

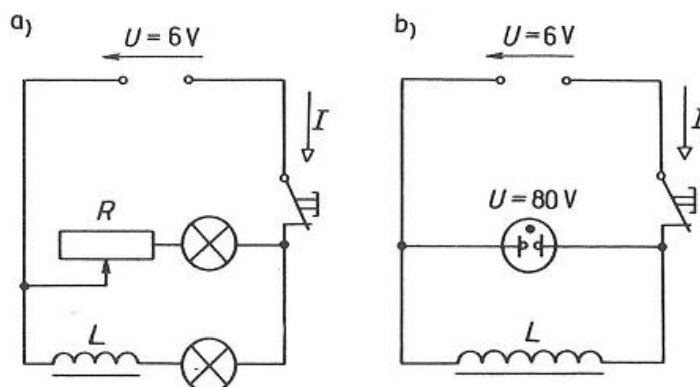
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Předmět:	Ročník:	Vytvořil:	Datum:
ELEKTROTECHNIKA	PRVNÍ	ZDENĚK KOVAL	30. 9. 2013
Název zpracovaného celku:			
Ele 1 – elektromagnetická indukce, střídavý proud, základní veličiny, RLC v obvodu střídavého proudu			

5.7.2 Vlastní indukce

Poznali jsme, že v cívce se indukuje napětí, mění-li se v jejím okolí magnetický tok. Pokusíme se zjistit, jaké jevy vznikají v cívce, kterou připojujeme ke zdroji, popřípadě ji od zdroje napětí odpojujeme.

Pokus 1 : Sestavíme obvod podle obrázku a. Proud procházející žárovkou nařídíme rezistorem s posuvným kontaktem tak, aby svítivost obou paralelně zapojených žárovek byla stejná. Proud v obvodu několikrát zapneme a vypneme. Všimneme si, že žárovka v obvodu s cívkou se rozsvítí vždy později než žárovka ve větvi s rezistorem.



a) obvod s rezistorem; b) obvod s doutnavkou

Pokus 2: Sestavíme obvod dle obrázku b. Opět ho několikrát zapneme a vypneme. Při každém přerušení proudu se doutnavka krátce rozsvítí. Doutnavka svítí až při napětí větším jak 80 V, ale obvod je napojen na akumulátor s napětím 6 V. Je tedy zřejmé, že v cívce se při každém přerušení proudu indukuje napětí nejméně 80 V.

Oba pokusy potvrzují, že i v samotné cívce připojené ke zdroji napětí se při každé změně magnetického indukčního toku indukuje napětí. Podle Lenzova pravidla působí toto indukované napětí proti změně, která je jeho příčinou.

Při zapnutí proudu se indukuje napětí opačného směru, proto se při prvním pokusu žárovka v obvodu cívky rozsvítí později. Při přerušení proudu zaniká elektromagnetické pole v okolí cívky a tím se v ní indukuje napětí, které se přičte k napětí zdroje. Toto napětí může být i mnohonásobně větší, než bylo původní napětí a proto doutnavka svítí.

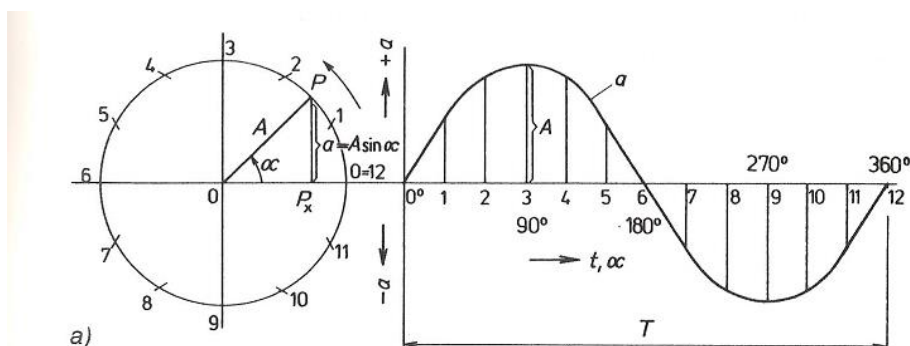
Všechny popsány jevy jsou důsledkem tzv. Vlastní elektromagnetické indukce, tj. indukce, která probíhá přímo ve vodiči, v němž se mění proud. Na vodič zpětně působí magnetické pole, jež se kolem něj vytváří.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

