OBSAH

Úvod

1 Elektrický náboj a elektrické pole
1.1 Elektrický náboj a jeho vlastnosti 14
1.2 Elektrická síla. Coulombův zákon 18
1.3 Elektrické pole. Intenzita elektrického pole 22
1.4 Elektrický potenciál a elektrické napětí 25
1.5 Vodič a izolant v elektrickém poli 29
1.6 Kapacita vodiče 32
Shrnutí učiva 1. kapitoly 37

2 Elektrický proud
2.1 Elektrický proud jako děj a jako veličina 40
2.2 Zdroj elektrického napětí 43
2.3 Elektrický proud v kovovém vodiči 46
2.4 Ohmův zákon pro uzavřený obvod 50
2.5 Závislost odporu kovového vodiče na teplotě. Rezistory 52
2.6 Spojování rezistorů 55
2.7 Práce a výkon elektrického proudu 59
2.8 Teplo předané elektrickým spotřebičem 62
Shrnutí učiva 2. kapitoly 64

3 Elektrický proud v polovodičích
3.1 Pojem polovodiče 68
3.2 Vedení elektrického proudu v polovodiči 71
3.3 Přechod PN. Polovodičová dioda 75
3.4 Tranzistor 79
Shrnutí učiva 3. kapitoly 83

4 Elektrický proud v kapalinách a plynech
4.1 Vedení elektrického proudu elektrolytem 86
4.2 Elektrolýza 88
4.3 Elektrochemické zdroje napětí 93
4.4 Nesamostatný a samostatný výboj v plynu 96
4.5 Příklady výbojů v plynech 99
Shrnutí učiva 4. kapitoly 103

Ukázka titulu Nakladatelství Prometheus https://prometheus-nakl.cz

5 Stacionární magnetické pole
5.1 Magnetické pole vodiče s proudem 105
5.2 Magnetická síla 108
5.3 Magnetická indukce 111
5.4 Magnetické pole vodičů s proudem 113
5.5 Magnetické vlastnosti látek 118
Shrnutí učiva 5. kapitoly 123

6 Nestacionární magnetické pole
6.1 Elektromagnetická indukce 125
6.2 Faradayův zákon elektromagnetické indukce 128
6.3 Indukovaný proud 129
6.4 Vlastní indukce 133
Shrnutí učiva 6. kapitoly 137

7 Střídavý proud
7.1 Obvod střídavého proudu s odporem 140
7.2 Výkon střídavého proudu v obvodu s odporem 142
7.3 Obvod střídavého proudu s indukčností 144
7.4 Obvod střídavého proudu s kapacitou 147
7.5 Impedance obvodu střídavého proudu 148
7.6 Činný výkon střídavého proudu 150
7.7 Oscilační obvod 152
7.8 Usměrňovač 156
Shrnutí učiva 7. kapitoly 159

8 Střídavý proud v energetice
8.1 Generátor střídavého proudu 163
8.2 Transformátor 165
8.3 Energetika a životní prostředí 169
Shrnutí učiva 8. kapitoly 171

9 Elektromagnetické vlnění
9.1 Vznik elektromagnetického vlnění 174
9.2 Vlastnosti elektromagnetického vlnění 177
9.3 Fyzikální základy telekomunikace 179
9.4 Přenos informace elektromagnetickým signálem 182
Shrnutí učiva 9. kapitoly 184

Výsledky úloh 185

Rejstřík 188

Ukázka titulu Nakladatelství Prometheus https://prometheus-nakl.cz

OBSAH ELEKTRONICKÉHO DOPLŇKU

Rozšiřující učivo

R1 Elektrický náboj a elektrické pole
R1.1 Elektrické pole bodových nábojů 1
R1.2 Práce v elektrickém poli 5
R1.3 Elektrické pole nabitého vodivého tělesa 8
R1.4 Kondenzátory a jejich spojování 12

R2 Elektrický proud
R2.1 Model vedení elektrického proudu v kovovém vodiči 18
R2.2 Zdroje elektrického napětí 21
R2.3 Příklady sériově a paralelně spojených obvodů 24
R2.4 Kirchhoffovy zákony 27
R2.5 Zatěžovací charakteristika zdroje a jeho účinnost 30

R3 Elektrický proud v polovodičích
R3.1 Základy technologie výroby polovodičových součástek 34
R3.2 Polovodičové diody 36
R3.3 Polem řízený tranzistor. Integrovaný obvod 41

R4 Elektrický proud v kapalinách a plynech
R4.1 Faradayovy zákony pro elektrolýzu 45
R4.2 Voltampérová charakteristika elektrolytického vodiče 47
R4.3 Elektrochemické články 50
R4.4 Výboj v plynu za sníženého tlaku 54

R5 Stacionární magnetické pole
R5.1 Částice s nábojem v magnetickém poli 58
R5.2 Hallův jev 64
R5.3 Magnetizace látek 65
R5.4 Magnetické materiály v praxi 68

R6 Nestacionární magnetické pole
R6.1 Odvození zákona elektromagnetické indukce 71
R6.2 Indukované proudy ve vodičích 72
R6.3 Elektrický obvod s cívkou a kondenzátorem 75
R6.4 Energie magnetického pole cívky 78

Ukázka titulu Nakladatelství Prometheus https://prometheus-nakl.cz

R7 Střídavý proud
R7.1 Složené obvody střídavého proudu 80
R7.2 Mechanický a elektromagnetický oscilátor 85
R7.3 Tlumené kmitání oscilačního obvodu 87
R7.4 Nucené kmitání oscilačního obvodu 91

R8 Střídavý proud v energetice
R8.1 Trojfázová soustava střídavých napětí 95
R8.2 Elektromotor na trojfázový proud 97

