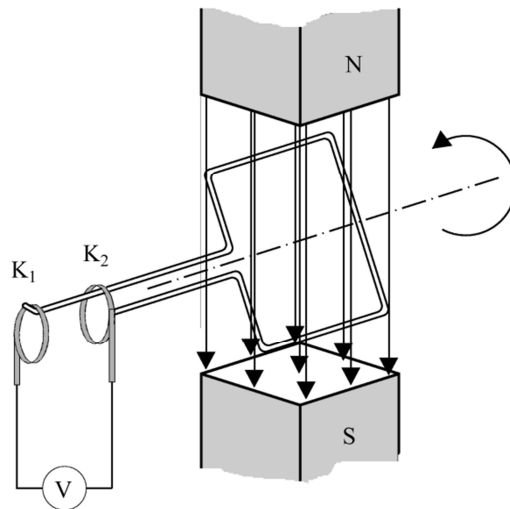


# Striedavý prúd

## Generátor striedavého prúdu

V homogénnom magnetickom poli medzi pólmi magnetu sa otáča cievka v podobe obdĺžnikového závitu. Konce cievky sú spojené s dvojicou vodivých krúžkov  $K_1$ ,  $K_2$ , ktorých sa dotýkajú pružné kovové kontakty. Na kontakty je pripojený citlivý voltmeter. Pri otáčaní cievky koná ukazovateľ voltmetra kmitavý pohyb, ktorý svedčí o tom, že sa v cievke indukuje striedavé napätie.



Pri skutočnom alternátore by nebolo prepojenie krúžkov s pružnými kontaktmi vhodné – vznikali by tak straty, napr. iskrením. Preto je konštrukcia alternátora upravená tak, že cievka, v ktorej sa indukuje striedavé napätie je v pokoji (je navinutá na *stator*) a magnet (*rotor*) sa otáča. Odber striedavého prúdu sa tak deje pomocou pevných svoriek.

Striedavé napätie sa mení v závislosti od času podľa funkcie sínus, a preto jeho okamžitú hodnotu v čase  $t$  určíme pomocou rovnice:

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

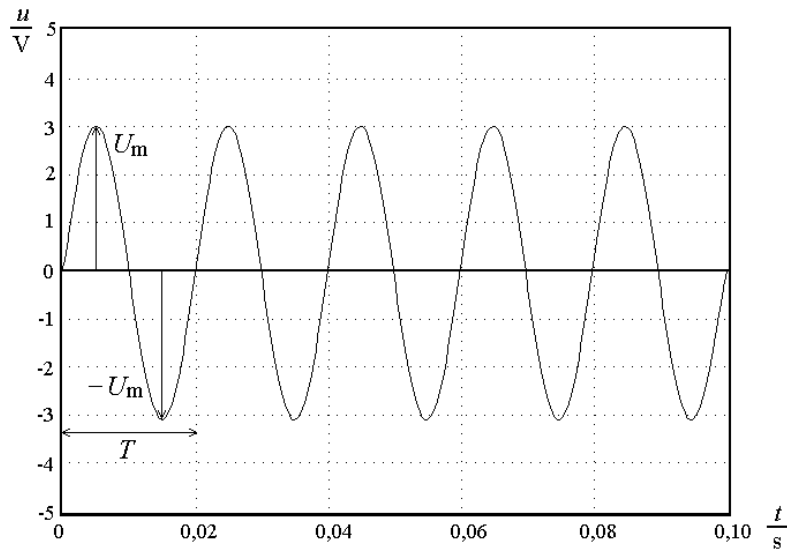
$U_m$  - amplitúda napätia

$T$  - perióda striedavého napätia

$f$  - frekvencia striedavého napätia

$\omega$  - uhlová frekvencia.

# Striedavý prúd



Otázka: Napíšte rovnicu pre napätie v zásuvke

$$U_m = U_{ef} \sqrt{2}$$

$U_{ef} = 230 \text{ V}$ .

## Obvod striedavého prúdu s odporom

Odpor  $R$  rezistora v obvode striedavého prúdu je rovnaký ako v obvode jednosmerného prúdu a nazýva sa **rezistencia**. Pre prúd  $i$ , ktorý prechádza elektrickým obvodom s odporom  $R$  a generátorom harmonického striedavého napätia

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

Z Ohmovho zákona vyplýva, že aj prúd sa mení harmonicky

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

Pričom  $I_m = U_m/R$ , je amplitúda prúdu.

