

9. OBVOD STŘÍDAVÉHO PROUDU

Elektrický proud:

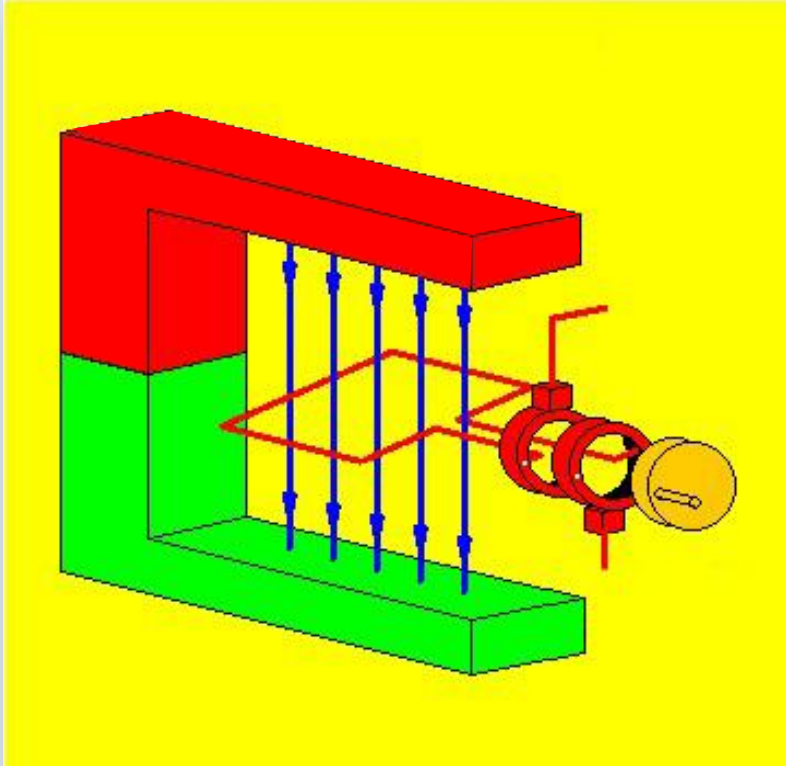
- stejnosměrný
- střídavý

Zdroje střídavého napětí:

- založené na otáčení cívek v magnetickém poli
(v energetice generátory)
- elektronické zdroje (oscilátory)

Frekvence střídavého napětí

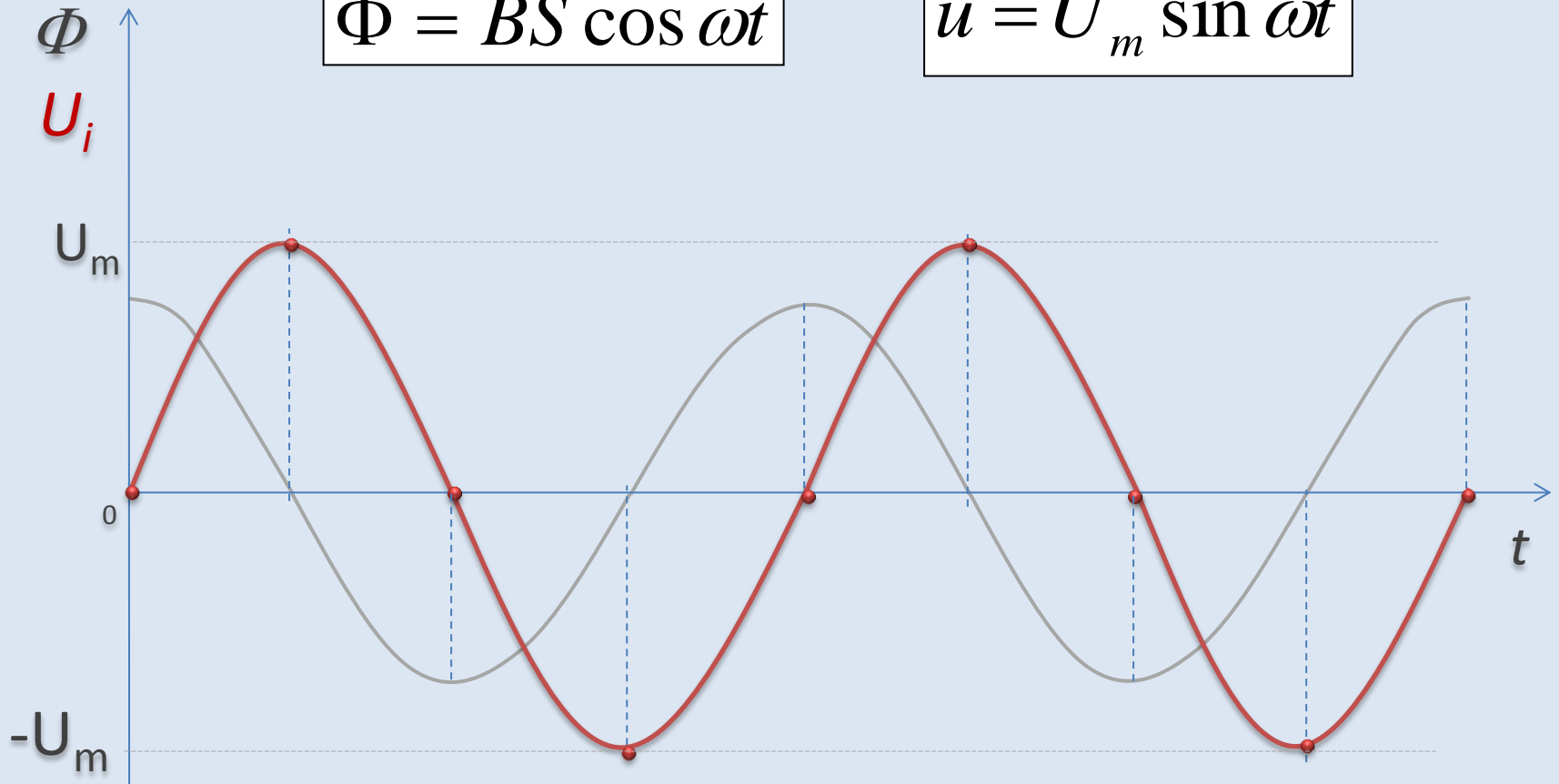
- v energetice se užívá napětí nízké frekvence 50 Hz,
- ve sdělovací technice se používají pro přenos signálů
 - v akustickém oboru nízké frekvence (do 16 kHz),
 - TV, mobilních sítí, družicového vysoké frekvence (řádově 10 GHz)



Generátor střídavého proudu

$$\Phi = BS \cos \omega t$$

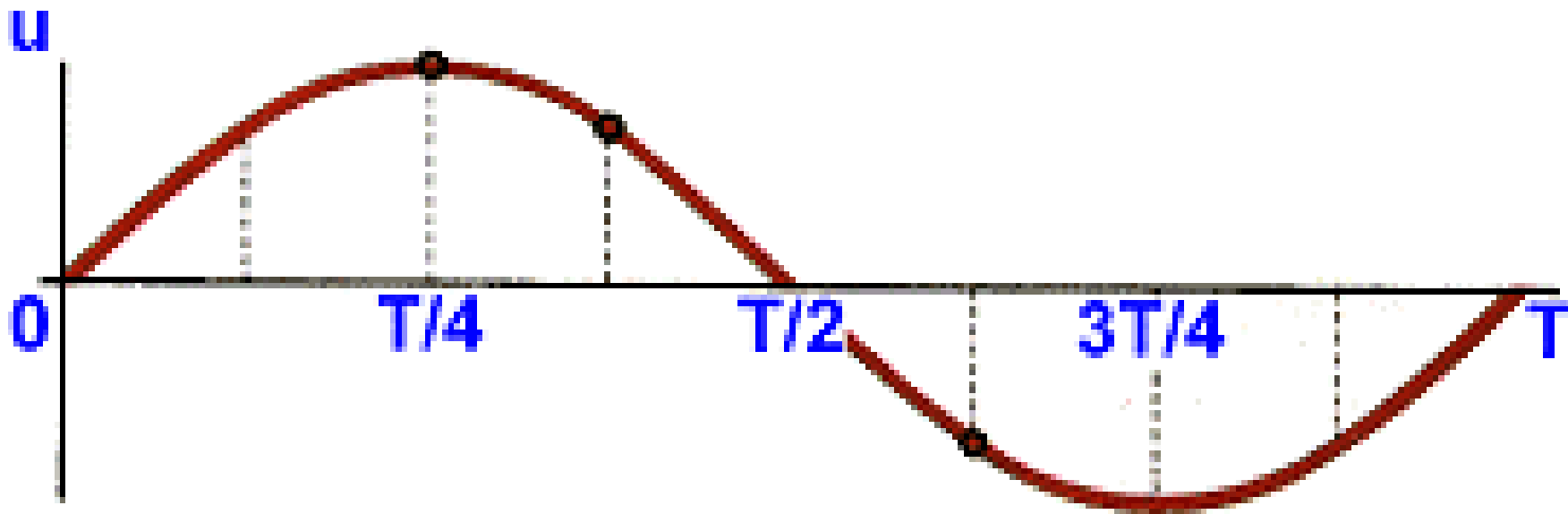
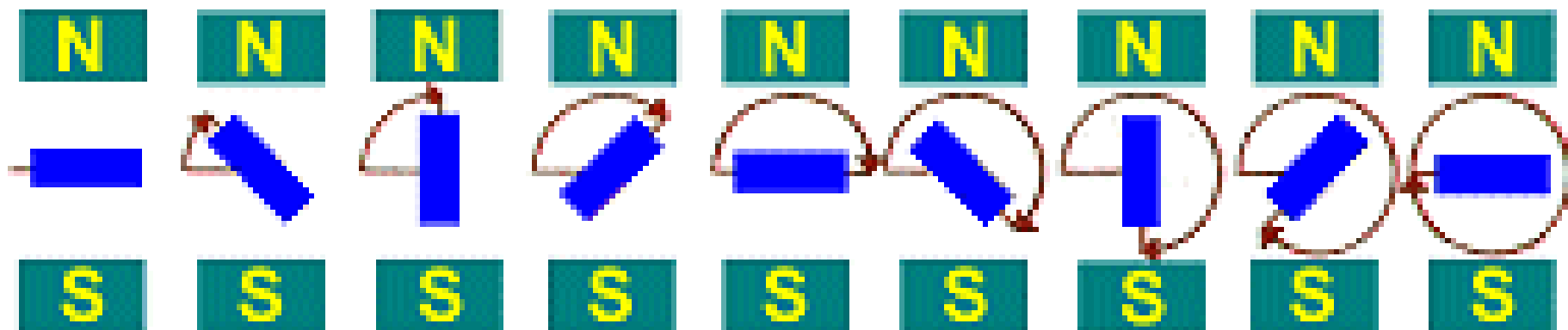
$$u = U_m \sin \omega t$$



u okamžitá hodnota střídavého napětí

U_m maximální hodnota střídavého napětí

Otáčeli se závit v magnetickém poli, mění se na jeho koncích napětí harmonicky.



