

3.8. Elektromagnetická indukce



1. Umět definovat veličinu magnetický indukční tok a matematicky vyjádřit charakteristickou vlastnost magnetického pole, nezřídlovost, užitím této veličiny.
2. Popsat základní experimenty, které demonstrují jev elektromagnetická indukce.
3. Znát podmínky, za nichž jev elektromagnetická indukce nastává.
4. Umět vyslovit a aplikovat Faradayův zákon elektromagnetické indukce a Lenzův zákon.
5. Seznámit se s jevy vlastní a vzájemná indukce.
6. Pochopit odvození vztahu pro indukované elektromotorické napětí ve smyčce rovnoměrně se otáčející v homogenním magnetickém poli.



3.8.1. Faradayův zákon elektromagnetické indukce, vzájemná a vlastní indukčnost

Zavedme nejprve veličinu **magnetický indukční tok** Φ podobně jako tok intenzity elektrického pole jako míru magnetického pole procházejícího plochou P uzavřenou orientovanou křivkou C . Magnetický indukční tok se též interpretuje tak, že je číselně roven počtu siločar protínajících plochu P . V homogenním poli s magnetickou indukcí $\mathbf{B}$ prochází malou rovinnou a libovolně orientovanou ploškou s jednotkovým normálovým vektorem $\mathbf{n}$, která má obsah dS , infinitezimální magnetický indukční tok :

$$d\Phi = \mathbf{B} \mathbf{n} dS = (B dS) \cos \alpha.$$

3.8.-1

Odchylkou vektorů $\mathbf{B}$ a $\mathbf{n}$ je úhel α . Jestliže přiložíme pravou ruku k orientované uzavřené křivce tak, aby zahnuté prsty kromě palce ukazovaly její orientaci, vzpřímený palec ukáže orientaci vektoru $\mathbf{n}$. V případě z Obr. 3.8.-1 je $\Phi > 0$. Abychom získali magnetický indukční tok plochou, která není rovinná a má obsah S , rozdělme ji na infinitezimální plošky dS , které lze považovat za rovinné. Všem bodům konkrétní plošky dS náleží stejný vektor magnetické indukce. Celkový magnetický indukční tok plochou o obsahu S získáme algebraickým součtem příspěvků od všech plošek, tzn počítáme integrál:

$$\Phi = \int_S \mathbf{B} \mathbf{n} dS = \int_S B (\cos \alpha) dS.$$

3.8.-2

Ve speciálním případě, kdy je plocha rovinná, orientace normálového vektoru $\mathbf{n}$ shodná s orientací magnetických indukčních čar homogenního magnetického pole, redukuje se (3.8.-2) na rovnost:

$$\Phi = BS.$$

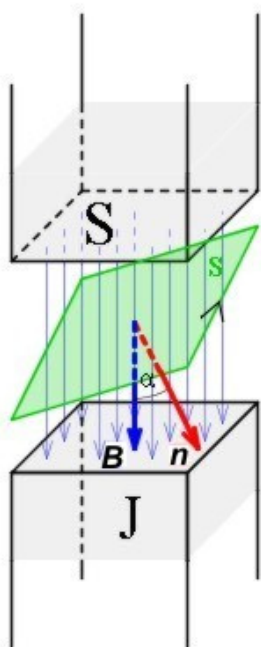
3.8.-3

V případě obecné polohy rovinné plochy pak

$$\Phi = BS \cos \alpha.$$

3.8.-4

Jednotka magnetického indukčního toku se nazývá **weber** (Wb) a



Obr. 3.8.-1

platí:

$$[\Phi] = \text{T} \cdot \text{m}^2 = \text{Wb}.$$

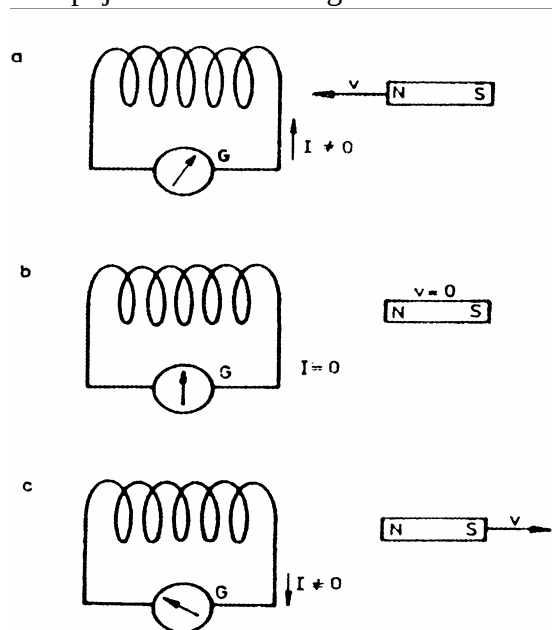
Pro uzavřenou plochu obsahu S platí, že počet siločar do ní vcházejících je roven počtu siločar z ní vycházejících, neboť magnetické pole je nezářidlové, tzn. magnetické indukční čáry jsou uzavřené křivky (neexistuje magnetický monopol). Jestliže normálové vektory infinitezimálních plošek například míří ven z objemu, který je plochou uzavřen, je možné nezářidlovost pole vyjádřit matematicky takto:

$$\Phi = \oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0. \quad 3.8.-5$$

Jestliže si představíme v magnetickém poli uzavřenou křivku, vyplývá z platnosti (3.8.-5), že magnetický indukční tok plochou libovolného tvaru, která je ohraničena křivkou, je stejný.

Poté, kdy byla prokázána souvislost elektrických a magnetických jevů (Oersted, 1820), badatelé prováděli pokusy za účelem vybudit ve vodiči elektrický proud pomocí magnetického pole. Patřil k nim M. Faraday, který v roce 1831 objevil jev **elektromagnetická indukce**. Jev samotný může být pozorován na těchto pokusech:

1. Spojme solenoid s galvanometrem a přibližujeme k jednomu jeho konci severní pól



permanentního magnetu (Obr. 3.8.-2a). Tím vzniká v solenoidu elektrický proud, který způsobí vychýlení ručičky galvanometru. Protože hustota siločar pole permanentního magnetu je největší v blízkosti pólů, bude zjevně růst počet siločar protínajících plochu uzavřenou obvodem. V okolí obvodu se tedy mění magnetické pole. Jestliže se magnet zastaví, zanikne indukovaný proud (3.8.-2b). Jestliže začneme magnet vzdalovat, vzniká v solenoidu proud, avšak ve směru, který je opačný k původnímu (Obr. 3.8.-2c). Podobně vznikne indukovaný proud, jestliže se bude vůči magnetu pohybovat samotný obvod.

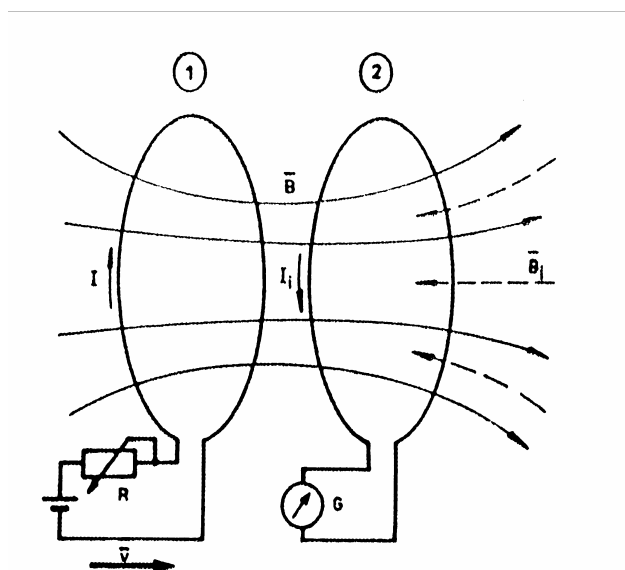
2. Vezměme dva kruhové závity 1 a 2. Závit 1 je spojen se zdrojem proudu přes reostat, obvod se závitem 2 obsahuje galvanometr (Obr. 3.8.-3). Jestliže zapneme zdroj proudu, vznikne ve

Obr. 3.8.-2

smyčce 2 krátkodobý proud. Jestliže smyčkou 1 prochází stálý stejnosměrný proud, proud ve druhém obvodu se neindukuje. Při vypínání proudu vzniká opět krátkodobě indukovaný proud, avšak v opačném směru než původně. Při vzájemném pohybu smyčky 1, kterou prochází proud, a sekundární smyčky 2 (s galvanometrem) vzniká indukovaný proud ve smyčce 2. Jev se projeví výrazněji, jestliže závity nahradíme solenoidy.

Faraday zobecněním výsledků svých experimentů došel k závěru, že **indukovaný proud vzniká tehdy, jestliže vodič při svém pohybu protíná magnetické indukční čáry (jev krátkodobý) nebo se mění počet magnetických indukčních čar procházejících plochou ohraničenou**

uzavřeným obvodem, tedy se mění magnetický indukční tok touto plochou. Důležité je, že velikost indukovaného elektromotorického napětí a proudu nezávisí na počtu indukčních čar procházejících plochou obvodu, nýbrž na rychlosti změny tohoto počtu. Práce připadající na jednotkový elektrický náboj při vytváření indukovaného proudu se



Obr. 3.8.-3

nazývá **indukované elektromotorické napětí**. Jev samotný vůbec nezávisí na příčině změny magnetického indukčního toku.