6. STŘÍDAVÝ PROUD

6.1 Základní veličiny sinusového průběhu

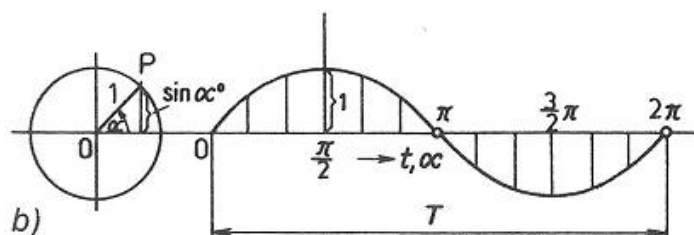
Bude-li se úsečka $A = OP$ na obrázku otáčet kolem svého bodu O proti pohybu hodinových ručiček, bude bod P opisovat kružnici a úhel α se bude měnit od 0° do 360° . Svírá-li úsečka A s vodorovnou osou úhel α , rovná se souřadnice $PP_x = a = A \sin \alpha$ okamžité hodnotě veličiny sinusového průběhu. Bude-li se úhel α zvětšovat od 0° do 90° , bude se úsečka a také zvětšovat, a to z nulové hodnoty až na maximální hodnotu A , tzv. amplitudu. Při zvětšení úhlu od 90° do 180° se bude úsečka a zmenšovat až na nulu, ale bude stále nad vodorovnou osou, tj. bude mít kladnou hodnotu. Při dalším zvětšování úhlu od 180° do 360° se bude úsečka a opět zvětšovat od nuly do A a pak se zase bude zmenšovat na nulu. Úsečka a leží v tomto intervalu pod vodorovnou osou, a proto okamžité hodnoty veličiny sinusového průběhu jsou záporné.



Grafické znázornění veličiny sinusového průběhu

V pravé části obr. a je rozvinutí vynesena závislost úsečky a na úhlu α . Je to grafické znázornění veličiny sinusového průběhu daného rovnici $a = A \sin \alpha$. Na vodorovnou osu je nanesen úhel α ve stupních a na kolmice jsou vyneseny příslušné okamžité hodnoty úsečky a . Spojením jednotlivých bodů dostaneme plynulou křivku, zvanou sinusoida.

Kdybychom za úsečku A zvolili úsečku jednotkové délky (např. 1 m), dostali bychom místo vztahu $a = A \sin \alpha$ vztah $a = \sin \alpha$. Kružnice, po které by se pohyboval bod P , by byla jednotková kružnice a délka oblouku odpovídající určitému úhlu by udávala tento úhel v radiánech. Křivka se nazývá sinusoidou.



Skutečná sinusoida

Na obrázku b vidíme, že se každý sinusový průběh od 0° do 360° skládá ze dvou stejných půlvln, z nichž jedna je nad vodorovnou osou (kladná půlvlna) a druhá pod vodorovnou osou (záporná půlvlna). Obě půlvlny znázorňují jeden kmit. Čas potřebný k proběhnutí jednoho kmitu se nazývá perioda a označuje se T . Počet kmitů za 1 sekundu, se nazývá kmitočet neboli frekvence a označuje se f .



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$$f = \frac{1}{T}$$

Kmitočet je fyzikální veličina a její jednotkou je hertz (Hz). Rozměr Hz za s^{-1} .

Jeden hertz je kmitočet periodického (opakujícího se) děje, jehož jedna perioda trvá jednu sekundu.