Střídavé napětí

je proměnné napětí s harmonickým průběhem.

Střídavý proud

je proměnný proud s harmonickým průběhem.

Určujeme

- **okamžité hodnoty** – u, i
 ω – úhlová rychlost otáčení závitu

$$u = U_m \sin \omega t$$

$$i = I_m \sin \omega t$$

- **max. hodnoty** (amplitudy) – U_m, I_m
- **efektivní hodnoty** \sim napětí a proudu, které odpovídají hodnotám = napětí a proudu, při nichž je výkon v obvodu stejný – U, I

parametry obvodu – R, L, C

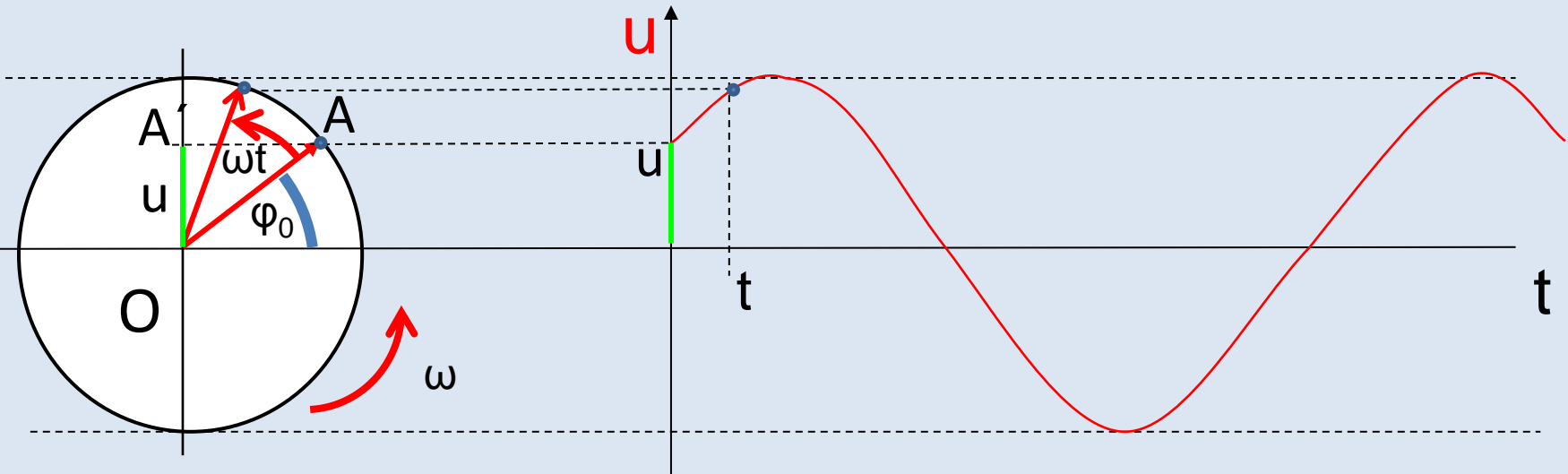
- rezistor s odporem R
- cívka s indukčností L
- kondenzátor s kapacitou C

obvody střídavého proudu (střídavé obvody)

- jednoduchý obvod střídavého proudu
 - obvod s jedním parametrem
- složený obvod střídavého proudu
 - obvod s více parametry

Střídavé obvody používané v praxi jsou vždy tvořeny kombinací těchto prvků.

Grafické znázornění veličin



fázorový diagram

$$|OA| = U_m$$

$$|OA'| = u$$

časový diagram

$$t = 0 : u = U_m \sin \varphi_0$$

$$t \quad : u = U_m \sin (\varphi_0 + \omega t)$$

Veličina je znázorněna orientovanou úsečkou umístěnou v SS – fázorem.

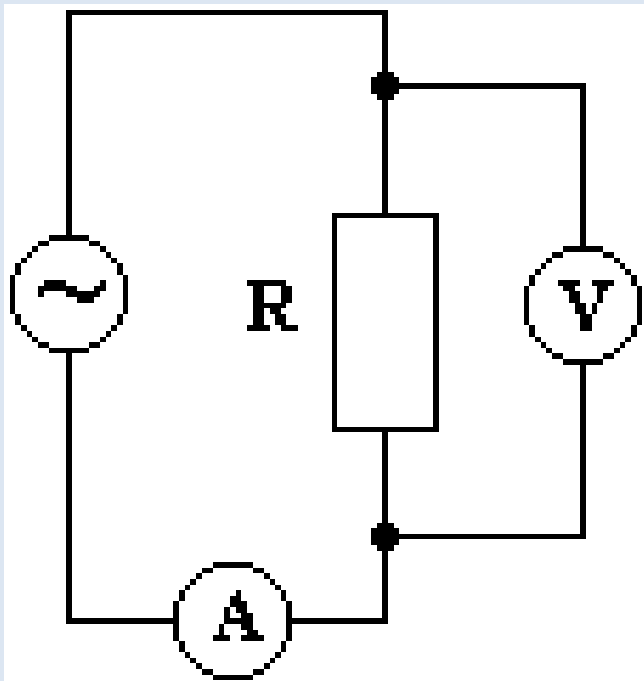
- délka fázoru = amplitudě dané veličiny
- s osou x svírá úhel = **počáteční fázi** φ .
- okamžitá hodnota napětí = průmět fázoru do osy y.

9. 1. OBVOD STŘÍDAVÉHO PROUDU S REZISTOREM

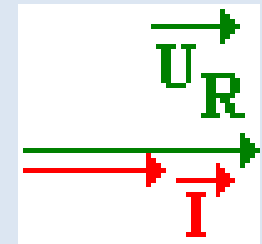
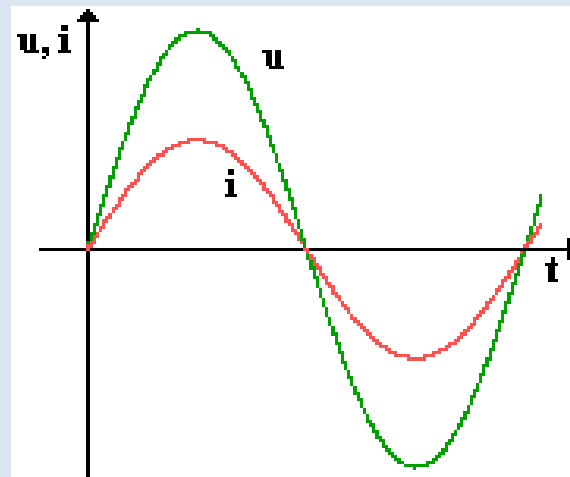
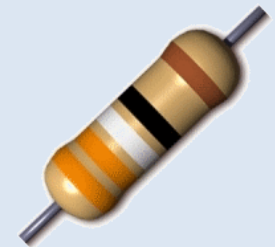
Pro střídavý proud platí Ohmův zákon.

Odpor R rezistoru v obvodu $\sim I$ je stejný, jako v obvodu $= I$ a nazývá se **rezistance**.

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t$$
$$i = I_m \sin \omega t$$
$$u = U_m \sin \omega t$$

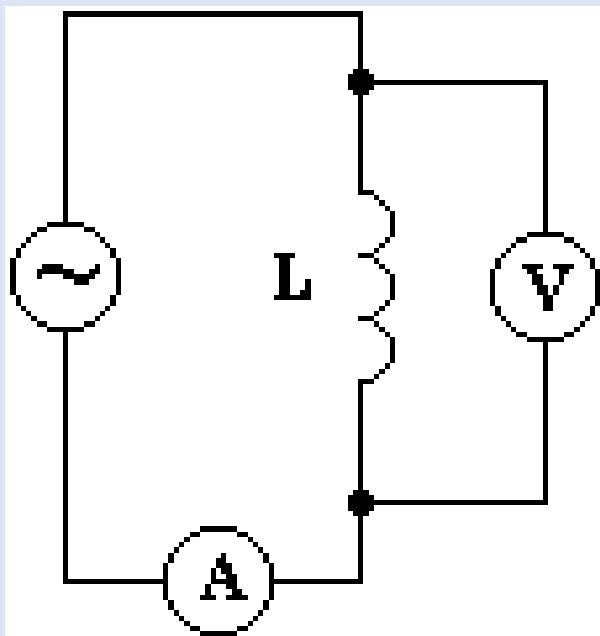
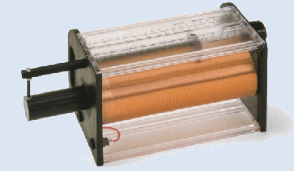


fázový rozdíl $\varphi = 0$
(\underline{u} a \underline{i} jsou ve fázi)



9.2. OBVOD STŘÍDAVÉHO PROUDU S CÍVKOU

- $\sim I$ procházející vinutím cívky vytváří proměnné magnetické pole.
- Tím se v cívce indukuje napětí, které má podle Lenzova zákona opačnou polaritu než zdroj napětí.
- Proud v obvodu nabývá největší hodnoty později než napětí (vlastní indukce cívky).



