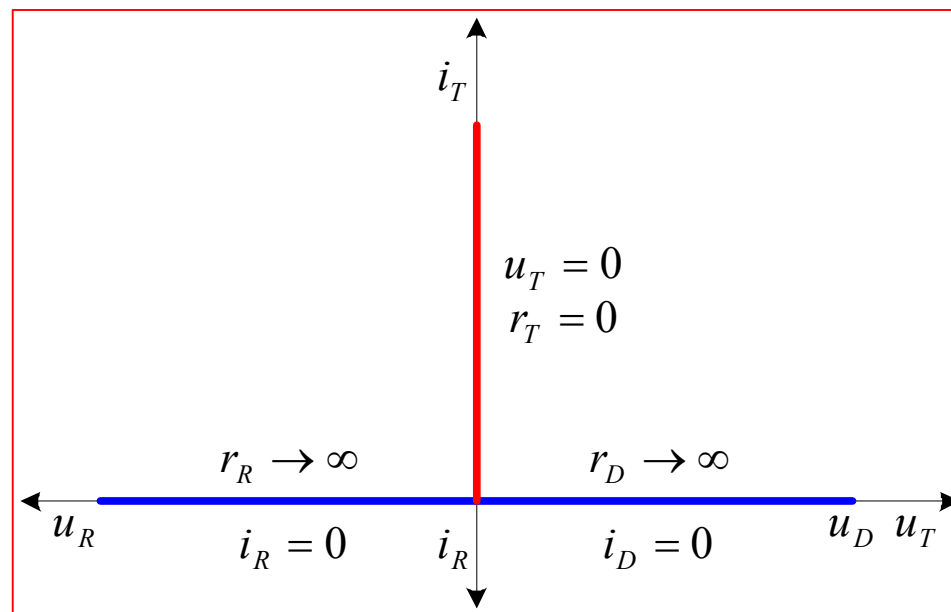
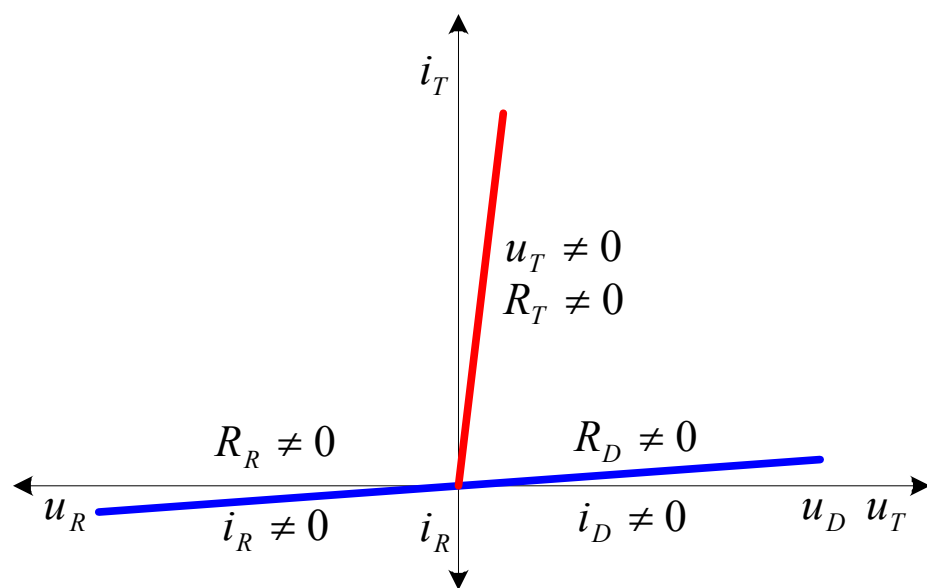
- ***jednokwadrantowe,***
- ***dwukwadrantowe,***
- ***czterokwadrantowe.***