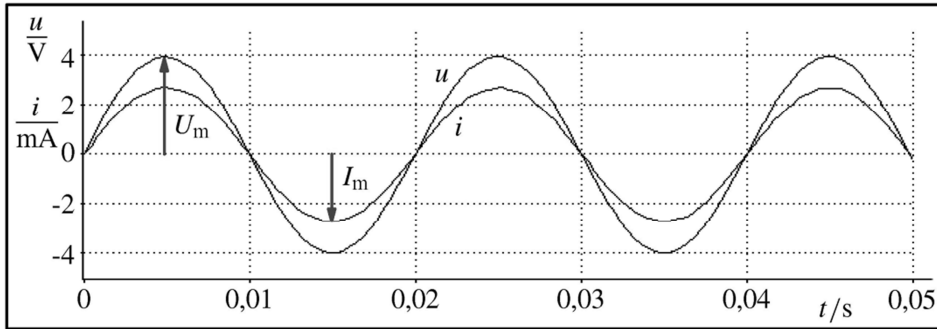
V jednoduchom obvode s rezistorom majú napätie aj prúd rovnakú fázu, fázový rozdiel je nulový

$\Delta\phi = 0$ .

$$i = \frac{u}{R} = I_m \sin(\omega t + 0)$$

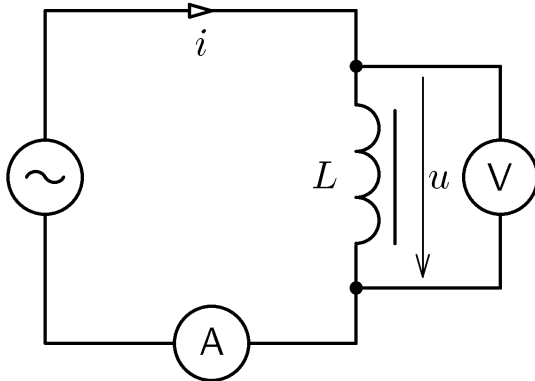
Zmeny prúdu prebiehajú súčasne so zmenami napätia. Túto situáciu charakterizujeme fyzikálnym pojmom a veličinou **fáza** a o priebehu časových diagramov potom hovoríme, že obidva priebehy majú rovnakú fázu.

# Striedavý prúd



## Obvod striedavého prúdu s cievkou

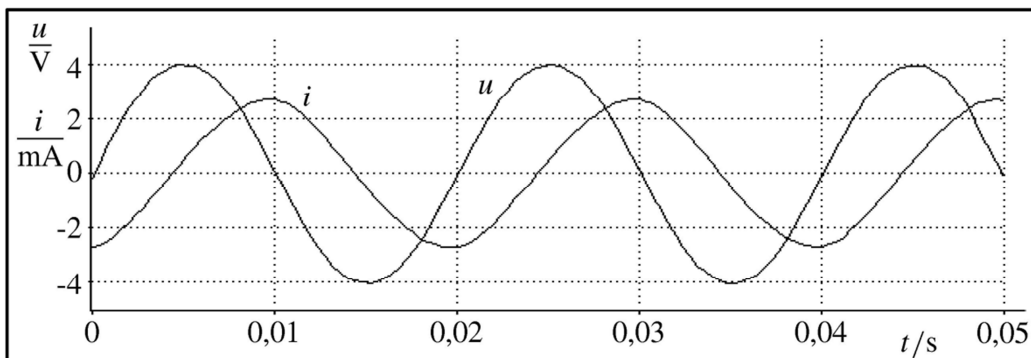
Striedavý prúd prechádzajúci vinutím cievky vytvára časovo premenné magnetické pole. To spôsobuje, že sa v cievke indukuje napätie, ktoré sa správa podľa Lenzovho zákona. V dôsledku toho prúd v obvode nadobúda najväčšiu hodnotu neskôršie než napätie. Prúd sa za napätím oneskoruje a vzniká **záporný fázový rozdiel**.



Krivka prúdu je posunutá vzhľadom na krivku napätia na časovej osi  $\frac{T}{4}$ . To znamená, že fázy napätia a prúdu sa navzájom líšia o hodnotu  $\varphi = -\frac{\pi}{2}$ , pričom priebeh prúdu sa **oneskoruje** za priebehom napätia. Pre okamžité hodnoty napätia a prúdu teda platia vzťahy

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

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



# Striedavý prúd

Hodnotu  $X_L = \frac{U}{I}$  nazývame **induktancia**.