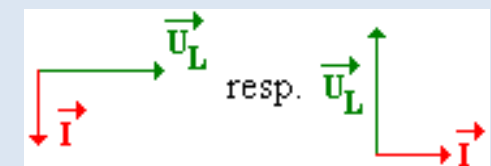
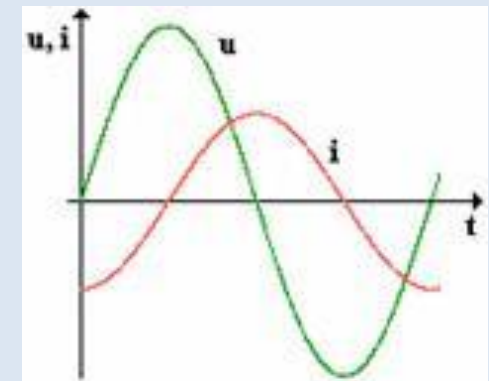
Proud se za napětím zpožďuje o $T/4$ a vzniká **fázový rozdíl**

$$\varphi = -\frac{\pi}{2}$$

$$u = U_m \sin \omega t$$

$$i = I_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

$$i = -I_m \cos \omega t$$



Připojíme cívku s uzavřeným feromagnetickým jádrem ke zdroji střídavého napětí měnitelné frekvence, a měříme při různých frekvencích U a I .

induktance X_L = induktivní reaktance

- je přímo úměrná frekvenci a indukčnosti cívky
- představuje odpor magnetické části cívky
- zavádí se, aby bylo možné srovnávat ohmický odpor cívky (odpor drátu, z něhož je cívka vytvořena) s „magnetickou částí cívky“

$$X_L = \frac{U_m}{I_m}$$
$$[X_L] = \Omega$$
$$X_L = \omega L$$

Energie elektrického proudu se nemění v teplo jako u rezistoru, ale v energii magnetického pole.

(Vzniká a zaniká magnetické pole.)

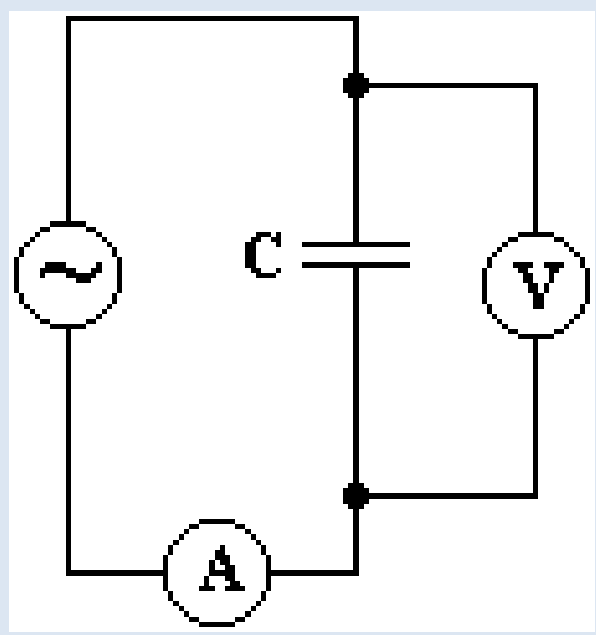
- Skutečné cívky mají kromě indukčnosti také odpor.
- Je-li odpor $R \ll X_L$ je možné ho zanedbat a cívka má přibližně vlastnosti ideální cívky.
- Není-li možné odpor zanedbat, má obvod s cívkou vlastnosti složeného obvodu s parametry RL v sérii.
- V praxi se k dosažení velkých induktancí používají cívky – **tlumivky**.
- Tlumivky pro střídavé proudy nízké frekvence mají mnoho závitů izolovaného drátu navinutého na ocelovém uzavřeném jádře.
- Tlumivky pro vysokofrekvenční střídavé proudy mají feritové jádro a v obvodech pro velmi vysoké frekvence postačuje několik volně navinutých závitů drátu.

9.3. OBVOD STŘÍDAVÉHO I s KONDENZÁTOREM

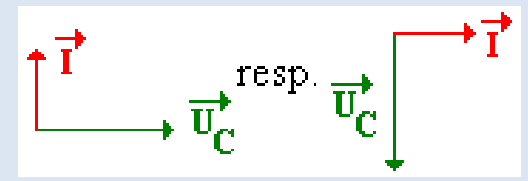
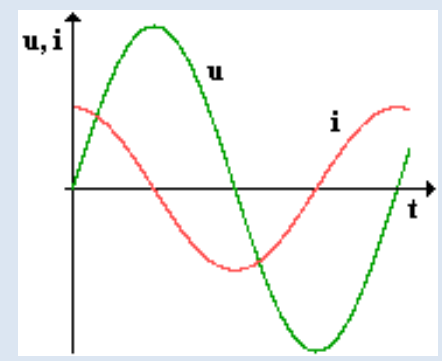
- Kondenzátor s kapacitou C se periodicky nabíjí a vybíjí.
- Má opačné účinky než **cívka**.
- **Dielektrikem** mezi deskami kondenzátoru vodivostní proud neprochází - mění se jen **intenzita elektrického pole** a dielektrikum se střídavě polarizuje.



Proud předbíhá napětí o $T/4$
a jejich **fázový rozdíl** je $\varphi = \frac{\pi}{2}$



$$u = U_m \sin \omega t$$
$$i = I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$
$$i = I_m \cos \omega t$$



Připojíme kondenzátor ke zdroji střídavého napětí s měnitelnou frekvencí:

kapacitance X_C = kapacitní reaktance = „jalový odpor“

- je nepřímo úměrná frekvenci a kapacitě
- představuje „odpor“ kondenzátoru
- Zavádí se proto, aby bylo možné porovnat chování kondenzátoru v obvodu střídavého proudu s cívkou a rezistorem.

$$X_C = \frac{U_m}{I_m}$$
$$[X_C] = \Omega$$
$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

V obvodu s kondenzátorem

**se nemění energie elektrického proudu v teplo,
ale v energii elektrického pole mezi deskami kondenzátoru.**

(Vzniká a zaniká elektrické pole.)

9.4. VÝKON ~ PROUDU V OBVODU S ODPOREM

výkon = $I \rightarrow$

$$P = U \cdot I = R \cdot I^2$$

$$U = R \cdot I$$

výkon $\sim I \rightarrow$

$$p = u \cdot i = R \cdot i^2$$

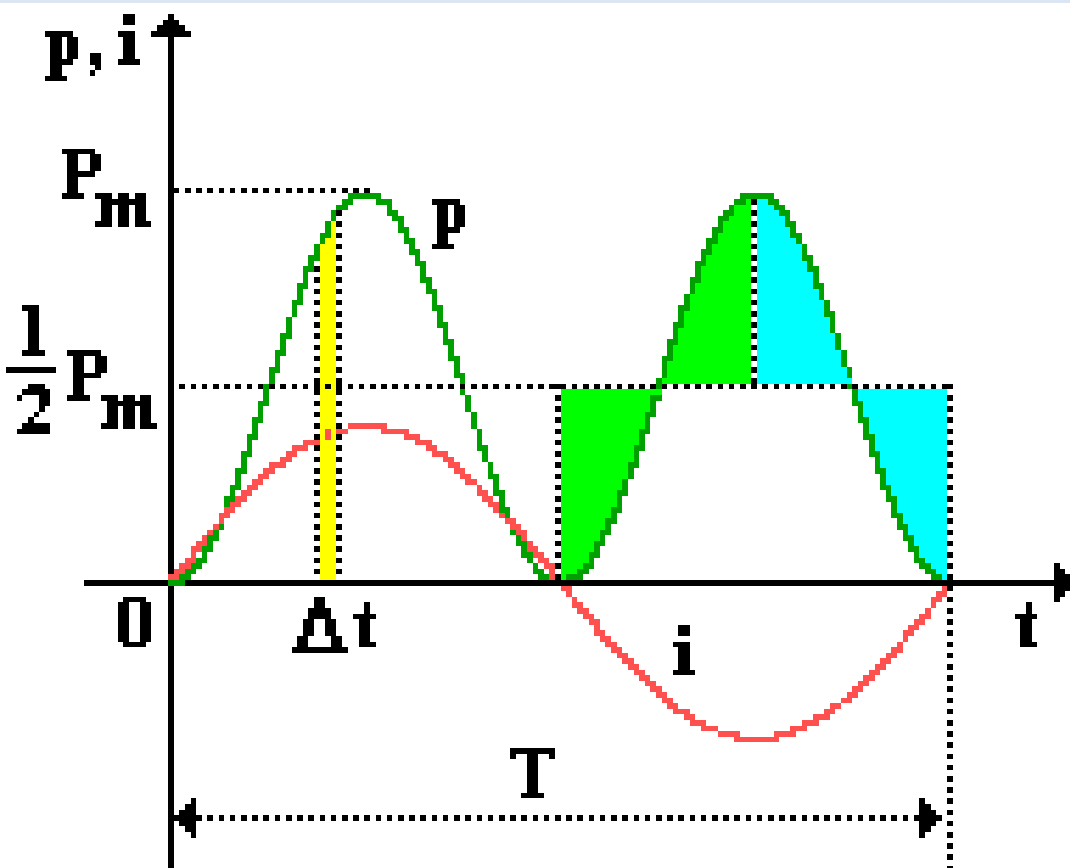
$$u = R \cdot i$$

výkon se mění

$$p = R \cdot I_m^2 \sin^2 \omega \cdot t$$

$$P_m = R \cdot I_m^2$$

amplituda výkonu



práce za Δt

$$\Delta W = p \cdot \Delta t$$

celková práce

$$W = \sum \Delta W$$

střední
hodnota
výkonu:

$$\bar{P} = \frac{W}{T} = \frac{\frac{P_m}{2} T}{T} = \frac{1}{2} R I_m^2$$

v obvodu = I: $P = R \cdot I^2$

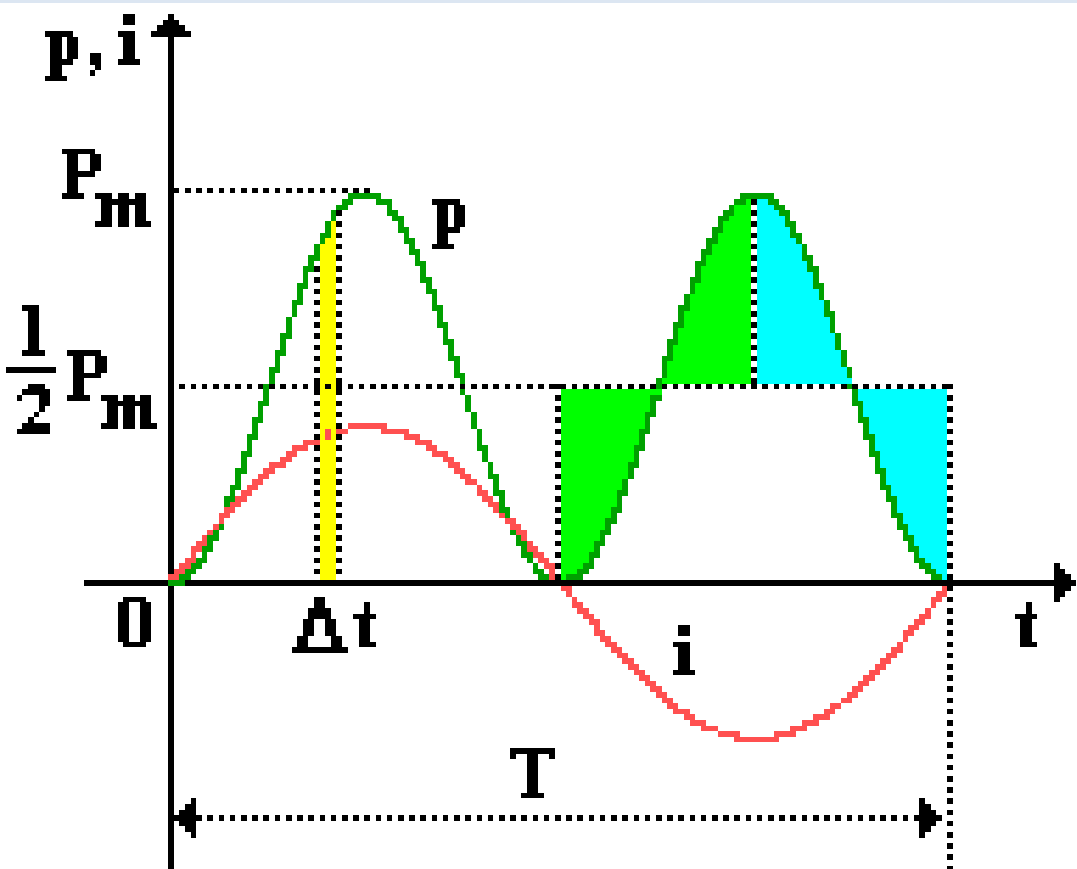
$$\bar{P} = P$$

$$\frac{1}{2} R I_m^2 = R \cdot I^2$$

$$\frac{1}{2} I_m^2 = I^2$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707 I_m$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707 U_m$$



Efektivní hodnoty

střídavého proudu a napětí se rovnají hodnotám stejnosměrným, při kterých má výkon v obvodu stejný výkon, jako střídavý proud.

Měřicí přístroje ukazují efektivní hodnoty.

9. 5. ČINNÝ VÝKON ~ PROUDU

Činný výkon

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

odpovídá elektrické energii dodané zdrojem, která se v obvodu za jednotku času mění v teplo nebo v užitečnou práci.

φ

- fázový rozdíl napětí a proudu

Účinník

$\cos \varphi$

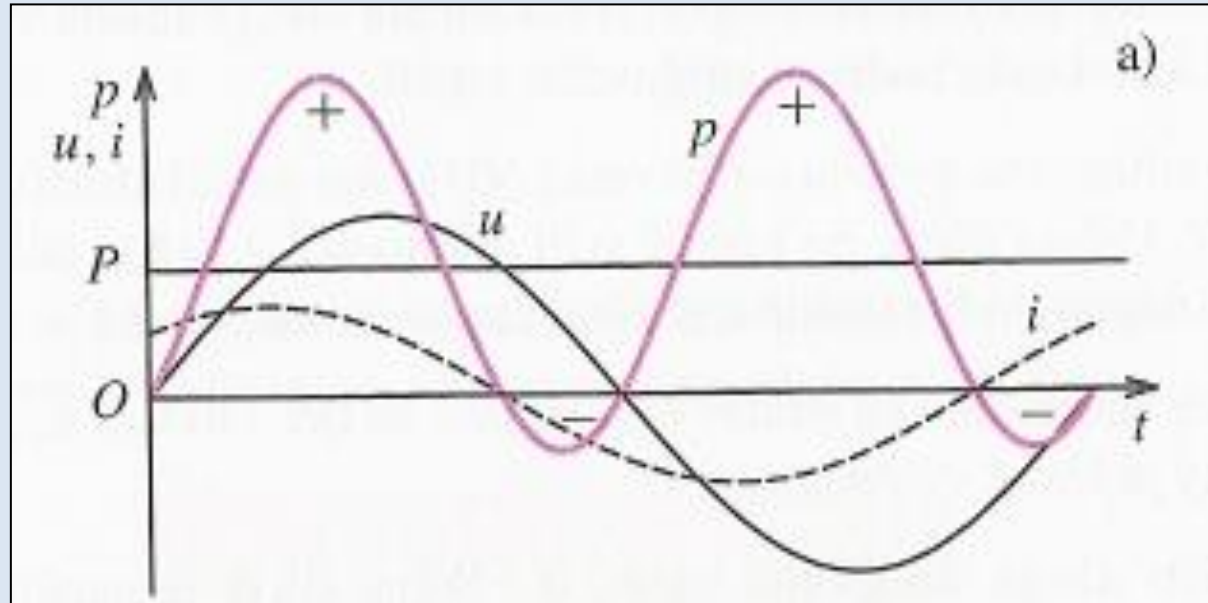
udává účinnost přenosu energie ze zdroje střídavého proudu do spotřebiče.

časový diagram výkonu v obvodu $\sim I$

- činný výkon**

je úměrný rozdílu
obsahů ploch
omezených
+ a - hodnotami

$$p = u \cdot i$$



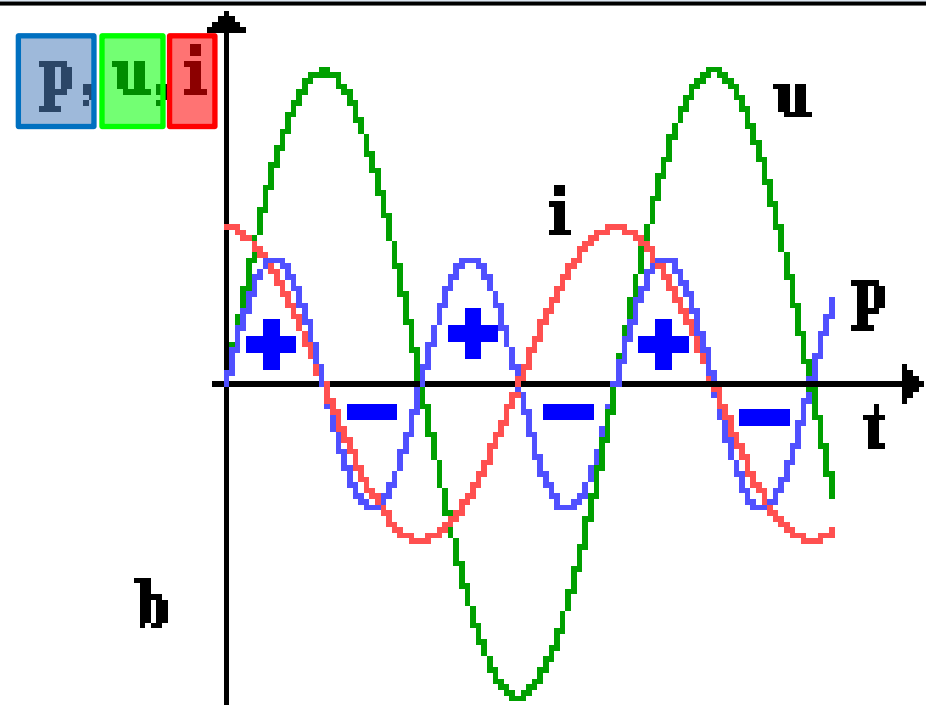
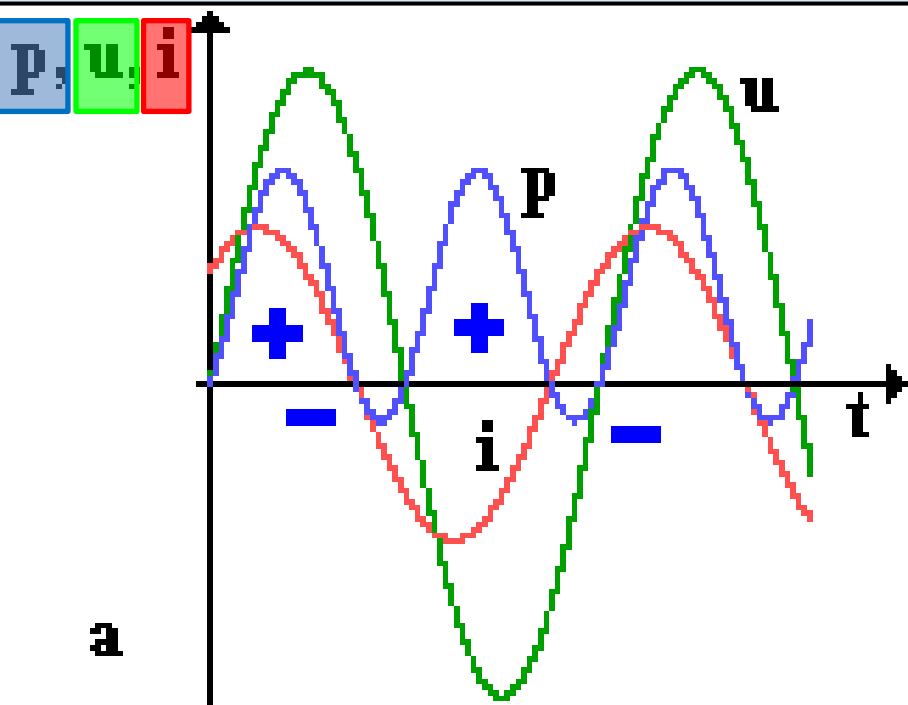
- zdánlivý výkon**