# Modele elementów układu prostownikowego

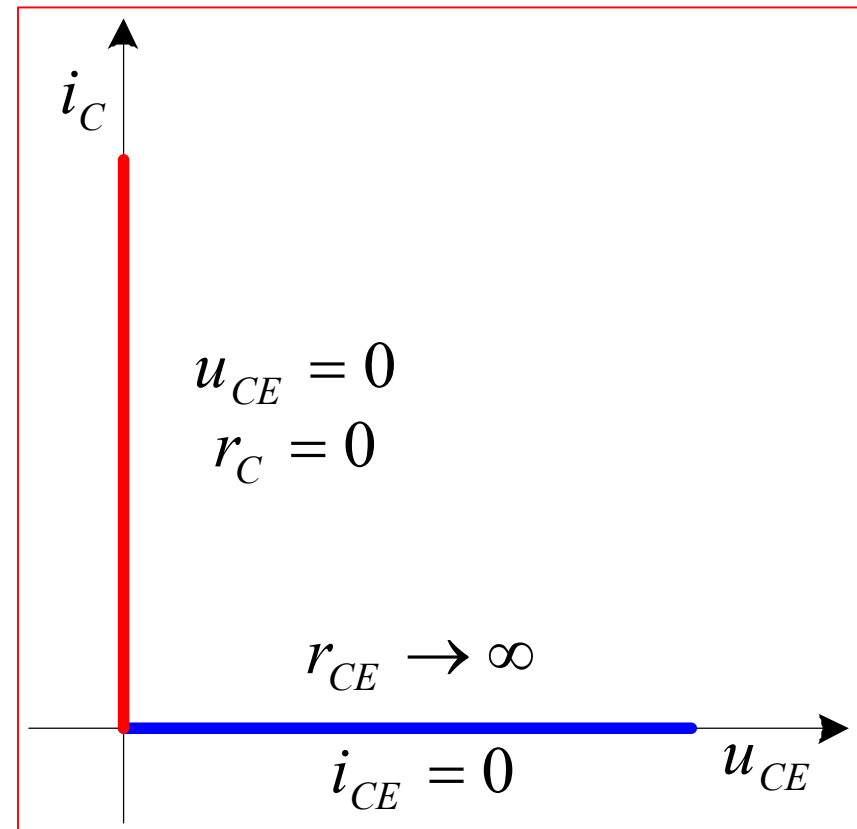
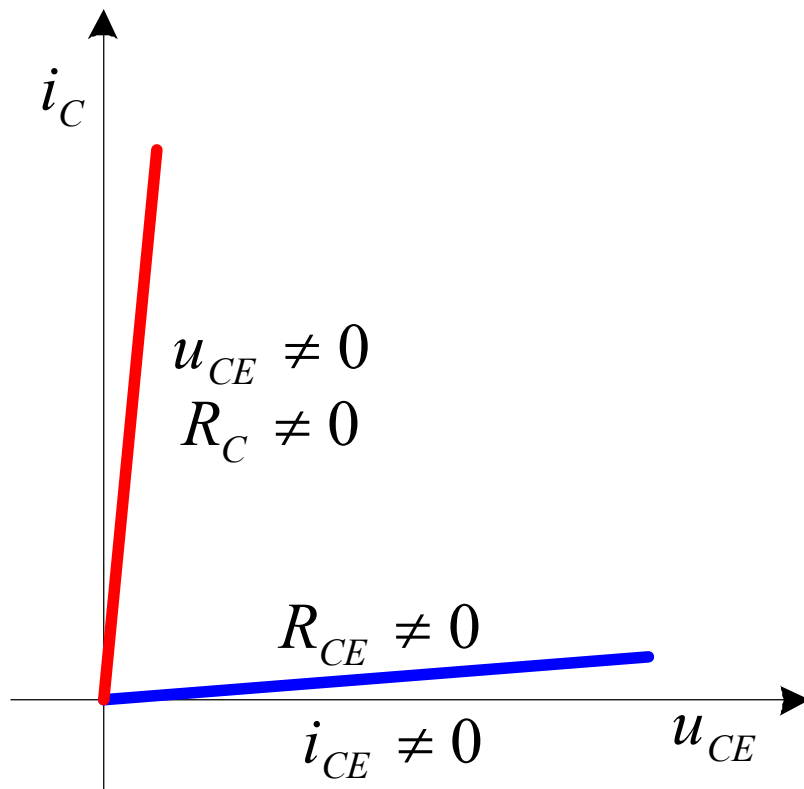
## Stosowane charakterystyki elementów