Nejen Faraday při svých pokusech pečlivě zaznamenával směr indukovaného proudu. Obecné pravidlo pro směr indukovaného proudu stanovil E. Ch. Lenz: **Indukovaný proud v uzavřeném obvodu má takový směr, že vytváří vlastní magnetický indukční tok kompenzující změnu magnetického indukčního toku, která proud indukovala.**

Jestliže v pokusu 1 se přibližuje k solenoidu severní pól permanentního

magnetu, indukuje se proud tak, aby magnetické indukční čáry generovaného magnetického pole byly namířeny proti indukčním čarám, jež přicházejí ze severního pólu magnetu. Solenoidu přitom přísluší magnetický dipólový moment, který je orientován k severnímu magnetickému pólu solenoidu (viz pozn. na konci kapitoly 3.6.3). Magnet a solenoid se odpuzují, tj. vzniká mezi nimi síla, působící proti tomu pohybu magnetu, který vede ke vzniku indukovaného proudu. Popsané odpuzování je analogické situaci, kdy k sobě přiléhají souhlasné póly permanentních magnetů (např. severní). Při vzdalování magnetu od solenoidu se magnet a solenoid naopak přitahují. Výsledky pokusu 2 též svědčí o platnosti Lenzova zákona. Při zapnutí proudu v závitě 1 vzniká v závitě 2 proud obráceného směru, při přerušení proudu v závitě 1 proud téhož směru. Pokud se závity k sobě přibližují, indukuje se v závitě 2 proud tak, aby vyvolal magnetické pole orientované proti magnetickému poli smyčky 1. Takto vznikne odpuzivá magnetická síla, neboť k sobě přiléhají souhlasné póly. Síla přitažlivá naopak vznikne, jestliže se budou závity od sebe vzdalovat.

Pomocí magnetického indukčního toku můžeme formulovat **Faradayův zákon** takto: **Indukované elektromotorické napětí U_i je rovno záporně vzaté časové změně celkového magnetického indukčního toku Φ_c smyčkou.** Matematicky zapsáno:

$$U_i = - \frac{d\Phi_c}{dt}. \quad 3.8.-6$$

Znaménko minus vyjadřuje platnost Lenzova zákona. Při používání vztahu (3.8.-6) je důležité si uvědomit, co znamená pojem celkový magnetický indukční tok. Jestliže bude mít smyčka složitý tvar (např. solenoid), je nutné sečíst toky přes všechny uzavřené plochy. Hodnota indukovaného napětí nezávisí na způsobu změny magnetického indukčního toku v čase. Z Faradayova zákona také plyne, že časové změny magnetického pole vyvolávají změny v rozložení elektrických nábojů, a tedy i změny elektrického pole. Elektrické a magnetické pole jsou proto navzájem závislé.

Indukované elektrické proudy nevznikají pouze ve vodičích tvaru drátu, ale i ve vodivých materiálech ve tvaru plechů, desek, hranolů apod. Vodivostní elektrony tvořící indukovaný proud krouží ve vodiči podobně jako voda ve víru, což vede ke vzniku **vířivého proudu** (Foucaultův proud). Vodič se současně zahřívá, neboť se elektrická energie přeměňuje na

vnitřní energii vodiče. Aby se zabránilo vzniku vířivých proudů v jádrech transformátorů nebo elektromotorů na střídavý proud, vyrábějí se jádra z navzájem izolovaných plechů. Vířivé proudy využívají indukční kamna, v nichž je cívka pod varnou plochou napájena vysokofrekvenčním střídavým proudem.

Uzavřený obvod protékaný proudem I je zdrojem magnetického pole. Jestliže bude proud konstantní, magnetické pole vlastní obvodu je stacionární, tj. jeho charakteristiky v okolí obvodu jsou na čas nezávislé. Plochou, která je obvodem ohraničena, teče stálý magnetický indukční tok. Dojde-li ke změně proudu v obvodu, změní se magnetická indukce B obvodem vytvořená a tím i magnetický indukční tok Φ . Jakákoli změna indukčního toku vede podle Faradayova zákona elektromagnetické indukce ke vzniku elektromotorického napětí, což se týká i našeho obvodu. Ke stejnému závěru vedou, i když proud zůstane konstantní, deformace obvodu mající za následek změnu obsahu