max. možný
výkon $\sim I$

$$\varphi = 0$$

$$\cos \varphi = 1$$

$$P = UI$$



$$0 < \varphi < \pm \frac{\pi}{2}$$

$$P = UI \cos \varphi$$

$$\varphi = \pm \frac{\pi}{2}$$

$$\cos \varphi = 0$$

$$P = 0$$

9. 6. SLOŽENÝ OBVOD STŘÍDAVÉHO PROUDU

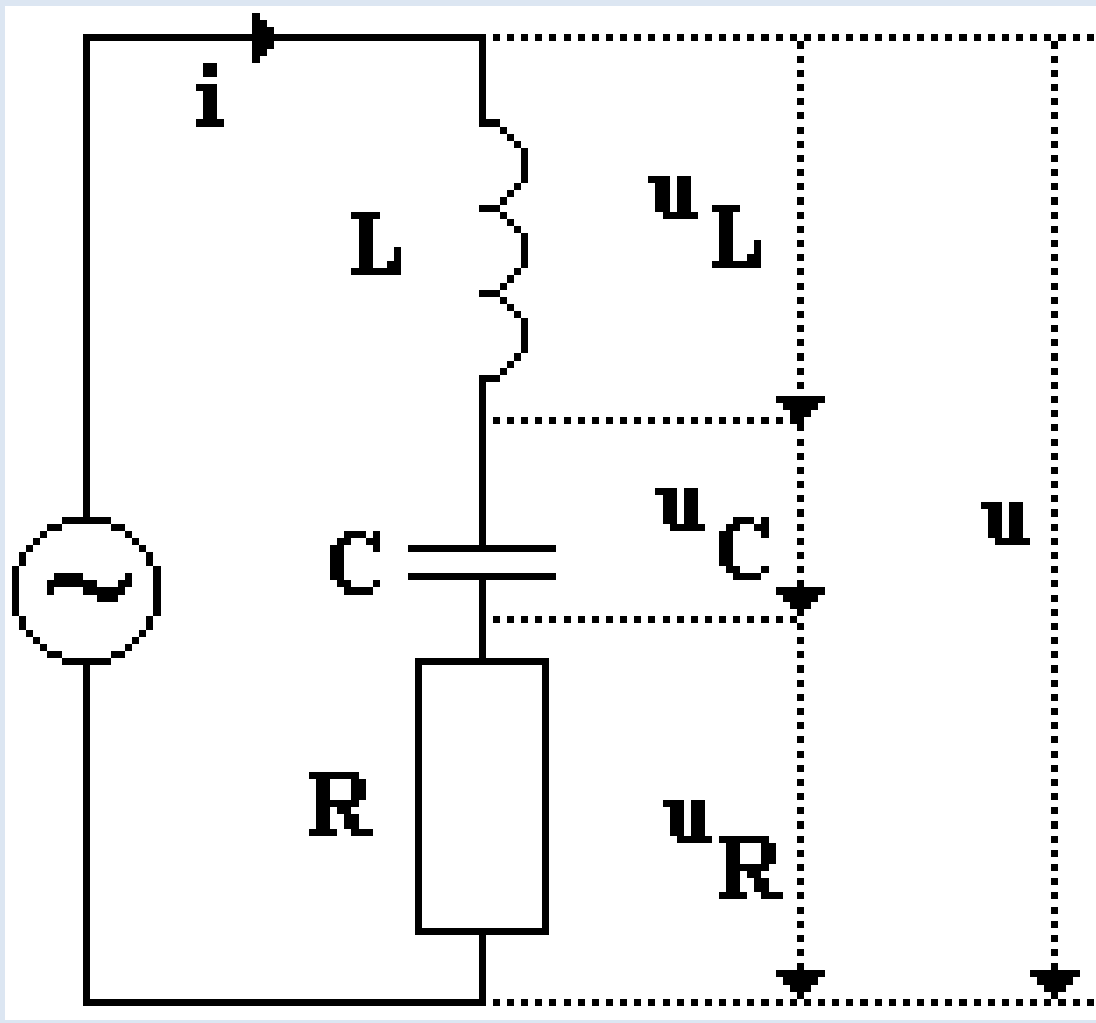
obvod RLC – složený odvod $\sim I$ s parametry RLC v sérii

Všemi prvky prochází stejný proud.

Napětí se liší velikostí a fází.

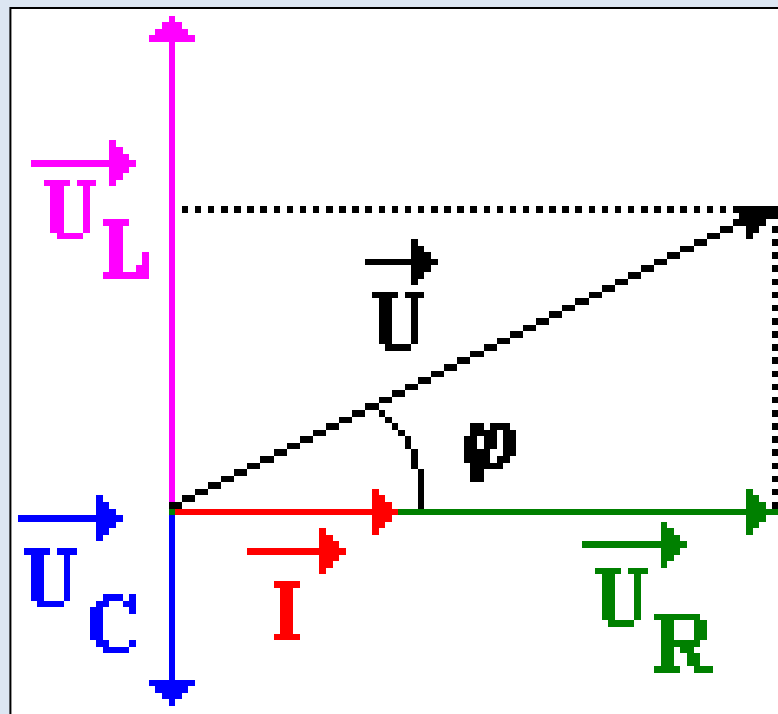
U – efektivní hodnota na celém obvodu

U_R, U_L, U_C
– efektivní hodnoty



fáze (efektivní hodnoty)	velikost
U_R stejná s I	$U_R = I \cdot R$
U_L předbíhá I o $\pi/2$	$U_L = I \cdot X_L$
U_C se zpožďuje za I o $\pi/2$	$U_C = I \cdot X_C$

Fázorově:



$$U^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2$$

$$U^2 = I^2 [R^2 + (X_L - X_C)^2]$$

$$U = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

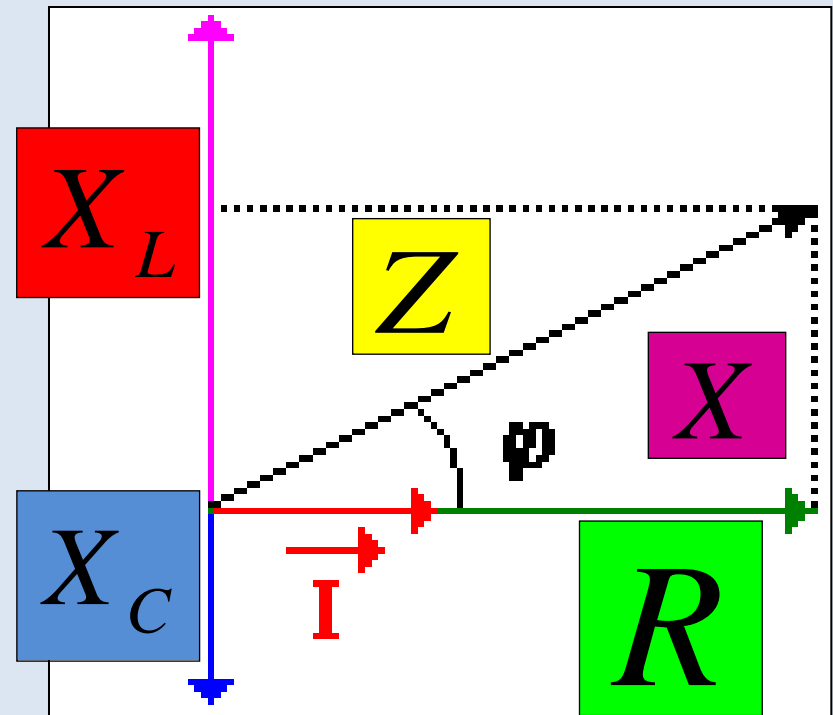
$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Z – impedance