# Stosowane charakterystyki elementów



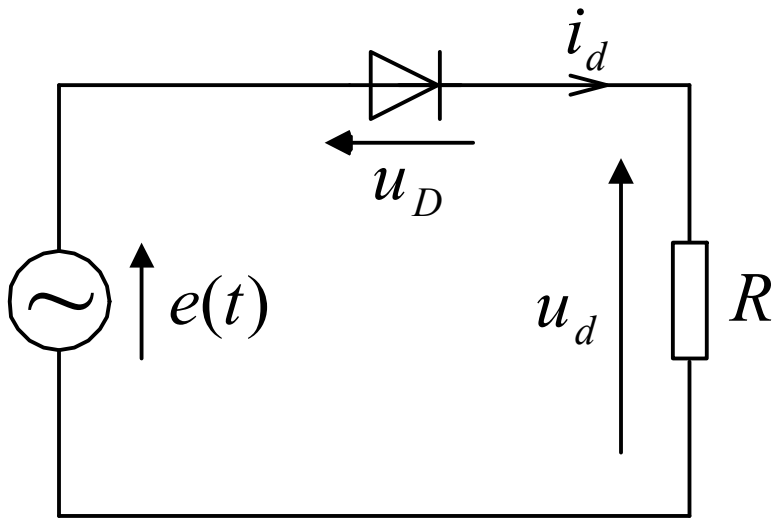
## Stosowane charakterystyki elementów



**Pspice, OrCAD**

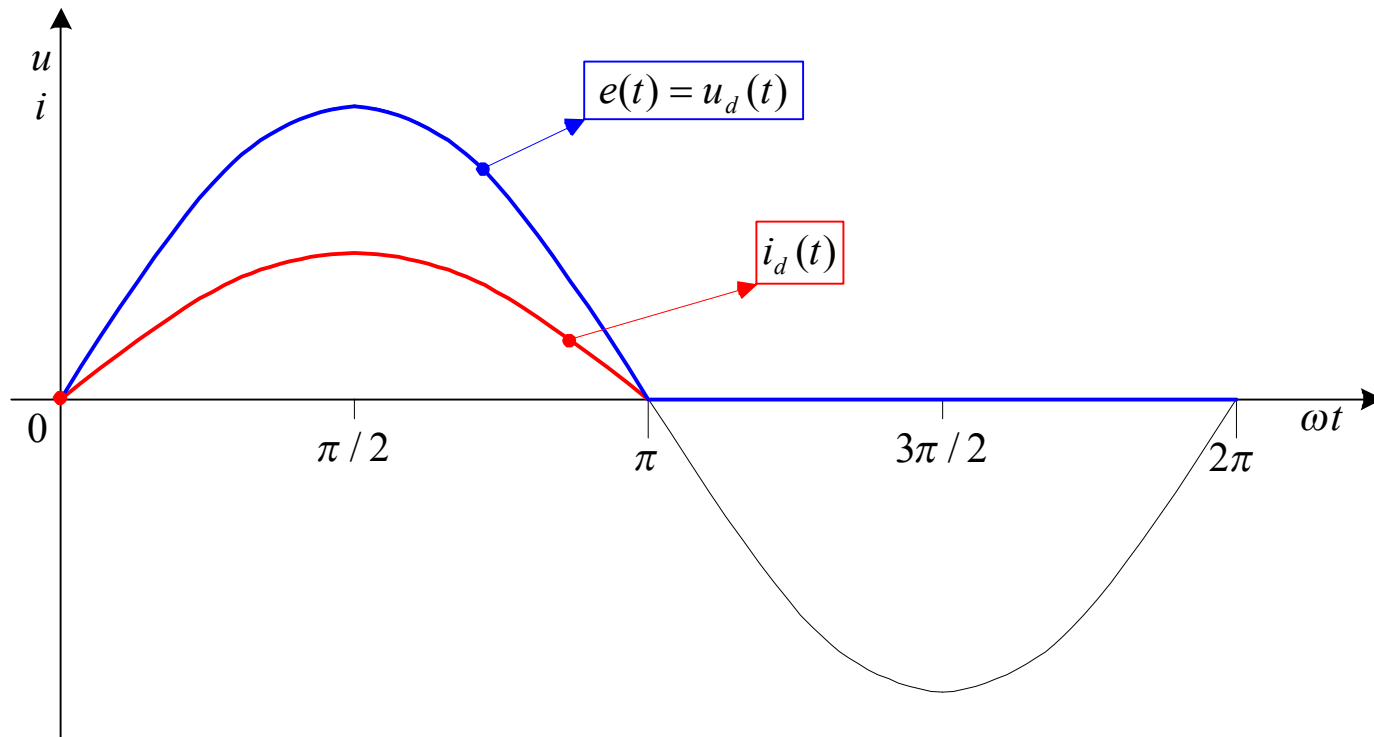
**Matlab**

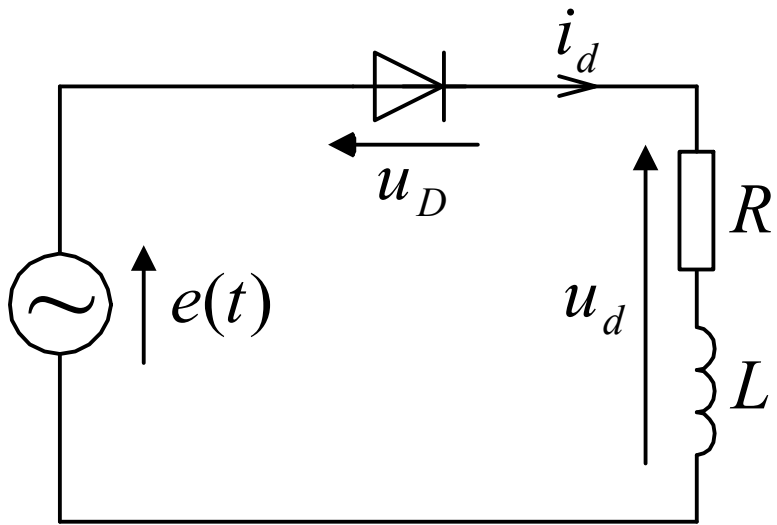
**[www.ipes.ethz.ch](http://www.ipes.ethz.ch)**