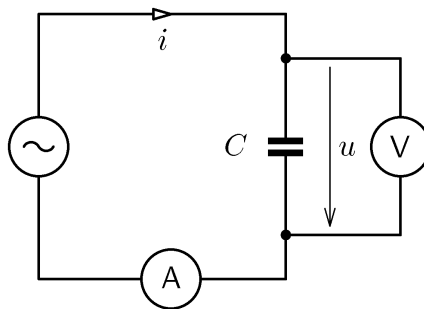
Cievka sa v striedavom obvode správa podobne ako rezistor. Nedochádza však k premene energie striedavého prúdu na teplo, ako je tomu v obvode s rezistorom. V cievke len vzniká a zaniká magnetické pole. Avšak jednotka induktancie je rovnaká ako jednotka odporu, t. j. *ohm*.

Induktancia cievky je priamo úmerná frekvencii.

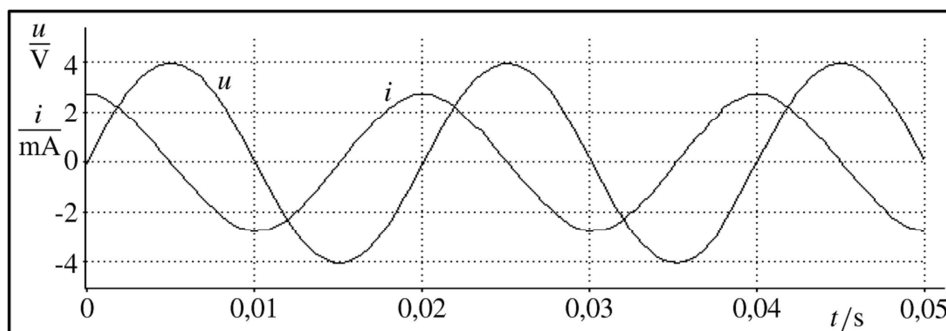
$$X_L = \omega L$$

## Obvod striedavého prúdu s kondenzátorom

Kondenzátor sa skladá z vodivých elektród, medzi ktorými je nevodivé dielektrikum – izolátor. Preto kondenzátor zaradený do elektrického obvodu predstavuje pre jednosmerný prúd prerušenie obvodu.



Kondenzátor v striedavom obvode má na fázové posunutie medzi prúdom a napätím opačné účinky ako cievka. Nabíjací prúd kondenzátora je najväčší v okamihu, keď je kondenzátor nenabitý, t. j. keď napätie medzi doskami kondenzátora je nulové. Naopak, v okamihu, keď je kondenzátor nabitý na napätie  $U_m$ , je prúd v obvode nulový.



že krivka prúdu je v tomto prípade časovo posunutá o  $\frac{T}{4}$  pred krivkou napätia. Prúd sa predbieha pred napätím a ich fázový rozdiel je  $\varphi_0 = -\frac{\pi}{2}$ . Okamžité hodnoty striedavého napätia a striedavého prúdu v obvode s kondenzátorom vyjadríme vzťahmi

## Striedavý prúd

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

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

Vlastnosti obvodu s kapacitou charakterizuje veličina **kapacitancia**  $X_C$ , ktorá sa definuje vzťahom

$$X_C = \frac{U}{I}$$

Kapacitancia sa s rastúcou frekvenciou striedavého napätia znižuje. Pre kapacitanciu obvodu striedavého prúdu platí vzťah:

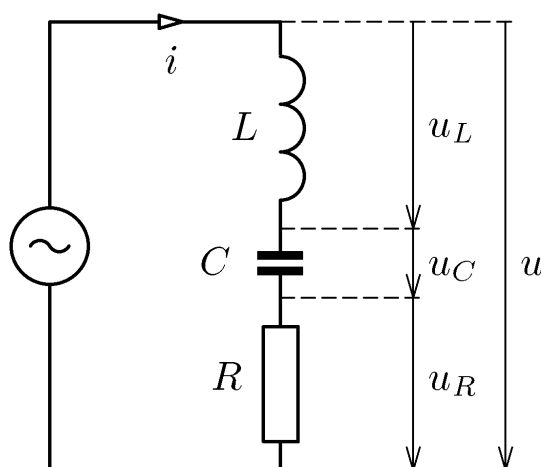
$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

Kapacita kondenzátora v obvode striedavého prúdu spôsobuje **fázový posun prúdu pred napätím o uhol  $\varphi = \pi/2$**  a ovplyvňuje prúd v obvode svojou kapacitanciou. Veľkosť kapacitancie je nepriamo úmerná kapacite kondenzátora a frekvencii striedavého prúdu.