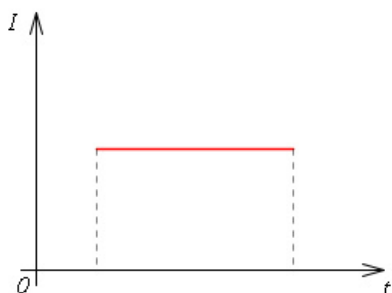
plochy obvodem uzavřené. Popsané zpětné působení na vlastní proudový obvod se nazývá **vlastní indukce** nebo **samoindukce**. Jak plyne z (3.7.-1), je magnetická indukce, v daném bodě vybuzená proudem v obvodu, lineární funkcí proudu I . Pokud se nemění tvar obvodu, zůstává orientace a směr vektoru $\mathbf{B}$ konstantní, se změnou proudu se mění pouze velikost vektoru $\mathbf{B}$. Magnetický indukční tok plochou obvodu je tedy také s přihlédnutím k (3.8.-3) lineární funkcí proudu (s výjimkou okolí obvodů z feromagnetických látek):

$$\Phi = L I,$$

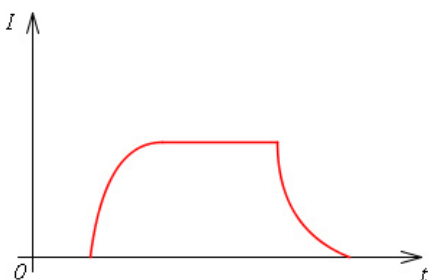
3.8.-7

Konstanta úměrnosti L se nazývá **vlastní indukčnost** a závisí pouze na permeabilitě prostředí v okolí obvodu a geometrickém tvaru obvodu. Jednotkou L je **henry** (H). Vlastní indukčnost se zavádí nejen pro uzavřenou smyčku, ale i smyčku nebo libovolný vodič či jeho úsek. Jev vlastní indukce lze dobře pozorovat při zapnutí nebo vypnutí proudu v obvodu (tzv. přechodové jevy). Pokud bychom měli obvod s rezistorem,

Obr. 3.8.-4



průběh časové závislosti proudu při náhlém zapnutí či vypnutí proudu klíčem je na Obr. 3.8.-4. Jestliže k tomuž dojde v obvodu s cívkou, časová závislost se změní (Obr. 3.8.-5).



Obr. 3.8.-5

Uvažujme dlouhý solenoid poloměru R , délky $l \gg R$, na němž je navinuto N závitů. Zavedme veličinu n ve významu počet závitů na jednotku délky. Jestliže zanedbáme okrajové efekty, můžeme magnetické pole uvnitř solenoidu považovat za homogenní s hodnotou magnetické indukce danou vztahem (3.7.-11). Celkový magnetický indukční tok solenoidu je součtem toků ve všech závitech, takže je roven:

$$\Phi_c = NBS = n l B S.$$

3.8.-8

Z definičního vztahu vlastní indukčnosti dostaneme

$$L = \frac{\Phi_c}{I} = \frac{n l \mu_0 n I S}{I} = \mu_0 n^2 l S.$$

3.8.-9

Pomocí indukčnosti a Faradayova zákona můžeme vyjádřit indukované elektromotorické napětí takto:

$$U_i = -\frac{d\Phi_c}{dt} = -L \frac{dI}{dt}. \quad 3.8.-10$$

Je vidět, že velikost proudu na indukované elektromotorické napětí nemá vliv, narozdíl od rychlosti změny proudu.

Mějme v prostoru více smyček. Celkový magnetický indukční tok v jedné smyčce bude obecně záviset na proudech ve všech smyčkách. Změna proudu v jedné vyvolá změnu magnetického indukčního toku ve všech smyčkách – tzv. jev vzájemné indukce. Uvažujme dvě smyčky. V první teče proud I_1 . Označme symbolem Φ_{21} tu část toku smyčky 1, která prochází smyčkou 2. Tok Φ_{21} samozřejmě odpovídají magnetické indukční čáry, které procházejí oběma smyčkami. Indukční provázanost smyček 1 a 2 vyjadřuje **koeficient vzájemné indukčnosti** smyčky 2 vzhledem ke smyčce 1, který se značí M_{21} , a platí:

$$\Phi_{21} = M_{21}I_1. \quad 3.8.-11$$

Změna proudu v první smyčce indukuje napětí U_{e2} ve smyčce 2, jehož hodnota se určí ze vztahu (3.8.-10):

$$U_{e2} = -M_{21} \frac{dI_1}{dt}. \quad 3.8.-12$$

Rovněž změna proudu ve smyčce 2 generuje indukované napětí ve smyčce 1:

$$U_{e1} = -M_{12} \frac{dI_2}{dt}. \quad 3.8.-13$$

Později dokážeme, že:

$$M_{21} = M_{12} = M. \quad 3.8.-14$$

M se nazývá **koeficient vzájemné indukčnosti dvou smyček**.