$$E_m \sin \omega t = R i_d(t)$$

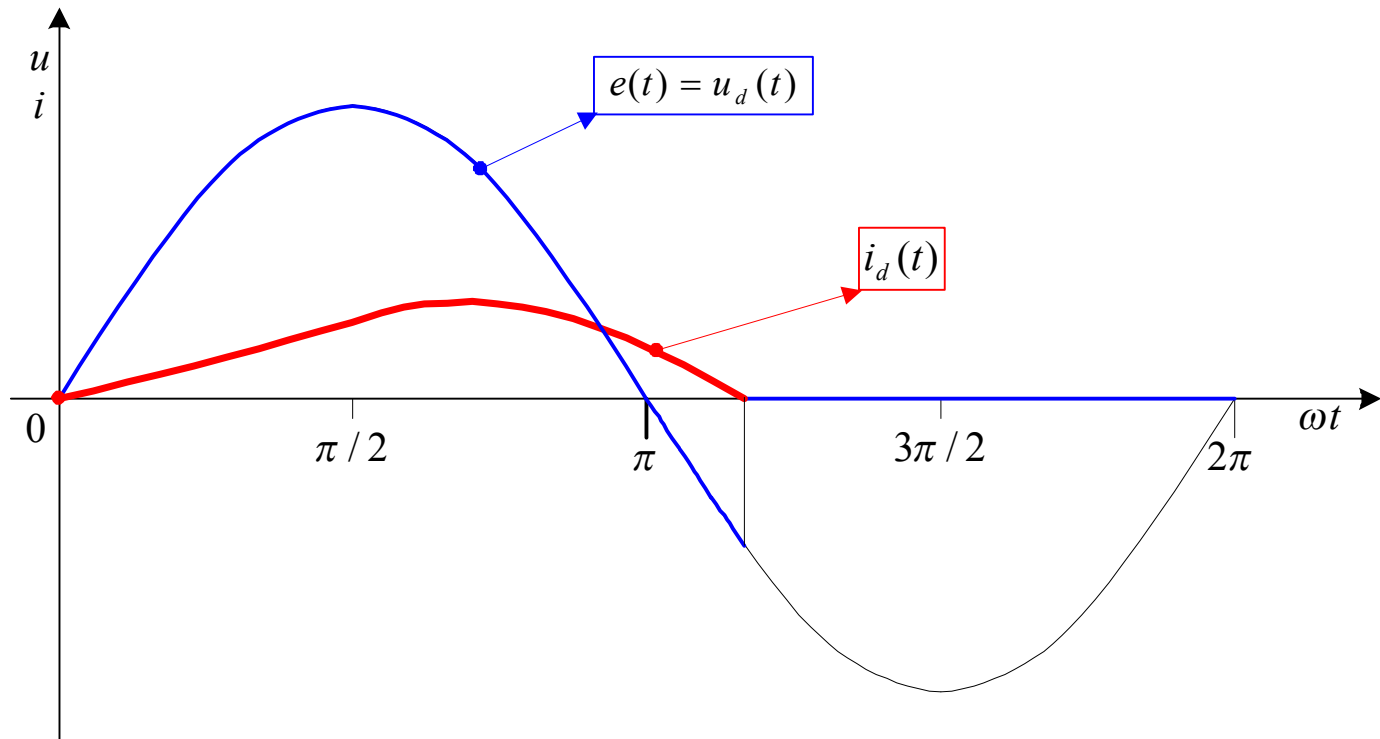
$$i_d(t) = \frac{E_m}{R} \sin \omega t$$

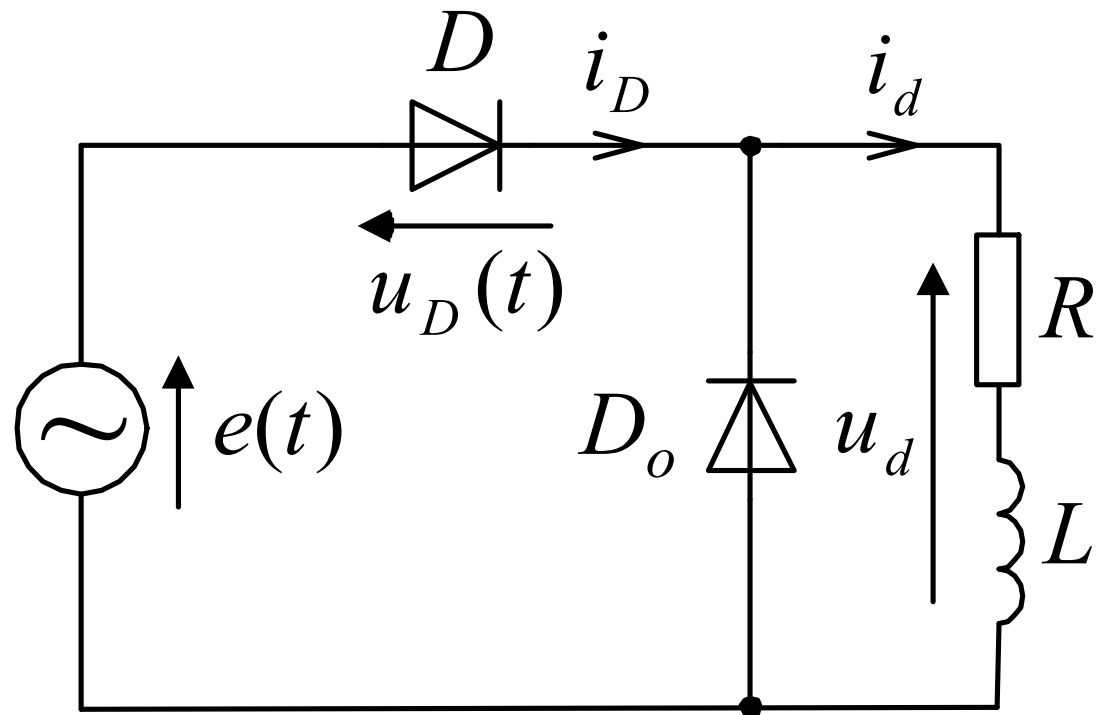




$$E_m \sin \omega t = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt}$$

$$i_d(t) = \frac{E_m}{Z} \sin(\omega t - \varphi) + \sin \varphi e^{-\frac{R}{L}t}$$







# Komutacja

nazywamy zmiany pewnych parametrów obwodu elektrycznego lub jego struktury (schematu geometrycznego, grafu) zachodzące w określonej chwili.