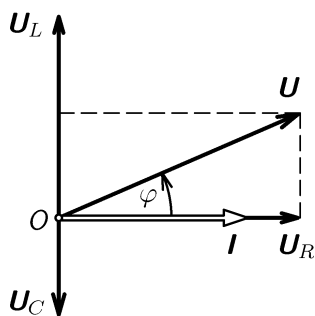
### Obvod striedavého prúdu s viacerými prvkami

Obvod, ktorý vznikol sériovým spojením rezistora, cievky a kondenzátora, teda obvodu s rezistanciou, indukčnosťou a kapacitanciou označíme ako **obvod s prvkami RLC v sérii**.

Pri sériovom spojení prechádza všetkými prvkami obvodu rovnaký prúd  $i$ , avšak napätie na jednotlivých prvkoch sa líši veľkosťou aj vzájomnými fázovými rozdielmi. Zatiaľ čo napätie  $u_R$  na rezistore má rovnakú fázu ako prúd, napätie  $u_L$  na cievke sa pred prúdom predbieha a napätie  $u_C$  na kondenzátore sa za prúdom oneskoruje. Vzhľadom na prúd prechádzajúci obvodom je fázový posun napätia  $u_L$  kladný a fázový posun napätia  $u_C$  je záporný.



## Striedavý prúd



Fázorový diagram obvodu s  $RLC$  v sérii

Pre názorný postup výpočtu použijeme zvláštny spôsob znázornenia veličín striedavého prúdu pomocou **fázorového diagramu**. Napätie a prúdy v obvode sa symbolicky znázorňujú orientovanou úsečkou, ktorú nazývame **fázor** a znázorňujeme v súradnicovej sústave. Fázor má dĺžku, ktorá sa rovná amplitúde príslušného napätia ( $U_R$ ,  $U_L$ ,  $U_C$ ), resp. prúdu  $I$  a s osou  $x$  zvierá uhol zodpovedajúci fáze veličiny v začiatočnom okamihu, keď je fáza prúdu nulová. Fázor napätia  $U_R$  má rovnaký smer ako fázor prúdu  $I$ , fázor napätia  $U_L$  zvierá s fázorom prúdu uhol  $+\pi/2$  a fázor  $U_C$  zvierá s fázorom prúdu uhol  $-\pi/2$ . Fázory sčítavame rovnakým spôsobom ako vektory a výsledné napätie  $U$  nájdeme ako geometrický súčet fázorov všetkých napätí. Pre veľkosť fázora  $U$ , t. j. pre amplitúdu napätia  $U$  na celom obvode  $RLC$  v sérii platí vzťah

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

Pretože

$$U_R = I R$$

$$U_L = I \omega L$$

$$U_C = \frac{I}{\omega C}$$

Potom

$$U = I \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

Obvod ako celok charakterizuje jediný parameter, ktorý sa nazýva **impedancia  $Z$** . Z Ohmovho zákona vyplýva pre impedanciu vzťah

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

Jednotkou impedancie **ohm**.

## Striedavý prúd

---

Pomocou fázorového diagramu tiež ľahko určíme fázový rozdiel napätia a prúdu v obvode s  $RLC$  v sérii:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

pre fázový posun  $\varphi$  platí

$$-\frac{\pi}{2} \leq \varphi \leq +\frac{\pi}{2}$$

Okrem pojmu impedancia sa používa aj pojem **reaktancia**  $X = X_L - X_C$ . Táto veličina charakterizuje vlastnosť tej časti obvodu striedavého prúdu, v ktorej sa elektromagnetická energia nemení na teplo, ale len na energiu elektrického a magnetického poľa. Zavedením reaktancie sa odvodené vzťahy zjednodušia na tvar

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

a

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X}{R}$$

Osobitný prípad nastane pri obvode s  $RLC$  v sérii, ak je pri danej frekvencii indukcia obvodu rovnaká, ako jeho kapacitancia. Potom platí  $X_L = X_C$  a zo vzťahu pre impedanciu vyplýva  $Z = R$ . Fázový rozdiel napätia a prúdu sa v tomto prípade rovná nule a obvod má vlastnosti rezistencie. Prúd v obvode dosahuje najväčšiu hodnotu.