Vztahy (3.8.-12) a (3.8.-13) sdělují, že koeficient vzájemné indukčnosti je číselně roven indukovanému elektromotorickému napětí v jedné smyčce při změně proudu o jeden ampér ve smyčce druhé, jež proběhne za jednu sekundu.



Kontrolní otázky

KO 3.8.-1 Jak získáte celkový magnetický indukční tok plochou obsahu S ?

KO 3.8.-2 Napište nejjednodušší vztah pro magnetický indukční tok a za jakých podmínek platí?

KO 3.8.-3 Jak se nazývá jednotka magnetického indukčního toku?

KO 3.8.-4 Vyjádřete jednotku magnetického indukčního toku pomocí základních jednotek soustavy SI.

KO 3.8.-5 Jak je možné matematicky formulovat nezřídlovost magnetického pole? Jak souvisí nezřídlovost s tvarem magnetických indukčních čar?

KO 3.8.-6 Popište dva experimenty, na nichž byl pozorován jev elektromagnetické indukce. Čím se onen jev ve výsledcích experimentů projevoval?

KO 3.8.-7 Zobecněte výsledky experimentů z otázky č. 6!

KO 3.8.-8 Vyslovte Lenzův zákon.

KO 3.8.-9 Formulujte Faradayův zákon.

KO 3.8.-10 Popište jev vlastní indukce.

KO 3.8.-11 Za jakých podmínek je magnetický indukční tok plochou obvodu přímo úměrný proudu v obvodu? Jak se nazývá příslušná konstanta úměrnosti a jakou má jednotku?

KO 3.8.-12 Vyjádřete indukované elektromotorické napětí pomocí Faradayova zákona a indukčnosti.

KO 3.8.-13 Navrhněte jednoduchý obvod, na němž je možné demonstrovat jev vzájemná indukce. Tento jev popište.

KO 3.8.-14 Čemu je číselně roven koeficient vzájemné indukčnosti?



Indukčnost hustě navinuté cívky je taková, že při změně proudu $5 \text{ A} \cdot \text{s}^{-1}$ se indukuje elektromotorické napětí 3 mV . Stálý proud 8 A vytváří magnetický indukční tok $40 \text{ } \mu\text{Wb}$ každým závitem. Vypočtete indukčnost cívky. Kolik závitů má cívka?

$$\frac{dI}{dt} = 5 \text{ A} \cdot \text{s}^{-1}; U_i = 3 \text{ mV}; I = 8 \text{ A}; \Phi = 40 \text{ } \mu\text{Wb}$$

Z Faradayova zákona vyjádříme indukčnost cívky:

$$L = |U_i| \frac{dt}{dI} = 0,6 \text{ mH}.$$

Celkový magnetický indukční tok solenoidu je

$$\Phi_C = N\Phi = LI$$

a z toho

$$N = \frac{LI}{\Phi} = 120.$$

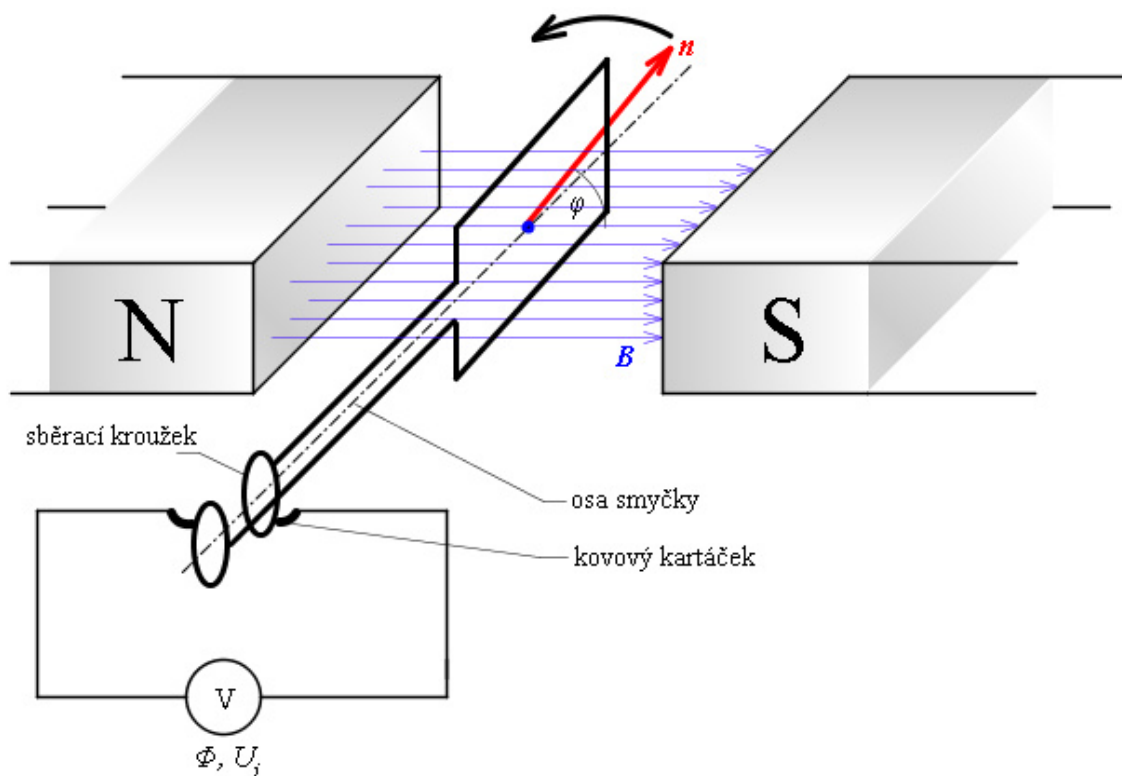


3.8.2. Otáčející se smyčka v magnetickém poli

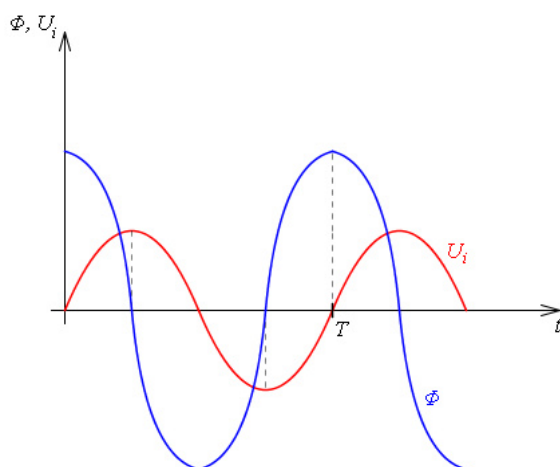
Již více než 140 let se v technické praxi vyžívá převod mechanické energie na elektrickou (dynamoelektrický generátor, r. 1867, W. Siemens; 1. elektrárna, 1882, New York, T. A. Edison), který umožňuje jev elektromagnetické indukce. Abychom pochopili princip činnosti **generátorů proudů**, budeme se zabývat důsledky rotace jednoduché smyčky v homogenním magnetickém poli (Obr. 3.8.-6), která uzavírá plochu obsahu S . Osa smyčky v okamžiku t je kolmá k magnetickým indukčním čarám, vektor normály $\mathbf{n}$ svírá s vektorem magnetické indukce úhel α . Protože se mění v čase počet siločar, které protínají plochu ohraničenou smyčkou, je magnetický indukční tok funkčně závislý na čase. Jsou splněny podmínky platnosti vztahu (3.8.-4) a z veličin na jeho pravé straně jsou všechny konstantní, kromě úhlu α , jehož hodnotu můžeme chápat jako úhlovou dráhu se smyčkou rotujícího koncového bodu vektoru $\mathbf{n}$. Jestliže se závit otáčí rovnoměrně úhlovou rychlostí ω a v okamžiku 0 s je normálový vektor orientován souhlasně s indukčními čarami (tzn. $\alpha(0) = 0$), je $\alpha = \omega t$. Magnetický indukční tok se v čase také mění, takže s přihlédnutím k Faradayovu zákonu elektromagnetické indukce získáme indukované elektromotorické napětí:

$$U_i = -\frac{d\Phi_c}{dt} = -\frac{d(BS\cos\omega t)}{dt} = BS\omega\sin\omega t = U_{i,\max}\sin\omega t. \quad 3.8.-15$$

Veličiny U_i a magnetický indukční tok smyčkou Φ mají harmonický průběh s amplitudami $U_{i,\max} = BS\omega$, $\Phi_{\max} = BS$ a periodou $T = 2\pi/\omega$ (Obr. 3.8.-7) právě v zapojení podle Obr. 3.8.-6. Všimněte si, na čem závisí amplituda napětí.