V rovnici $a = A \sin \alpha$ se úhel α dosazuje ve stupních. Tento úhel je však úměrný času t , a protože $360^\circ = 2\pi \text{ rad}$, můžeme jej také vyjádřit v závislosti na čase úměrou

$$\alpha : 2\pi = t : T$$

$$\alpha = \frac{2\pi t}{T} = 2\pi f t = \omega t$$

Výraz $2\pi f = \omega$ (čti omega) vyjadřuje úhel, který proběhne otáčející se úsečka OP za jednu sekundu. Tento úhel nazýváme úhlový kmitočet; udává se v radiánech za sekundu.

Pro okamžitou hodnotu sinusového průběhu píšeme tedy rovnici

$$A = A \sin \omega t$$

Při stanovení velikosti funkce časového úhlu musíme tento úhel převést na stupně, a to tak, že časový úhel v radiánech násobíme číslem 57,3. Platí totiž

$$1 \text{ rad} = \frac{360^\circ}{2\pi} = \frac{360}{6,28} = 57,3^\circ$$

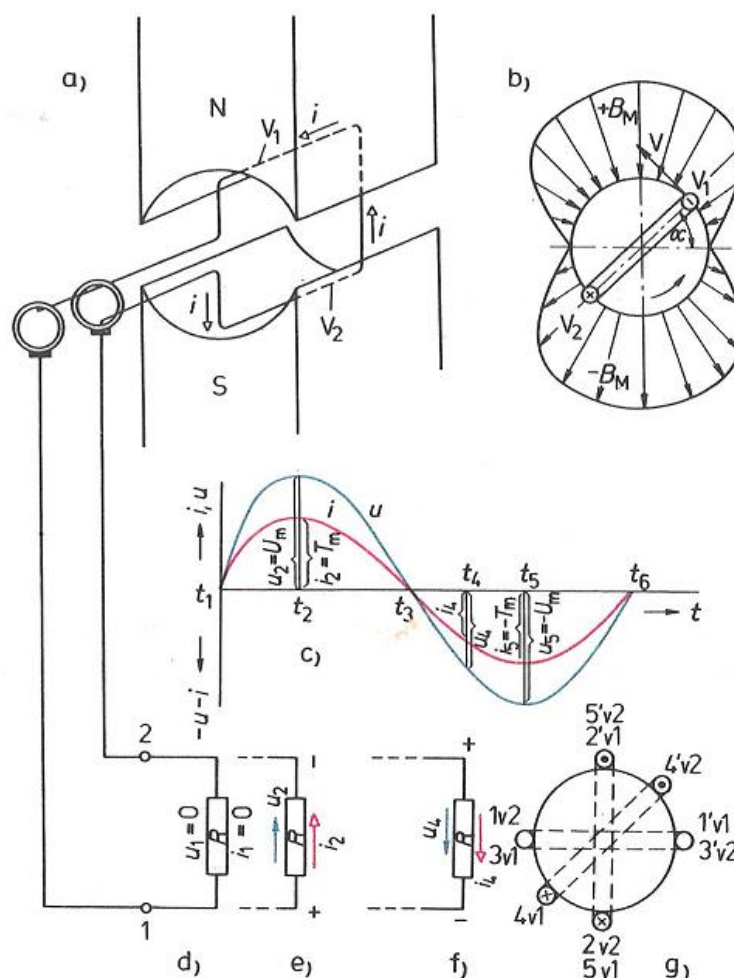
Úhel ve stupních je tedy

$$\alpha = 57,3 \cdot \omega t$$

Protože na vodorovnou osu sinusového průběhu vynášíme úhly v závislosti na čase, říkáme této ose také osa času.

6.2 Vznik sinusového napětí a proudu

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Vznik střídavého napětí a proudu;

a) smyčka se otáčí v magnetickém poli; b) průběh magnetické indukce na rotoru; c) časový průběh střídavého (sinusového) napětí a proudu (místo T_m má být I_m); d, e, f) rezistor připojený na svorky 1 a 2; g) poloha smyčky pod póly.