Tento prípad označujeme ako **rezonancia** striedavého obvodu. Pod pojmom rezonancia striedavého obvodu rozumieme skutočnosť, že pri danom striedavom napätí obvodom prechádza najväčší prúd a jeho veľkosť určuje len rezistencia obvodu  $R$ . Prúd v obvode závisí od frekvencie a dosahuje najväčšie hodnoty pri **rezonančnej frekvencii**  $f_0$ . Určíme ju z podmienky

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

Odtiaľ

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \quad a \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

# Striedavý prúd

## Činný výkon striedavého prúdu

V obvode s rezistorom sa elektrická energia mení na teplo. V obvode s ideálnou cievkou alebo s kondenzátorom sa však menia len formy elektrickej energie. Mení sa energia elektrického prúdu na energiu magnetického poľa.

Tento dej sa nespája s konaním užitočnej práce.

Čím **menší** je fázový rozdiel medzi napätím a prúdom v obvode, tým **väčší** je užitočný, alebo tiež **činný výkon striedavého prúdu**.

Pre činný výkon platí vzťah:

$$P = U_{ef} I_{ef} \cos \varphi$$

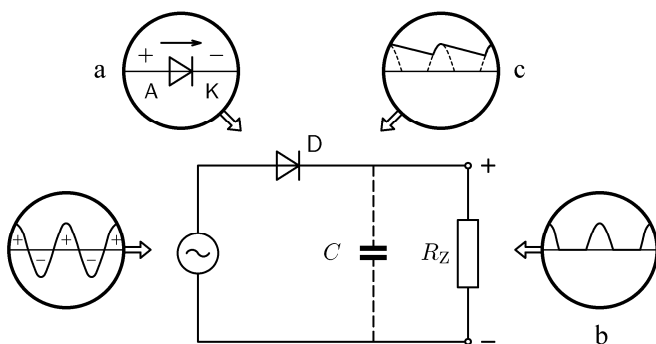
Činiteľ  $\cos \varphi$  nazývame **účinník**. Účinník nadobúda hodnoty od 0 (pre  $\varphi = \pm \frac{\pi}{2}$ ) do 1 (pre  $\varphi = 0$ ). Jednotkou činného výkonu je *watt* [W].

Pri elektrických strojoch sa uvádza ich **zdanlivý výkon**  $P_s = UI$ . Účinník je potom určený podielom činného a zdanlivého výkonu. Jednotkou zdanlivého výkonu je *voltampér*, [VA].

Príklad: Na štítku elektromotora na striedavý prúd sú údaje: 230 V, 5 A,  $\cos \varphi = 0,8$ . Aký je činný výkon motora?

## Usmerňovač

V technickej praxi často treba premeniť striedavé napätie na jednosmerné napätie. Tento dej nazývame usmernenie striedavého napätia, resp. prúdu a príslušné zariadenie sa nazýva **usmerňovač**, ktorý využíva **diódu**.