# Prawa komutacji

Prawa komutacji obwodu elektrycznego wyrażają się przez pewne zasady, wynikające z zasady zachowania energii:

- 1. Zasada ciągłości strumienia magnetycznego skojarzonego z cewką w chwili komutacji:**

$$\Psi(0^-) = \Psi(0^+)$$

- 2. Zasada ciągłości prądu w cewce w chwili komutacji:**

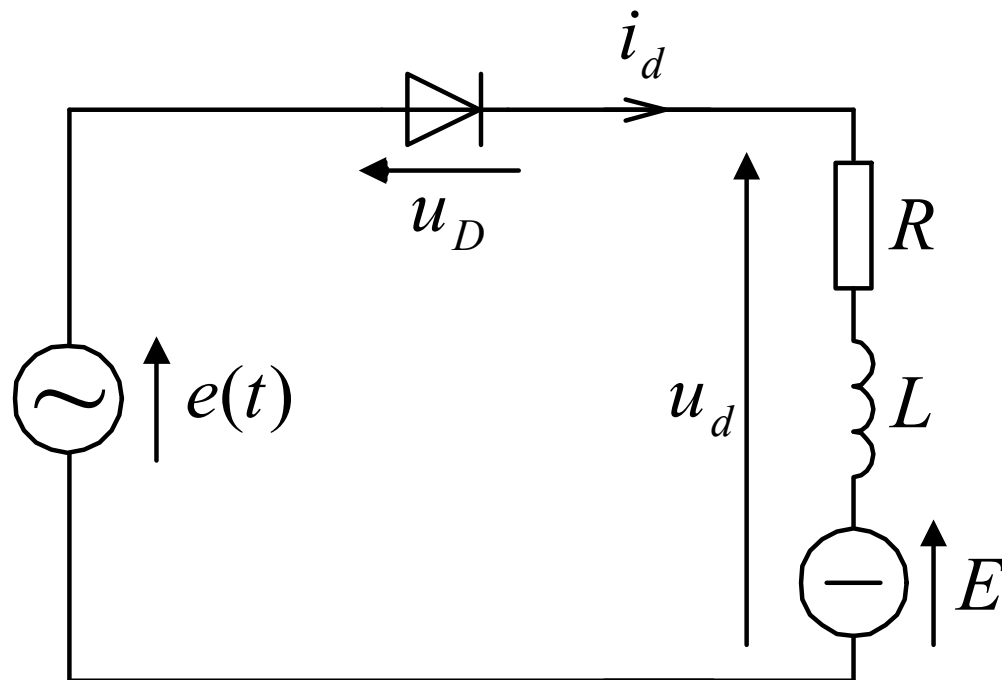