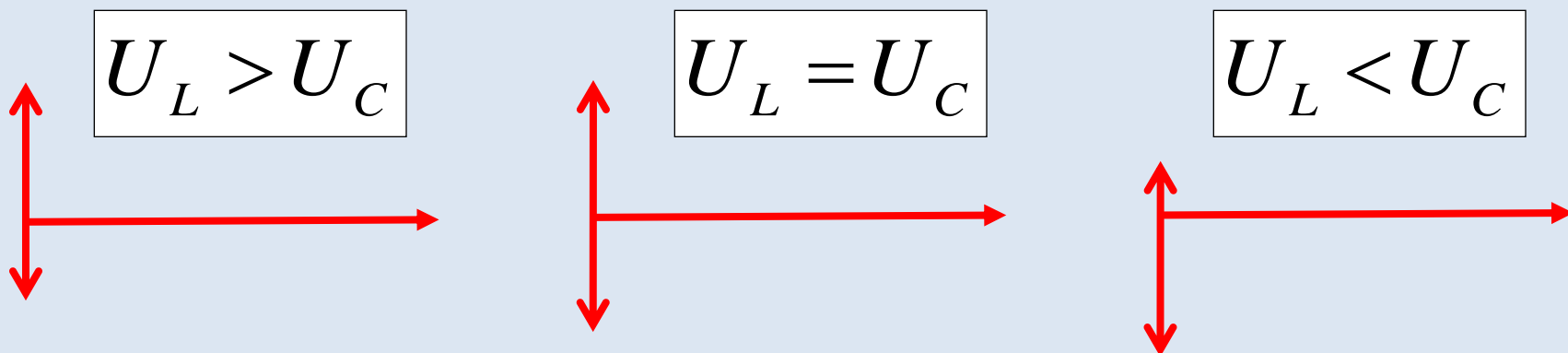
$$[Z] = \Omega$$

$$X = X_L - X_C$$

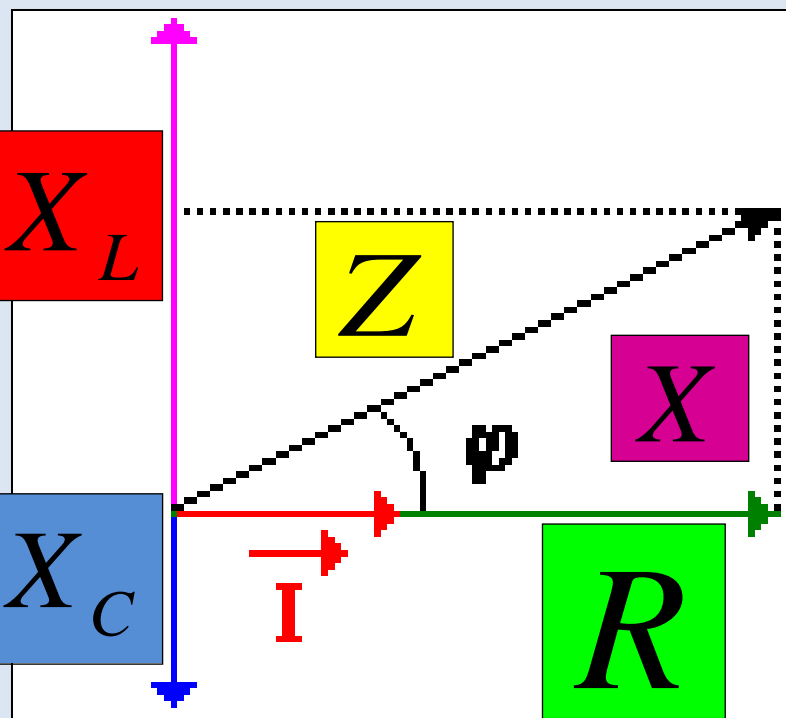
X – reaktance,
charakterizuje část
obvodu, kde se EM
energie nemění v teplo



Fázový rozdíl



$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R}$$
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{X}{R}$$
$$\varphi \in \left\langle -\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2} \right\rangle$$



Zvláštní případ $\varphi = 0$

- proud dosahuje max. hodnoty
- nastává rezonance střídavého obvodu

$$X_L = X_C$$

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

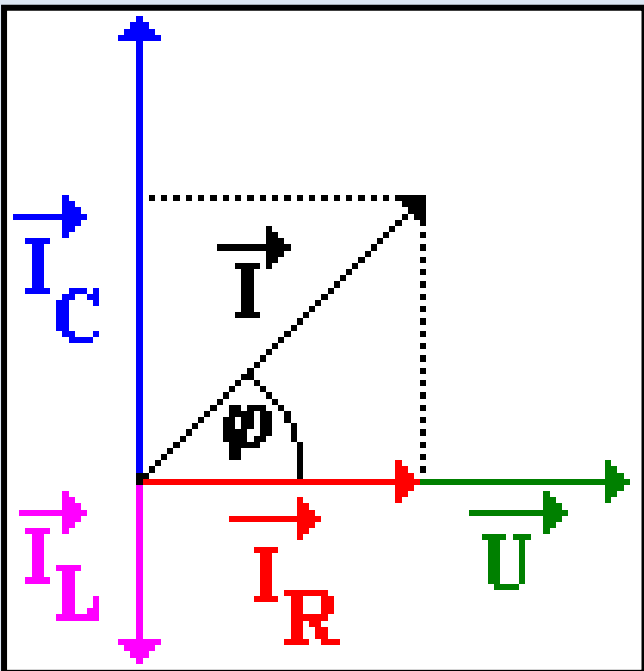
Thomsonův vztah

- rezonanční frekvence

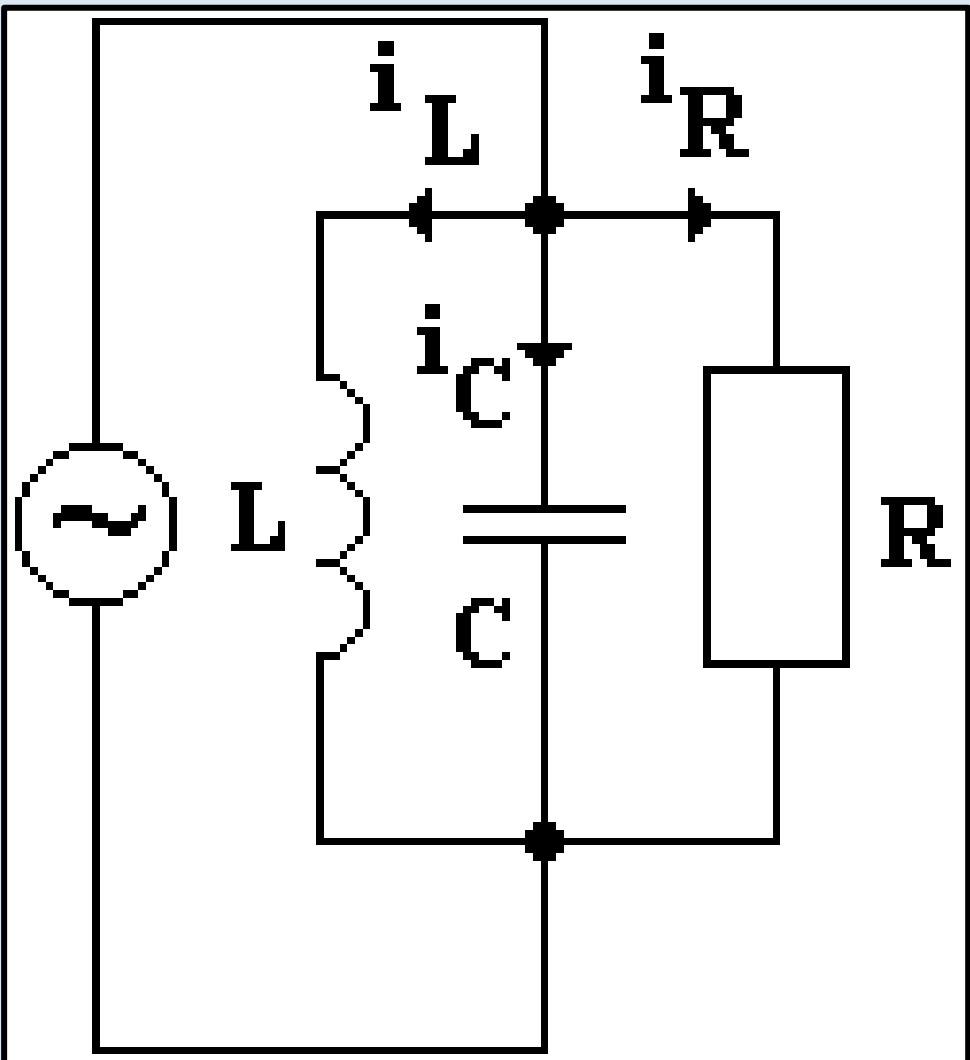
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