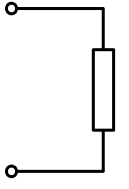
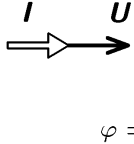
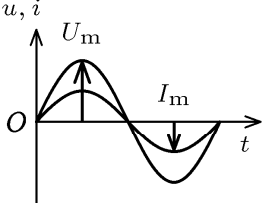
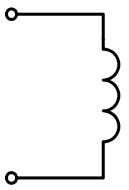
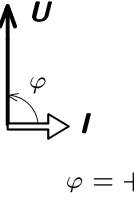
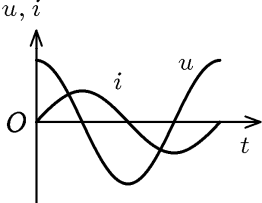
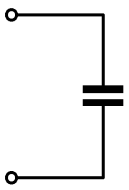
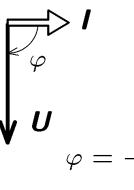
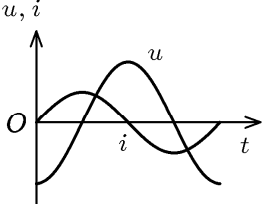
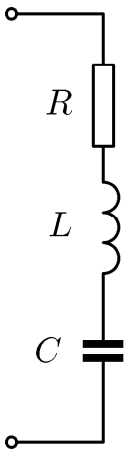
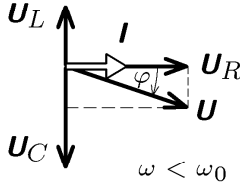
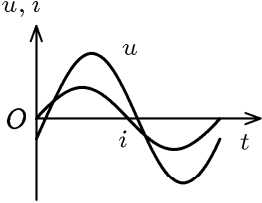
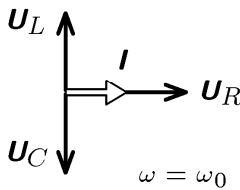
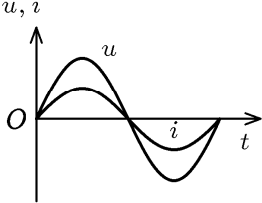
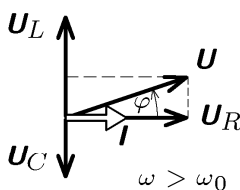
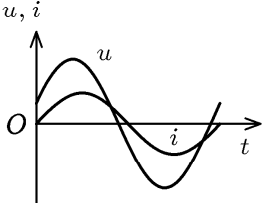
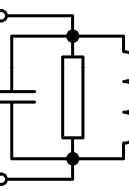
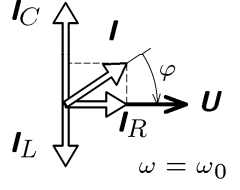
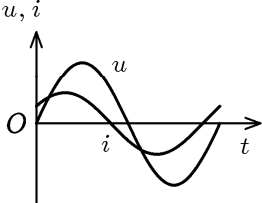


## Tranzistor

Ako striedavé prúdy môžeme označiť nielen prúdy v elektrickej sieti, ale aj prúdy s vyššími frekvenciami, ktoré majú veľký význam najmä v komunikačnej technike pri prenose a spracovaní informácie, kde sa označujú ako signály. Amplitúda týchto striedavých napätí, resp. prúdov je obvykle veľmi malá a v prijímacom zariadení, napr. v rozhlasovom prijímači treba amplitúdu signálov zväčšiť, t. j. zosilniť signál. Základná polovodičová súčiastka, ktorá sa k tomu používa, je **tranzistor**.

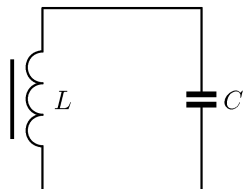
# Striedavý prúd

## Prehľad obvodov striedavého prúdu

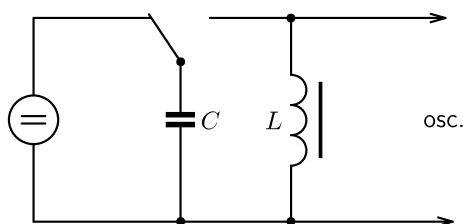
	$R$	 $\varphi = 0$	
	$X_L = L\omega$	 $\varphi = +\frac{\pi}{2}$	
	$X_C = \frac{1}{\omega C}$	 $\varphi = -\frac{\pi}{2}$	
	$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$	 $\omega < \omega_0$	
		 $\omega = \omega_0$	
		 $\omega > \omega_0$	
	$Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}}$	 $\omega = \omega_0$	

## Elektromagnetický oscilátor

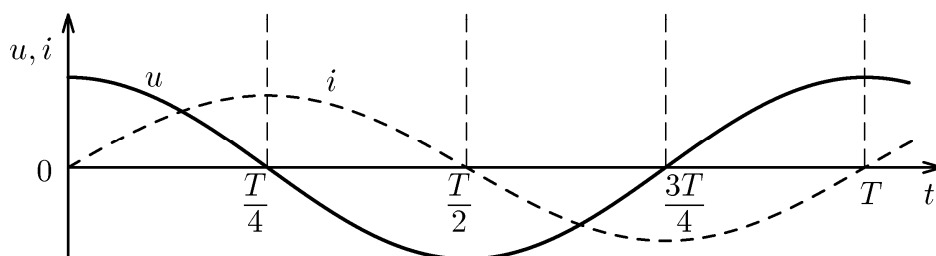
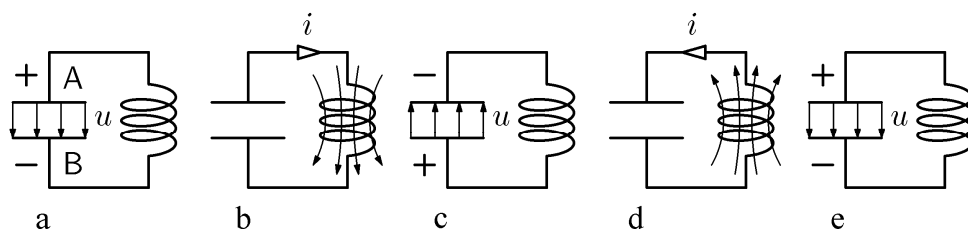
Najjednoduchším elektromagnetickým oscilátorom je obvod zostavený z cievky a kondenzátora – obvod LC alebo oscilačný obvod. Parametrami oscilačného obvodu sú vlastná indukčnosť  $L$ , kapacita  $C$  a odpor  $R$ .