Na obrázku je znázorněna smyčka (závit), která se otáčí v magnetickém poli mezi dvěma póly. Konce smyčky jsou připojeny ke dvěma vodivým kroužkům, vzájemně od sebe izolovaných, na které dosedají kartáče. Smyčka je uložena na válci rotoru z elektrotechnických plechů, který na obrázku není pro přehlednost nakreslen. Magnetické pole je buzeno stejnosměrným proudem, takže má stálou hodnotu. Póly magnetu mají takový tvar, že magnetická indukce na rotoru má průběh podle sinusoidy. Indukční čáry vstupují ve vzduchové mezeře kolmo do rotoru. Magnetická indukce v libovolném místě na povrchu rotoru je dána vztahem

$$B = B_M \sin \alpha$$

Obvodová rychlost smyčky v je v každé poloze kolmá ke směru magnetické indukce a ve vodiči v_1 se indukuje napětí

$$U = B l v = B_M l v \sin \alpha$$

Stejně velké napětí se indukuje ve vodiči v_2 protože jsou vodiče v_1 , v_2 spojeny do série, indukovaná napětí se v nich sčítají a mezi kartáči je okamžitá hodnota napětí

$$u_s = 2 B_M l v \sin \alpha$$

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

B_M je maximální indukce ve vzduchové mezeře /T/
 l délka vodiče /m/
 v obvodová rychlost rotoru / $m \cdot s^{-1}$ /
 α úhel, který svírá rovina smyčky s vodorovnou rovinou /°/

Směr indukovaného napětí ve vodičích určíme pravidlem pravé ruky. Připojíme na svorky 1 a 2 (viz obrázek a) vnější obvod (např. rezistor s činným odporem R) v okamžiku $t_1 = 0$ s, kdy je smyčka v poloze 1 – 1' (obr. g) neprotíná smyčka žádné indukční čáry a indukované napětí $u_1 = 0$ a proud $i_1 = 0$ A. Je-li smyčka v čase $t_2 = 0,005$ s v poloze 2 – 2', indukuje se v ní napětí $u_2 = U_m$, neboť smyčka protíná místo s magnetickou indukcí. Rezistorem prochází proud $i_2 = I_m$ od svorky 1 ke svorce 2 a dále smyčkou ke svorce 1. Tímto kladným směrem prochází proud tak dlouho, dokud se vodič v_1 pohybuje pod severním pólem. Po natočení smyčky do polohy 3 – 3', tj. v čase $t_3 = 0,01$ s, neprotíná smyčka zase žádné indukční čáry, takže se v ní neindukuje žádné napětí ($u_3 = 0V$) a proud i_3 v obvodu poklesne na nulu.

V následujícím okamžiku přejde vodič v_1 pod jižní pól a vodič v_2 pod pól severní. Indukované napětí v obou vodičích změní současně svůj směr a obvodem bude procházet proud od svorky 2 ke svorce 1. Svorka 2 se stane kladnou a svorka 1 zápornou, tj. jejich polarita se změní. Obvodem bude procházet proud opačným směrem tak dlouho, dokud se bude vodič v_1 pohybovat pod jižním pólem (viz okamžik $t_4 = 0,0125$ s, tj. polohy smyčky 4 – 4'). V poloze 5 - 5' bude smyčka protínat místo s maximální magnetickou indukcí a bude se v ní indukovat napětí $u_5 = U_m$. Proud v obvodu bude $i_5 = -I_m$. Potom se smyčka natočí do polohy 1 – 1' a dále se bude popisovaný děj opakovat. Číselné hodnoty časů t_1 až t_6 platí pro kmitočet 50Hz.

Protože indukované napětí a proud, procházející obvodem, mění nejenom svou velikost, ale za určitý čas i svůj směr, říkáme jim střídavé napětí a střídavý proud.