$$i(0^-) = i(0^+)$$

- 3. Zasada ciągłości ładunku kondensatora w chwili komutacji:**

$$q(0^-) = q(0^+)$$

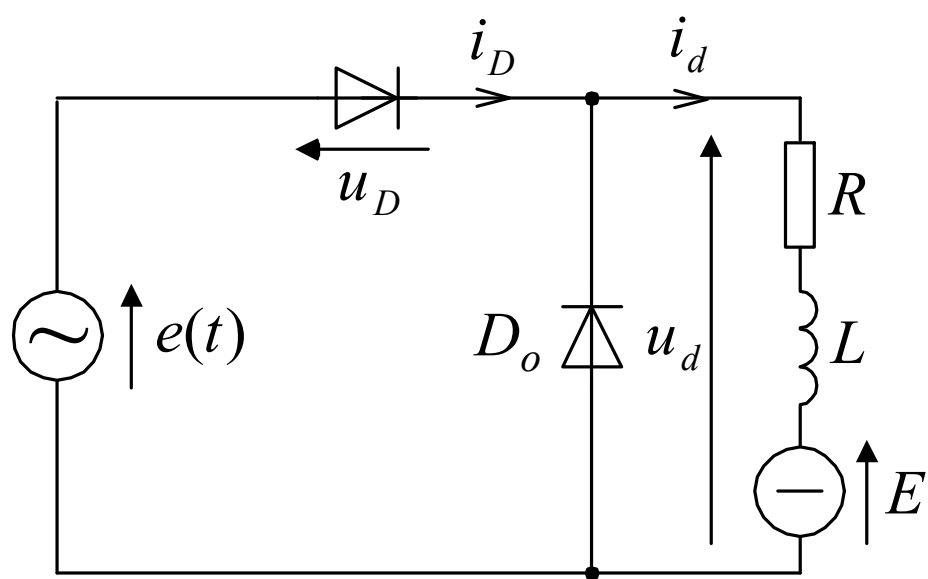
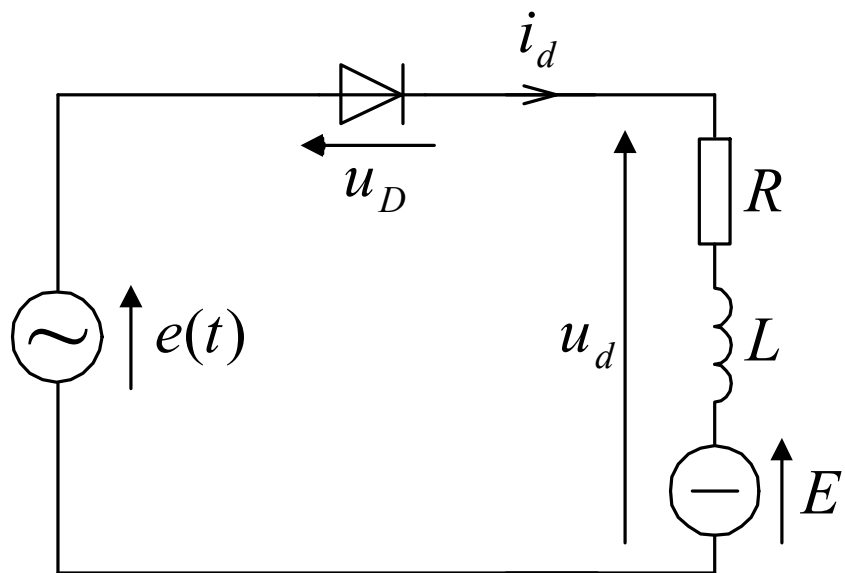
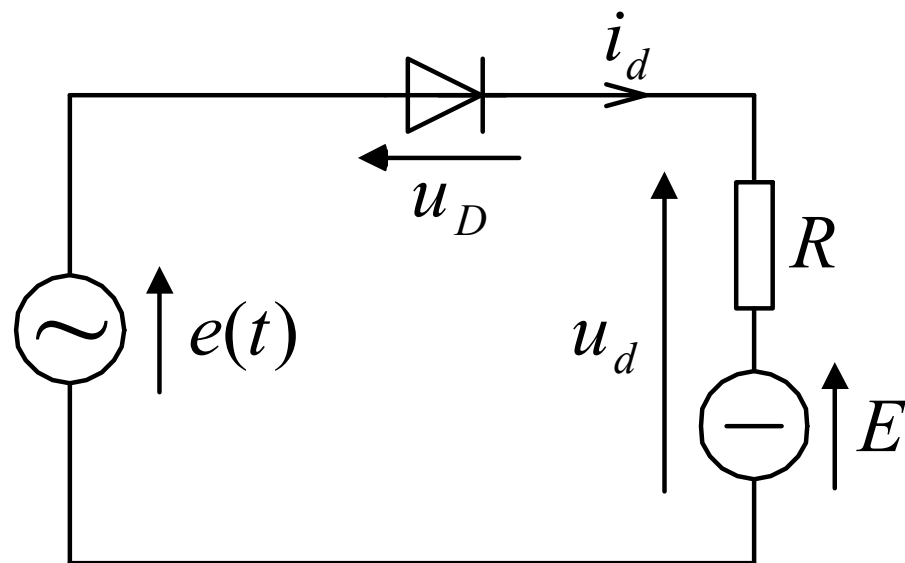
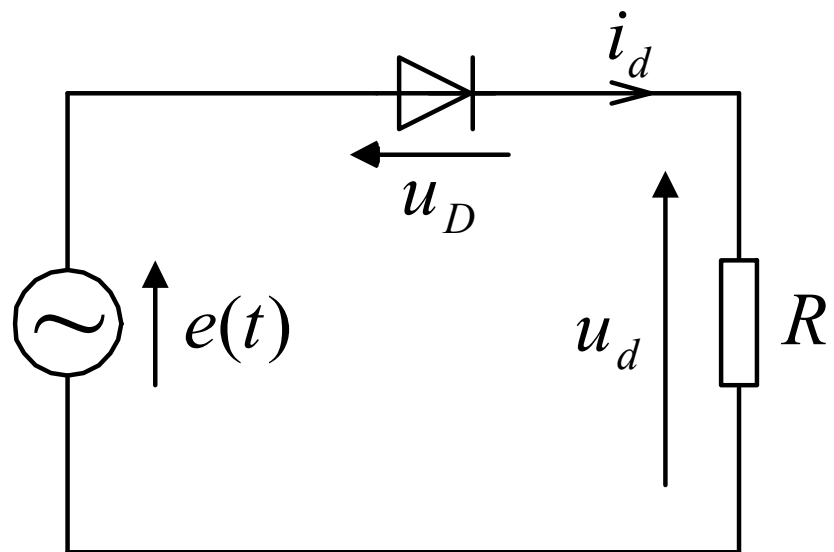
- 4. Zasada ciągłości napięcia na kondensatorze w chwili komutacji:**