Obr. 3.8.-6 Jednoduchá rovinná smyčka, která se rovnoměrně otáčí v homogenním magnetickém poli. Osa smyčky je kolmá k magnetickým indukčním čarám. Vodiči obvodu s voltmetrem je napětí snímáno prostřednictvím kovových kartáčků, které se třou se sběracími kroužky pevně spojenými se smyčkou.



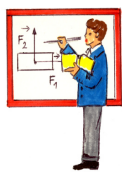
Obr. 3.8.-7



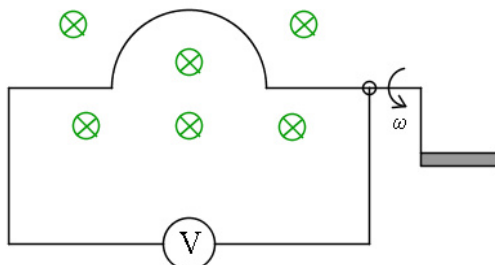
KO 3.8.2.-15 Kde byla postavena první elektrárna a kdo ji navrhnul? Ve kterém roce bylo spuštěna do provozu?

KO 3.8.2.-16 Jak závisí na čase indukované elektromotorické napětí v jednoduché smyčce rovnoměrně se otáčející v homogenním magnetickém poli, jestliže se závit otáčí rovnoměrně úhlovou rychlostí ω a v okamžiku 0 s je normálový vektor plochy závitu orientován souhlasně s indukčními čarami

(Obr. 3.8.-6)?



Pevný drát ohnutý do polokružnice s poloměrem r rotuje úhlovou rychlostí ω v homogenním magnetickém poli o indukci $\mathbf{B}$ (Obr. 3.8.-8). Čemu jsou rovny amplitudy napětí a proudu indukovaného ve vodiči, je-li vnitřní odpor voltmetru roven R_i a odpor ostatních částí obvodu lze zanedbat? Předpokládejte, že magnetické pole vyvolané proudem je zanedbatelné ve srovnání s homogenním polem indukce $\mathbf{B}$.



Obr. 3.8.-8

Počet indukčních čar protínajících vodič se mění v důsledku rotace oblouku, proto nastává jev elektromagnetické indukce, jehož kvantitativním vyjádřením je Faradayův zákon elektromagnetické indukce:

$$U_i = - \frac{d\Phi_c}{dt}. \quad 3.8.-6$$

Jelikož je ohnutý drát pouze jeden, vycházejí ze vztahu (3.8.-4) můžeme pro celkový magnetický indukční tok vymezený ohnutým vodičem psát:

$$\Phi_C = \mathbf{BS} = BS \cos \alpha.$$

Dosaďme do (3.8.-6) a derivujme s přihlédnutím ke skutečnosti, že všechny veličiny jsou konstantní kromě úhlu α ($\alpha = \omega t$) a ohnutý vodič vymezuje polovinu kruhu:

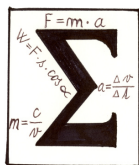
$$U_i = +BS\omega \sin \omega t = B \frac{\pi r^2}{2} \omega \sin \omega t.$$

Konečně z posledního vztahu plyne, že amplituda napětí je

$$U_m = B \frac{\pi r^2}{2} \omega.$$

Z podmínek úlohy a Ohmova zákona získáme amplitudu proudu:

$$I_m = \frac{U_m}{R_i}.$$



Magnetický indukční tok Φ plochou obsahu S uzavřenou orientovanou křivkou C v magnetickém poli je definován vztahem

$$\Phi = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = \int_S B(\cos \alpha) dS. \quad 3.8.-2$$

Odchylkou vektorů $\mathbf{B}$ a $\mathbf{n}$ je úhel α . Jestliže přiložíme pravou ruku k orientované uzavřené křivce tak, aby zahnuté prsty kromě palce ukazovaly její orientaci, vzpřímený palec ukáže orientaci vektoru $\mathbf{n}$ – jednotkového normálového vektoru plošky dS . Ve speciálním případě, kdy je plocha rovinná, orientace normálového vektoru $\mathbf{n}$ shodná s orientací magnetických indukčních čar homogenního magnetického pole, redukuje se (3.8.-2) na rovnost:

$$\Phi = BS. \quad 3.8.-3$$

V případě obecné polohy rovinné plochy pak

$$\Phi = \mathbf{BS} = BS \cos \alpha.$$

3.8.-4

Jednotka magnetického indukčního toku se nazývá weber (Wb) a platí:

$$[\Phi] = \text{T} \cdot \text{m}^2 = \text{Wb}.$$

Faradayův zákon elektromagnetické indukce

Faraday došel k závěru, že indukovaný proud vzniká tehdy, jestliže vodič při svém pohybu protíná magnetické indukční čáry (jev krátkodobý) nebo se mění počet magnetických indukčních čar procházejících plochou ohraničenou uzavřeným obvodem, tedy se mění magnetický indukční tok touto plochou. Důležité je, že velikost indukovaného elektromotorického napětí a proudu nezávisí na počtu indukčních čar procházejících plochou obvodu, nýbrž na rychlosti změny tohoto počtu. Práce připadající na jednotkový elektrický náboj při vytváření indukovaného proudu se nazývá indukované elektromotorické napětí. Jev samotný vůbec nezávisí na příčině změny magnetického indukčního toku. Pomocí magnetického indukčního toku můžeme formulovat **Faradayův zákon** takto: Indukované elektromotorické napětí U_i je rovno záporně vzaté časové změně celkového magnetického indukčního toku Φ_c smyčkou. Matematicky zapsáno:

$$U_i = - \frac{d\Phi_c}{dt}.$$

3.8.-6

Lenzův zákon

Obecné pravidlo pro směr indukovaného proudu stanovil E. Ch. Lenz: **Indukovaný proud v uzavřeném obvodu má takový směr, že vytváří vlastní magnetický indukční tok kompenzující změnu magnetického indukčního toku, která proud indukovala.**

Jev vlastní indukce a veličina vlastní indukčnost

Dojde-li ke změně proudu v obvodu, změní se magnetická indukce $\mathbf{B}$ obvodem vytvořená a tím i magnetický indukční tok Φ . Jakákoli změna indukčního toku vede podle Faradayova zákona elektromagnetické indukce ke vzniku elektromotorického napětí, což se týká i našeho obvodu. Ke stejnému závěru vede, i když proud zůstane konstantní, deformace obvodu mající za následek změnu obsahu plochy obvodem uzavřené. Popsané zpětné působení na vlastní proudový obvod se nazývá vlastní indukce nebo samoindukce.

Magnetický indukční tok plochou obvodu je tedy také s přihlédnutím k (3.8.-3) lineární funkcí proudu (s výjimkou okolí obvodů z feromagnetických látek):

$$\Phi = L I.$$

3.8.-7

Konstanta úměrnosti L se nazývá **vlastní indukčnost** a závisí pouze na permeabilitě prostředí v okolí obvodu a geometrickém tvaru obvodu. Jednotkou L je **henry** (H).

Vlastní indukce solenoidu

Z definičního vztahu vlastní indukčnosti dostaneme pro celkový magnetický indukční tok solenoidu:

$$L = \frac{\Phi_c}{I} = \frac{n l \mu_0 n I S}{I} = \mu_0 n^2 l S.$$

3.8.-9

Pomocí indukčnosti a Faradayova zákona můžeme vyjádřit indukované elektromotorické napětí takto:

$$U_i = -\frac{d\Phi_c}{dt} = -L \frac{dI}{dt}. \quad 3.8.-10$$

Vzájemná indukčnost

Indukční provázanost smyček 1 a 2 vyjadřuje **koeficient vzájemné indukčnosti** smyčky 2 vzhledem ke smyčce 1, který se značí M_{21} , a platí:

$$\Phi_{21} = M_{21}I_1. \quad 3.8.-11$$

Změna proudu v první smyčce indukuje napětí U_{e2} ve smyčce 2, jehož hodnota se určí ze vztahu (3.8.-10):

$$U_{e2} = -M_{21} \frac{dI_1}{dt}. \quad 3.8.-12$$

Rovněž změna proudu ve smyčce 2 generuje indukované napětí ve smyčce 1:

$$U_{e1} = -M_{12} \frac{dI_2}{dt}. \quad 3.8.-13$$

Platí:

$$M_{21} = M_{12} = M. \quad 3.8.-14$$

M se nazývá **koeficient vzájemné indukčnosti** dvou smyček.

Rovnoměrná rotace rovinné smyčky v homogenním magnetickém poli

V rovinné smyčce se indukuje elektromotorické napětí:

$$U_i = -\frac{d\Phi_c}{dt} = -\frac{d(BS\cos\omega t)}{dt} = BS\omega\sin\omega t = U_{i,\max}\sin\omega t. \quad 3.8.-15$$

Klíč



KO 3.8.-4 $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{C}^{-1}$

KO 3.8.2.-16 $U_i = -\frac{d\Phi_c}{dt} = -\frac{d(BS\cos\omega t)}{dt} = BS\omega\sin\omega t = U_{i,\max}\sin\omega t$