Okamžitá hodnota indukovaného napětí je dána vztahem

$$u_s = U_m \sin \alpha$$

Vyjádříme-li úhel α časovým úhlem, dostaneme

$$u_s = U_m \sin \omega t$$

Vzorec pro maximální hodnotu napětí

$$U_m = 2 B_M l v$$

můžeme upravit takto

$$v = \frac{\pi D n}{60}$$

k D je průměr smyčky (rotoru) /m/
 n otáčky /min⁻¹/

U dvojpólového stroje vznikne jedna perioda indukovaného napětí za jednu otáčku, tj. kmitočet, se rovná otáčkám. V technické praxi se ale uvažují otáčky v jednotce min⁻¹ a platí tedy převodní vztah $f = n / 60$. Proto po dosazení platí

$$U_m = 2 B_M l \frac{\pi D n}{60} = 2 B_M l \pi D f$$

Součin $l D$ je obsah S plochy pod póly, kterou prochází magnetický tok, takže maximální napětí ve smyčce je

$$U_m = 2 \pi f B_M S = \omega \Phi_m$$

Otáčeli-li se v magnetickém poli místo smyčky cívka s N závitů, indukuje se v ní maximální napětí

$$U_m = \omega N \Phi_m$$

kde ω je úhlový kmitočet v /rad. s⁻¹/,

N počet závitů cívky,

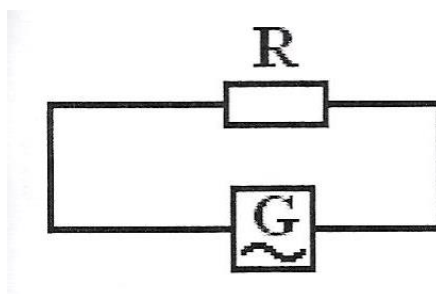
Φ_m maximální magnetický tok /Wb/

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

6.3 Obvody střídavého proudu

6.3.1 Obvod s ideálním rezistorem

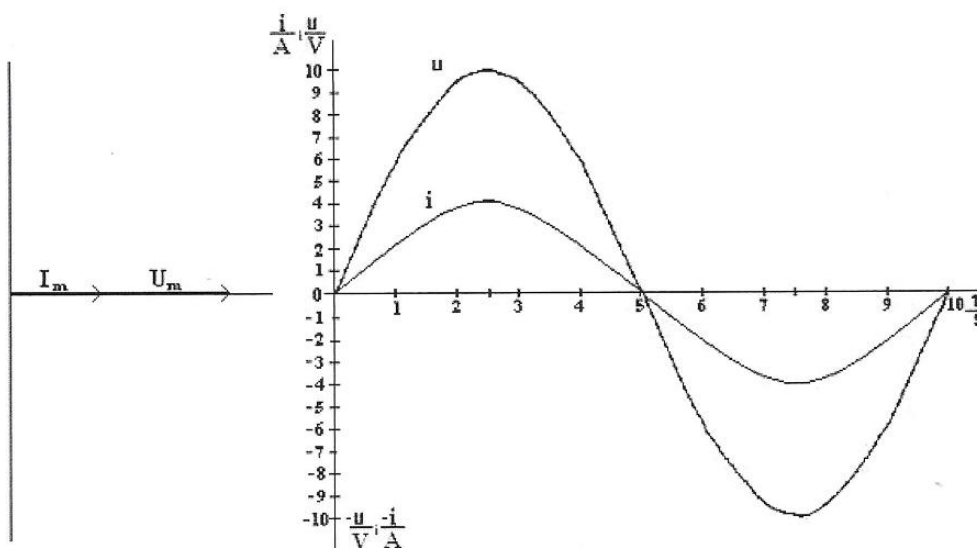
$R \neq 0, L = 0, C = 0$



Napětí a proud jsou v obvodu s ideálním rezistorem ve fázi, to znamená, že nejsou vůči sobě veličiny posunuty. Liší se jen velikostí maximálních hodnot (amplitudami).