$$u(0^-) = u(0^+)$$



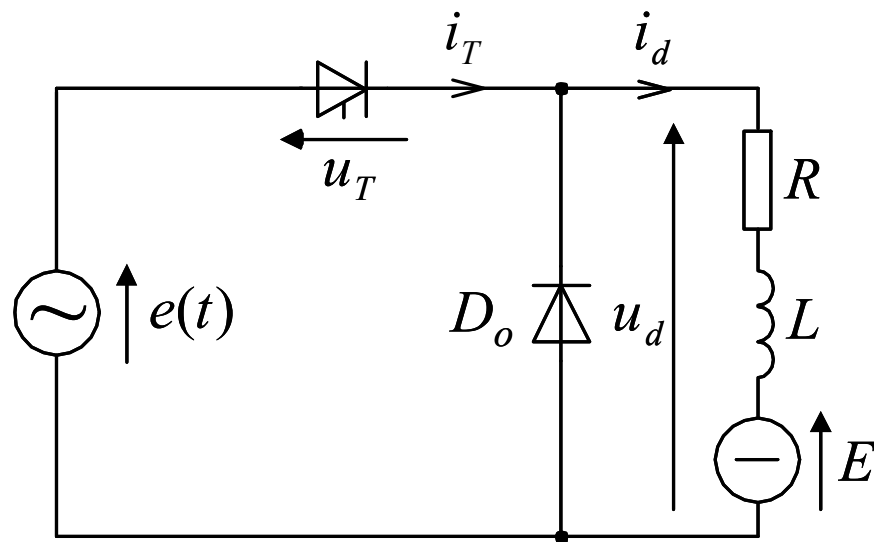
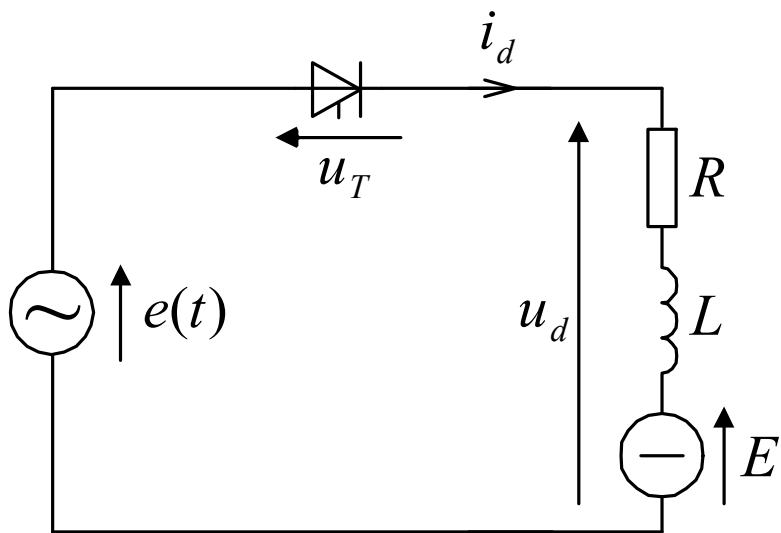
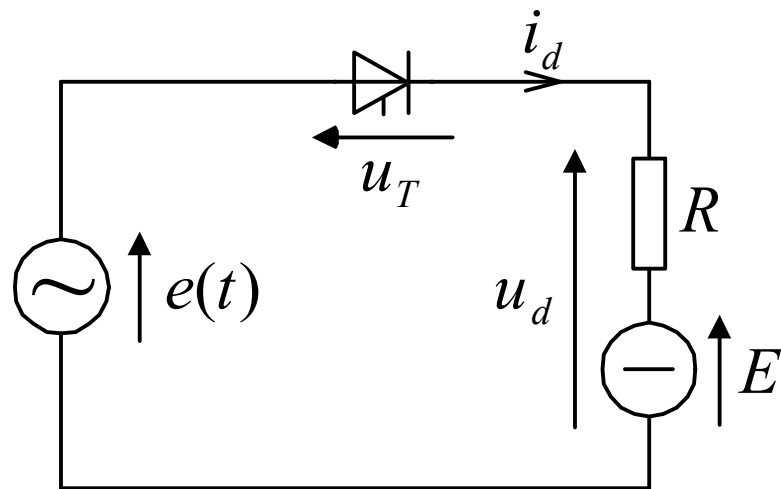
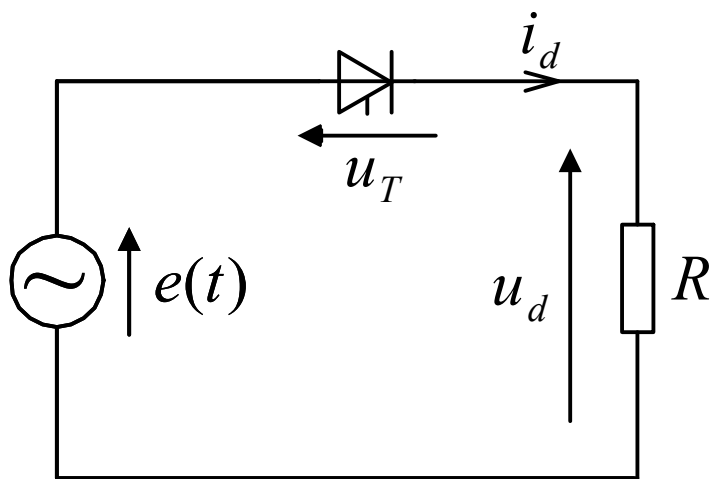
$$E_m \sin \omega t = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + E$$

$$i(t) = \frac{E_m}{Z} \left[ \sin(\omega t - \varphi) - \frac{E}{R} \right] + \left[ \sin \varphi + \frac{E}{R} \right] e^{-\omega t(\operatorname{ctg} \varphi)}$$



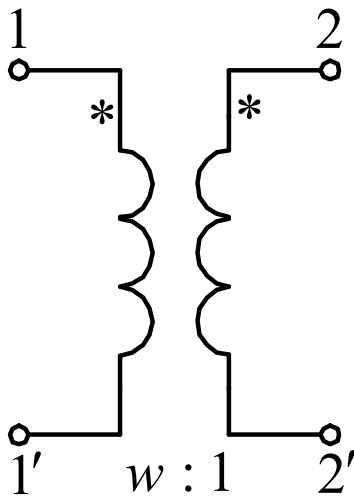
Praca układu energoelektronicznego polega na **cyklicznym**, w ramach ustalonego okresu pracy, **dołączaniu wybranych źródeł energii do wybranych gałęzi odbiornikowych**.