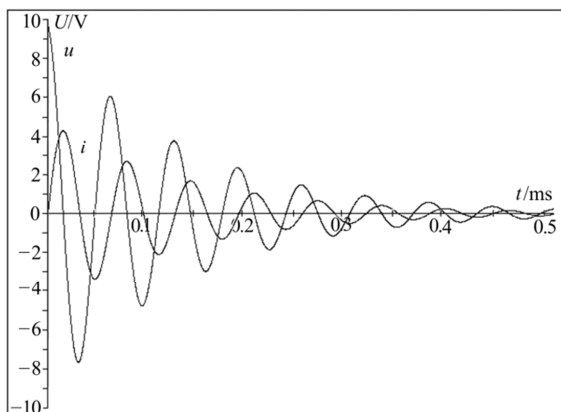
Oscilačný obvod



Demonštrácia kmitania oscilačného obvodu



Energia elektrického poľa kondenzátora sa mení na energiu magnetického poľa cievky.



## Striedavý prúd

Je zrejmé, že najväčšie hodnoty napätí a prúdov, t. j. ich amplitúdy sa postupne znižujú. Príčinou je odpor  $R$  oscilačného obvodu (prevažne má na ňom podiel odpor vinutia cievky). V ňom sa energia elektrického a magnetického poľa postupne premieňa na teplo. **Elektromagnetické kmitanie oscilačného obvodu je tlmené.**

Mechanický oscilátor	Elektromagnetický oscilátor
okamžitá výchylka $y$	okamžitý náboj $q$
rýchlosť $v$	prúd $i$
energia potenciálna $E_p = \frac{1}{2}ky$	energia elektrického poľa $E_e = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$
energia kinetická $E_k = \frac{1}{2}mv^2$	energia magnetického poľa $E_m = \frac{1}{2}Li^2$
sila $F$	elektrické napätie $u$
hmotnosť $m$	indukčnosť $L$
tuhosť pružiny $k = \frac{F}{y}$	recipročná hodnota kapacity $\frac{1}{C} = \frac{u}{q}$

**Thomsonov vzťah pre periódu vlastného kmitania elektromagnetického oscilátora**

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$$

### Nútené kmitanie elektromagnetického oscilátora

Pripojením elektromagnetického oscilátora na zdroj harmonického napätia vzniká v oscilátore nútené kmitanie. Oscilátor kmitá s frekvenciou pripojeného zdroja a nie s frekvenciou vlastného kmitania. Nútené kmitanie je netlmené.

Frekvencia núteného kmitania teda nezávisí od parametrov oscilačného obvodu. Vlastnosti oscilátora však ovplyvňujú amplitúdu núteného kmitania, ktorá je najväčšia pri rezonancii, t. j. keď sa frekvencia núteného kmitania rovná vlastnej frekvencii oscilačného obvodu ( $\omega = \omega_0$ ).

Rezonancia elektromagnetického oscilátora nachádza významné uplatnenie najmä v komunikačnej technike. Oscilačný obvod je napr. súčasťou rozhlasového prijímača, kde je spojený s anténou, ktorá zachytáva elektromagnetické signály z vysielateľa. Napätie vznikajúce v anténe je obvykle malé, ale pri ladení (obvykle zmenou kapacity kondenzátora) sa menia parametre oscilačného obvodu tak, aby bol v rezonancii s frekvenciou prijímaných signálov. Oscilačný obvod sa s touto frekvenciou rozkmitá, vzniká na ňom podstatne väčšie napätie, ako je napätie z antény (dochádza k rezonančnému zosilneniu prijatého signálu) a v ďalších častiach prijímača sa signál ďalej spracuje.