Vektorový diagram

Časový diagram



Odpor se určí ze vzorce: $R = \frac{U_m}{I_m}$ jednotka (Ω) Ohm

Vodivost (konduktance): $G = \frac{1}{R}$ jednotka (S) Siemens

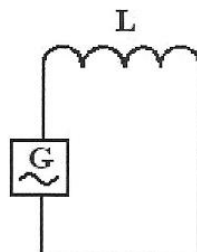
Ohmův zákon platí jak pro okamžité hodnoty napětí a proudu, tak i pro hodnoty maximální a efektivní. Obvod s ideálním rezistorem klade stejný elektrický odpor střídavému proudu jako proudu stejnosměrnému.

Protože $\varphi = 0$, tak výkon proudu je dán vztahem $P = U \cdot I$.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

6.3.2 Obvod s ideální cívkou

$$L \neq 0, R = 0, C = 0$$

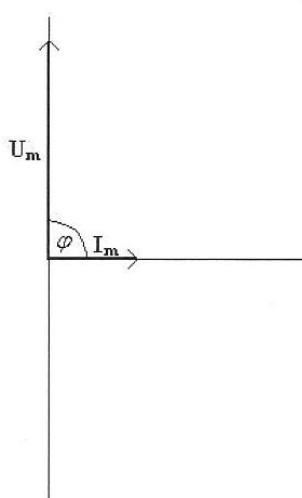


V obvodu s ideální cívkou napětí předbíhá proud o čtvrtinu periody $T/4$, což odpovídá fázovému posunu $\varphi = \pi/2 \text{ rad} = 90^\circ$. Rovnice pro okamžité hodnoty napětí a proudu pak vypadají takto

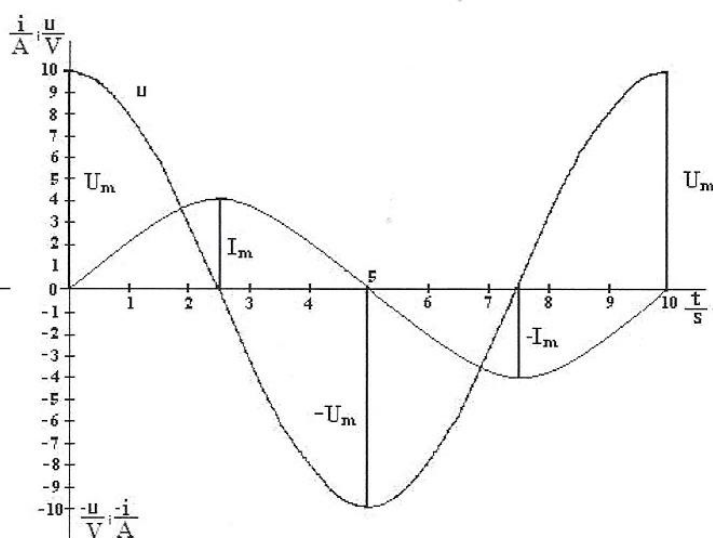
$$u = U_m \cdot \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \text{ (V)}$$

$$i = I_m \cdot \sin \omega t \text{ (A)}$$

Vektorový diagram



Časový diagram pro obvod s ideální cívkou



Cívka v obvodu se střídavým proudem působí jako odpor, který je tím větší, čím větší je indukčnost cívky a frekvence proudu. Zavádíme zde veličinu X_L , která má charakter odporu a má jednotku Ω (Ohm). Tuto veličinu nazýváme induktivní odpor, indukance nebo induktivní - reaktance :

$$X_L = L \cdot \omega = L \cdot 2\pi \cdot f$$

$$X_L = \frac{U_m}{I_m} = \frac{u}{i}$$

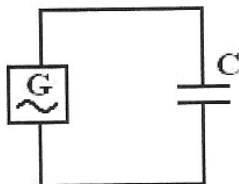
$$B_L = \frac{1}{L\omega}$$

B_L se nazývá induktivní (indukční) susceptance s jednotkou S (Siemens) a má charakter vodivosti. Výkon obvodu $P = 0$, protože fázové posunutí mezi napětím a proudem je $\varphi = \pi/2 = 90^\circ$ a označujeme jej jalový výkon Q .