Przebiegi wielkości wyjściowych (napięć, prądów) w okresie pracy układu są **złożeniem** (w sensie następstwa) **przebiegów napięć i prądów** generowanych przez **następujące po sobie stany nieustalone** obwodów powstałych **w kolejnych cyklach pracy** układu.



## Transformator idealny jest:

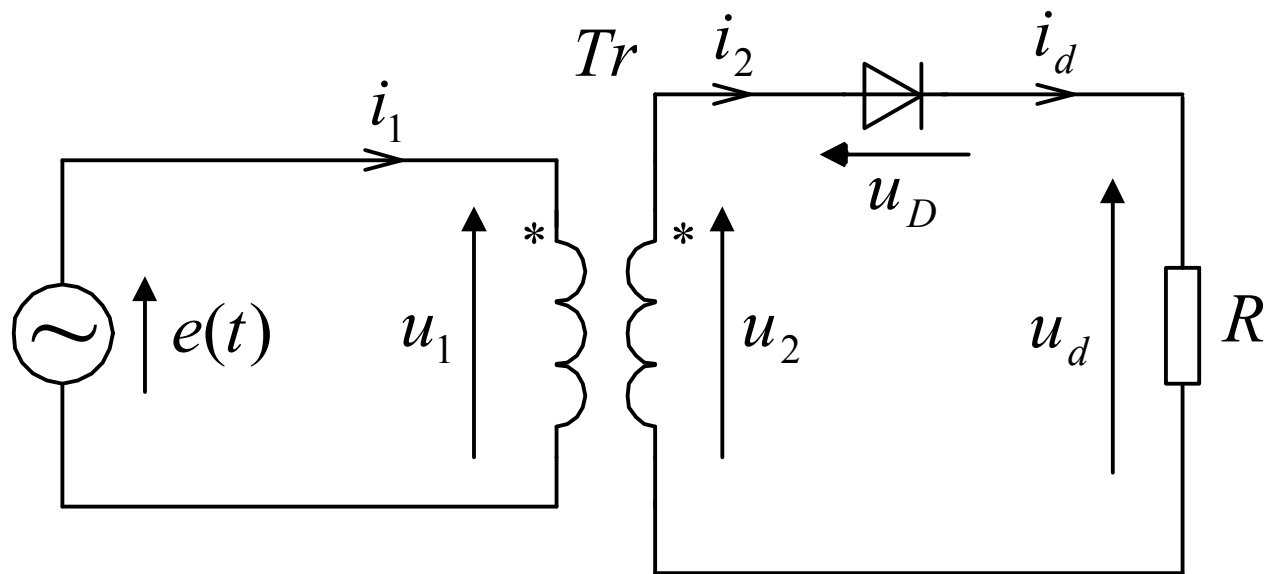
1. bezstratny,
2. bezrozproszeniowy,
3. bezpojemnościowy,
4. ma zerowy prąd magnesujący.



Równanie łańcuchowe transformatora idealnego (przeciwny zwrot nawinięcia uzwojeń):

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w & 0 \\ 0 & \frac{1}{w} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

$w$  – przekładnia napięciowa



$$i_2 = I_o + i_{2\sim} \quad i_1 = \frac{1}{w} i_{2\sim}$$

$$I = \sqrt{I_o^2 + \sum_{k=1}^{\infty} I_k^2} = \sqrt{I_o^2 + I_{\sim}^2} \quad I_{\sim} = \sqrt{I^2 - I_o^2}$$



$$I_1 = \frac{1}{w} \sqrt{I_2^2 - I_d^2} \qquad i_1 = \frac{1}{w} i_{2\sim} + i_{\mu\sim}$$

$i_L$  – **chwilowy prąd sieci**

$u_L$  – **chwilowe napięcie sieci**

$I_L$  – **skuteczny prąd sieci**

$U_L$  – **skuteczne napięcie sieci**

$i_1$  – **chwilowy prąd strony pierwotnej transformator**

$u_1$  – **chwilowe napięcie strony pierwotnej transformatora**

$I_1$  – **skuteczny prąd strony pierwotnej transformatora**

$U_1$  – **skuteczne napięcie strony pierwotnej transformatora**

$i_2$  – **chwilowy prąd strony wtórnej transformatora**

$u_2$  – **chwilowe napięcie strony wtórnej transformatora**

$I_2$  – **skuteczny prąd strony wtórnej transformatora**

$U_2$  – **skuteczne napięcie strony wtórnej transformatora**

$i_T$  – **chwilowy prąd zaworu (tyrystora)**

$u_T$  – **chwilowy prąd zaworu (tyrystora)**

$i_d$  – **chwilowy prąd odbiornika**

$u_d$  – **chwilowe napięcie odbiornika**

$I_d$  – **średni prąd odbiornika**

$U_d$  – **średnie napięcie odbiornika**