obvod RLC

složený odvod $\sim I$ s parametry RLC zapojenými paralelně

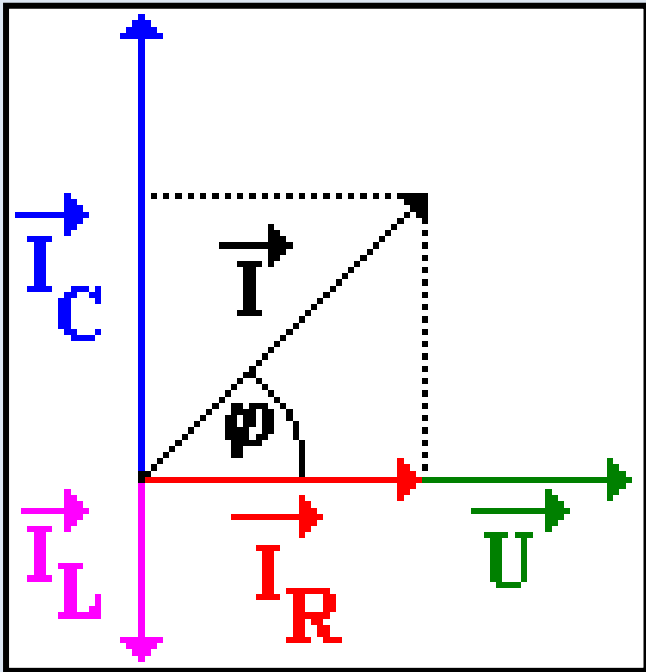


- napětí stejné
- proud je fázově posunut



obvod RLC

složený odvod ~ I s parametry RLC zapojenými paralelně



- admittance Y
[R] = $\Omega^{-1} = S$

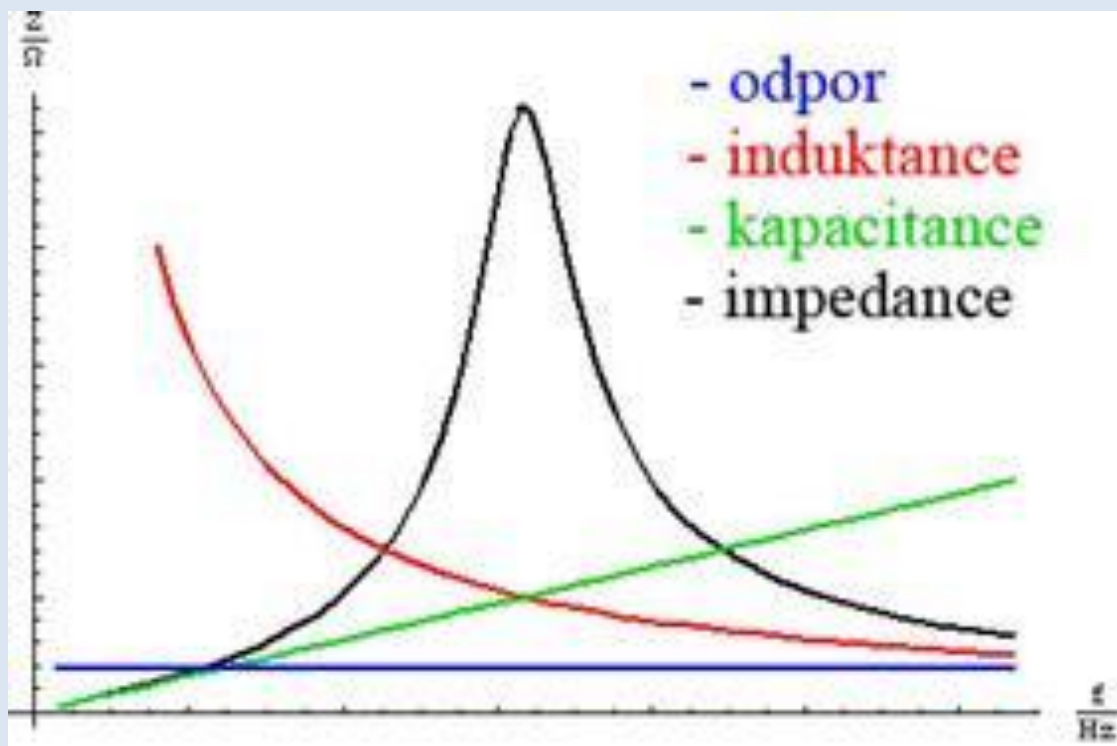
$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$$

$$I = \sqrt{\left(\frac{U}{R}\right)^2 + \left(\frac{U}{X_L} - \frac{U}{X_C}\right)^2}$$

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{U}{U \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}}$$

$$Y = \frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}$$

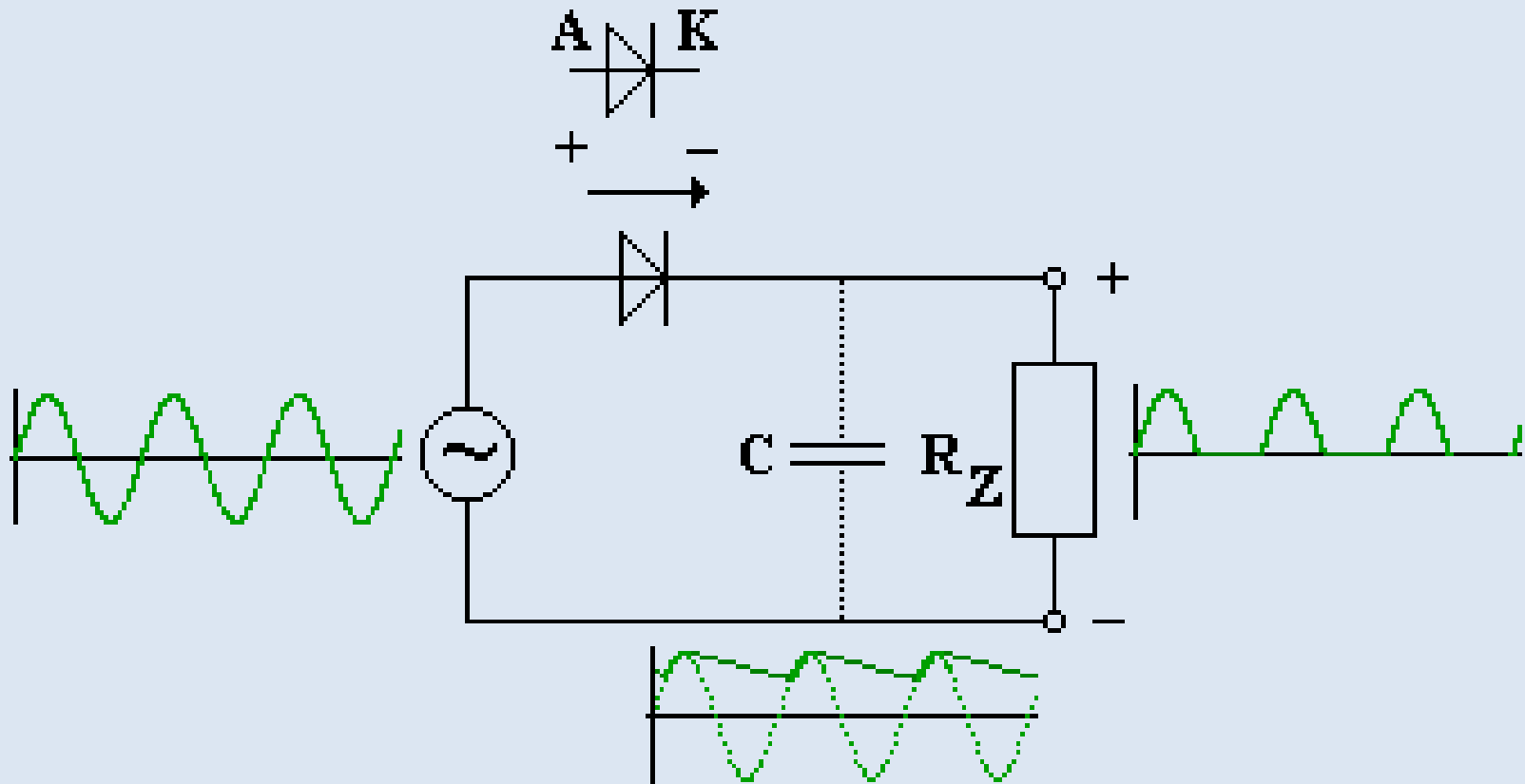
Graf závislosti odporu na frekvenci střídavého napětí.