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

6.3.3 Obvod s ideálním kondenzátorem

$$C \neq 0, R = 0, L = 0$$

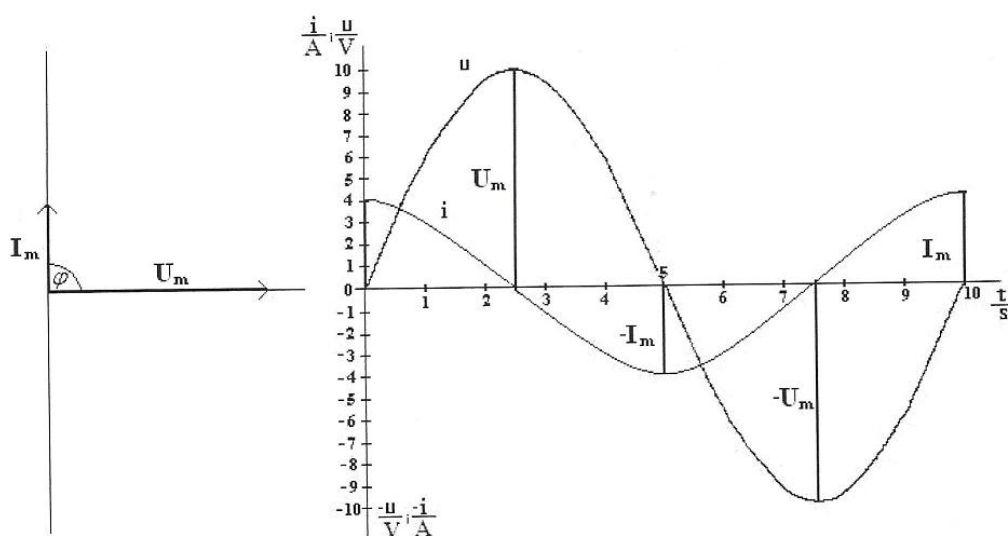


V obvodu s ideálním kondenzátorem předbíhá proud napětí o čtvrtinu periody $T/4$ z hlediska času a o $\pi/2$ radiánu = 90° z hlediska fáze:

$$u = U_m \cdot \sin \omega t \text{ (V)}, \quad i = I_m \cdot \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \text{ (A)}$$

Vektorový diagram

Časový diagram



Pro tento obvod zavádíme veličinu X_c , která má charakter odporu a nazývá se kapacitní odpor, kapacitance nebo také kapacitní reaktance. Jednotkou je Ω (Ohm).

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{U_m}{I_m} = \frac{u}{i} \quad \text{Kapacitní susceptance } B_c = \frac{1}{X_c} = \omega C \text{ jednotkou je S (Siemens)}$$

Obvod s ideálním kondenzátorem, nezpůsobí v obvodu žádné ztráty energie. $\Phi = \pi/2 = 90^\circ$ (posunutí proudu vůči napětí), a proto je výkon nulový.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Kontrolní otázky a úlohy:

- 1) Popiš, svými slovy co se rozumí pod pojmem vlastní indukce.
- 2) Nakresli a popiš základní veličiny sinusového průběhu.
- 3) Nakresli a popiš vznik sinusového napětí a proudu.
- 4) Nakresli a popiš obvod s ideálním rezistorem.
- 5) Nakresli a popiš obvod s ideální cívkou.
- 6) Nakresli a popiš obvod s ideálním kondenzátorem.

Použita literatura a zdroje obrázků:

VOŽENÍLEK, Ladislav – ŘEŠÁTKO, Miloš. *Základy elektrotechniky I*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1986
WOJNAR, Jiří. *Základy elektrotechniky*. 1. vyd. Brno: Tribun EU s.r.o., 2009