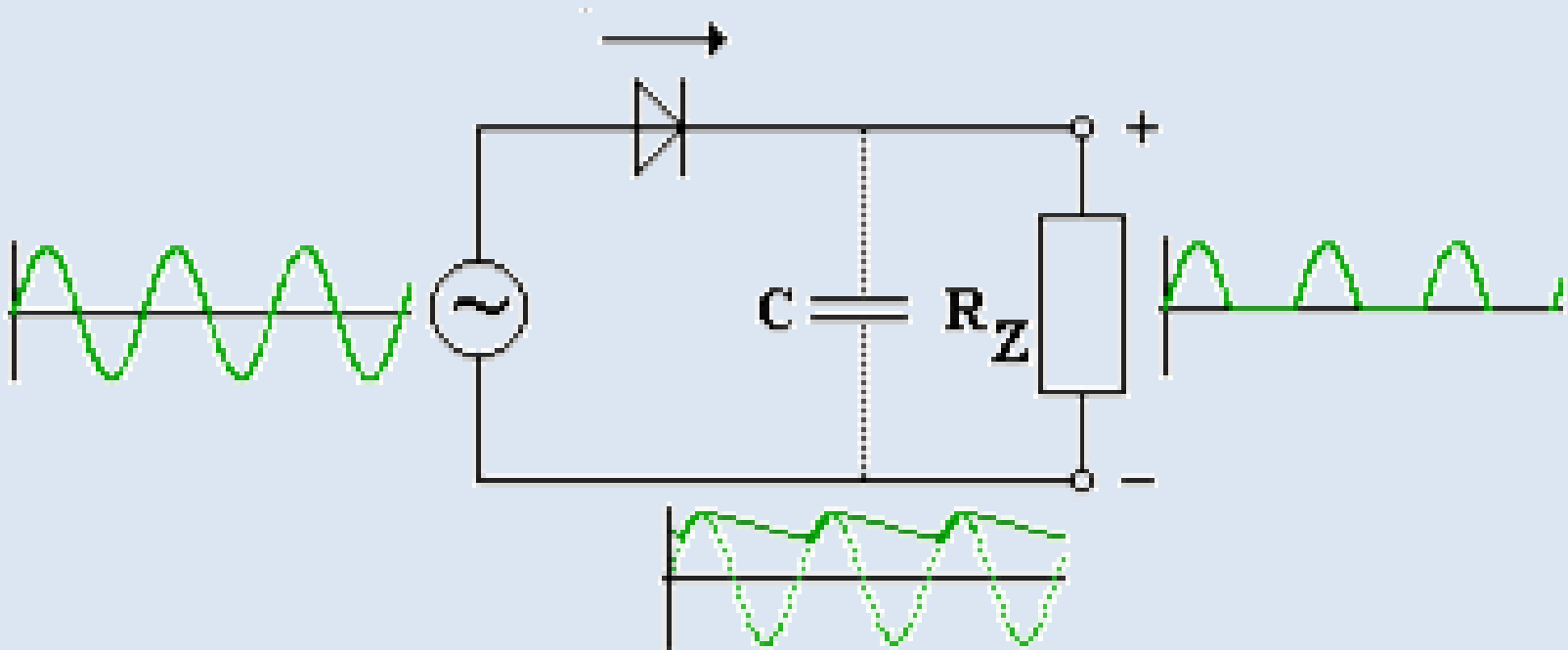
9.7. USMĚRŇOVAČ

mění $\sim U$ na $\equiv U$

- diodou prochází proud jen v kladných půlperiodách vstupního střídavého napětí

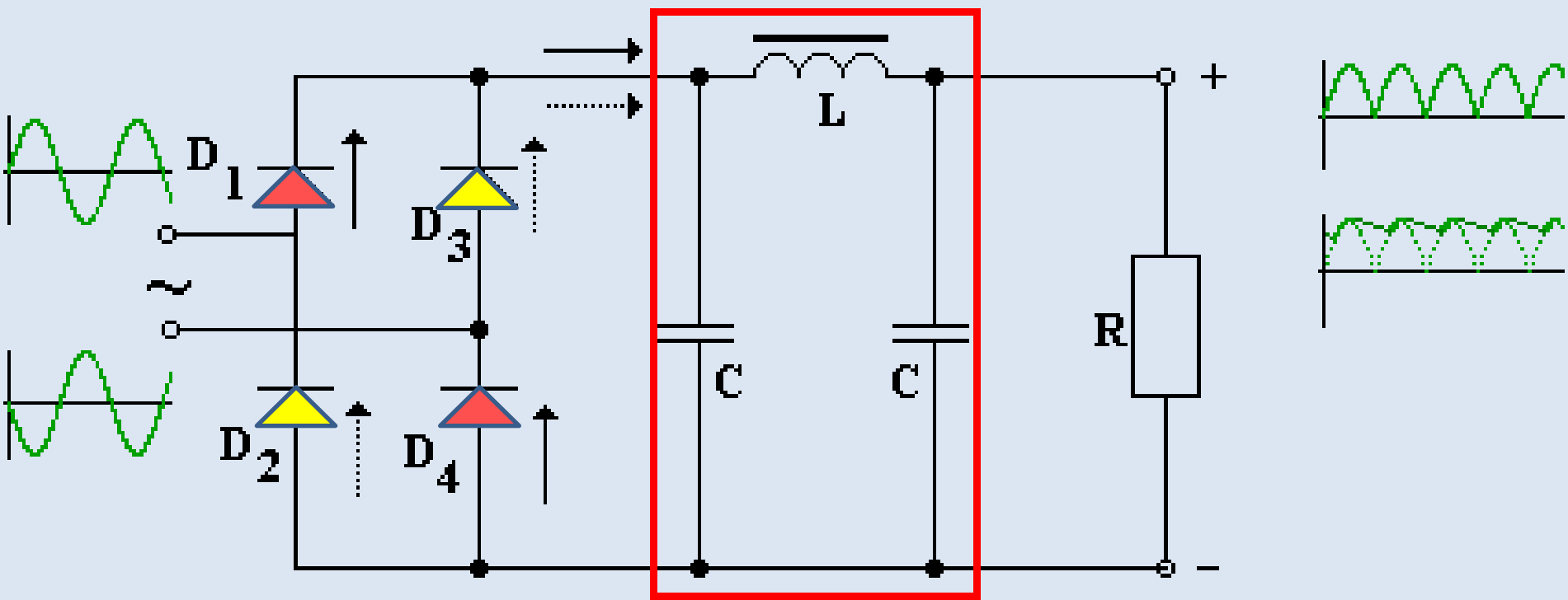


- výstupní napětí na rezistoru R_Z je stejnosměrné – pulzující
- dioda pracuje jako **jednocestný usměrňovač**
- zapojením kondenzátoru se usměrněné napětí vyhladí (čím $\uparrow C$ a R_Z tím hladší)
- v + půlperiodách se C nabíjí,
v – půlperiodách se přes R_Z vybíjí



Dvoucestný usměrňovač v tzv. Graetzově zapojení

Dvojicemi diod D_1 a D_2 , D_3 D_4 střídavě prochází proud a výstupní napětí pulzuje s dvojnásobnou frekvencí.

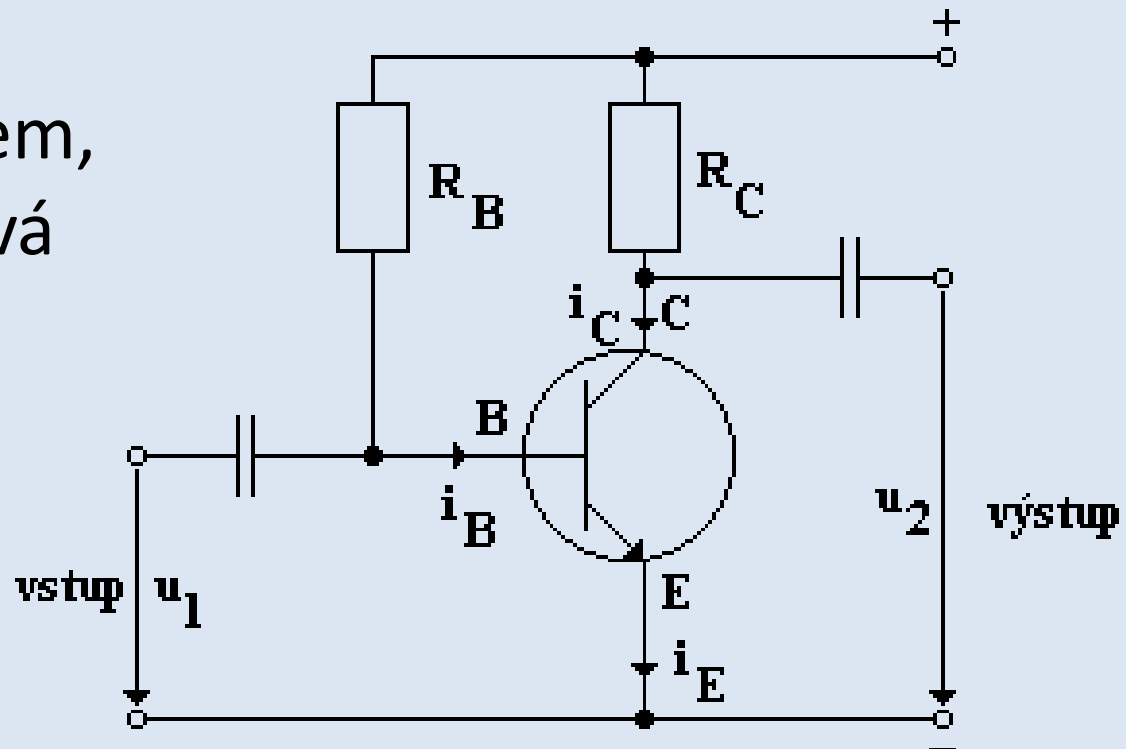


9. 8. ZESILOVAČ

slouží k zesilování proudu a napětí.

Tranzistorový zesilovač.

Uvedené schéma popisuje zapojení tranzistoru se společným emitorem, které se v praxi používá nejčastěji.



- Na **vstupu** je přivedeno střídavé napětí, které vyvolá v obvodu báze změny proudu.
- S kolektorem tranzistoru je spojen **výstup** zesilovače.
- Vstup a výstup je pomocí kondenzátorů oddělen od zdroje stejnosměrného napětí.
- Je nutné vhodně zvolit pracovní podmínky.
- Jestliže se vstupní napětí zvětšuje, výstupní napětí se zmenšuje a naopak.
- Vstupní a výstupní napětí mají opačnou fázi.
- V praxi jsou zesilovací stupně spojovány do složitých soustav.