R9 Elektromagnetické vlnění
R9.1 Vznik elektromagnetického vlnění 101
R9.2 Elektromagnetická vlna 102
R9.3 Elektromagnetický dipól 105
R9.4 Elektromagnetická interakce 106

Výsledky úloh 109

Rejstřík 110

Teoretická cvičení
Cvičení 1 – Elektrický náboj a elektrické pole 1
Cvičení 2 – Obvody s ustáleným elektrickým proudem 7
Cvičení 3 – Elektrický proud v látkách 12
Cvičení 4 – Stacionární magnetické pole 17
Cvičení 5 – Nestacionární magnetické pole 25
Cvičení 6 – Střídavý proud 32
Cvičení 7 – Střídavý proud v energetice 37
Cvičení 8 – Elektromagnetické vlnění 42

Výsledky úloh 47

Laboratorní cvičení
Cvičení 1 – Měření elektrického napětí, proudu a odporu 7
Cvičení 2 – Určení voltampérových charakteristik spotřebičů 10
Cvičení 3 – Určení závislosti odporu kovového vodiče a termistoru na teplotě 12
Cvičení 4 – Určení charakteristiky polovodičové diody 15
Cvičení 5 – Určení charakteristiky světelné diody – LED 18
Cvičení 6 – Měření indukčnosti cívky pomocí střídavého proudu 21
Cvičení 7 – Měření kapacity kondenzátoru pomocí střídavého proudu . 23

Ukázka titulu Nakladatelství Prometheus https://prometheus-nakl.cz

Cvičení 8 – Určení frekvenční charakteristiky obvodu střídavého proudu 25
Cvičení 9 – Určení fázového rozdílu napětí a proudu v obvodech střídavého proudu 29
Cvičení 10 – Ověření činnosti polovodičového usměrňovače 33

Historické poznámky
Testové úlohy
Slovníček fyzikálních pojmů

Animace
A1 Ohmův zákon pro část obvodu
A2 Sériové spojení rezistorů
A3 Paralelní spojení rezistorů
A4 Rovinný závit v magnetickém poli
A5 Trojfázový alternátor
A6 Obvod střídavého proudu s R, L, C
A7 Jednocestný usměrňovač
A8 Oscilační obvod

Videoexperimenty
V1 Deskový kondenzátor
V2 Voltampérová charakteristika diody
V3 Katodové záření
V4 Vodič s proudem v magnetickém poli
V5 Rovnoběžné vodiče s proudem
V6 Elektrony v magnetickém poli
V7 Lenzův zákon
V8 Indukovaný proud
V9 Transformace proudu I (tavení drátu)
V10 Transformace proudu II (bodové svařování)

Ukázka titulu Nakladatelství Prometheus https://prometheus-nakl.cz

jak velký náboj musíme na vodič vložit, aby se jeho potenciál (napětí) zvětšil o 1 V. Čím větší je tento náboj, tím větší je kapacita vodiče.

Kondenzátor

Kapacita osamocených vodičů je velmi malá. Např. izolovaná kovová koule o poloměru 10 cm umístěná ve vakuu má kapacitu přibližně jen 11 pF. Pokud bychom naši Zemi považovali za kulový vodič, byla by její kapacita jen přibližně 700 μF. Podstatně větší kapacitu má soustava dvou navzájem izolovaných vodivých desek v malé vzájemné vzdálenosti.

Přesvědčíme se o tom pokusem, který je v ED ↗V1. Na kovovou desku spojenou s voltmetrem postupně přenášíme elektrický náboj. Elektrické napětí elektrometru se zvětšuje. Jestliže ke kovové desce přiblížíme uzemněnou vodivou desku, pozorujeme, že se výchylka ručky voltmetru zmenší. Abychom dosáhli původní výchylky, museli bychom zvětšit náboj desky spojené s voltmetrem. Takto uspořádaná dvojice desek má schopnost pojmout větší elektrický náboj, má tedy větší kapacitu.

Popsaná soustava navzájem izolovaných rovnoběžných desek se nazývá **deskový kondenzátor**. Nevodivé prostředí mezi deskami tvoří dielektrikum (v nejjednodušším případě je dielektrikem vzduch).

Poznámka: V technické praxi se pro kondenzátor používá také název *kapacitor*.

Pro kapacitu deskového kondenzátoru platí vztah

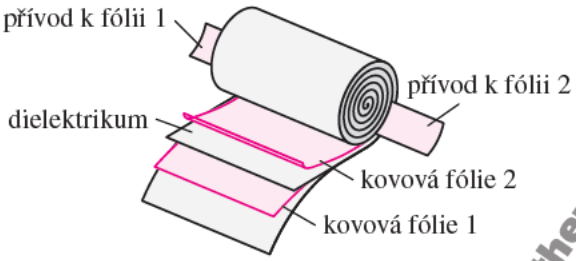
$$C = \varepsilon \frac{S}{d},$$

kde S je obsah účinné plochy desek, tj. obsah části povrchu desek, které se navzájem překrývají, d je vzájemná vzdálenost desek a ε je permitivita prostředí mezi deskami. Vztah je odvozen v ED ↗R1.4.

Kondenzátory se vyrábějí v nejrůznějším provedení a mají široké použití zejména v konstrukci elektrických a elektronických přístrojů. Jako příklad uvedeme *svitkový kondenzátor*, u kterého se dosahuje velká plocha desek dvěma tenkými hliníkovými pásy. Pásy jsou odděleny dielektrickou fólií a jsou svinuty do svitku (obr. 1-18). Svitek je uložen v pouzdru kondenzátoru, ze kterého vystupují přívodní vodiče k oběma kovovým fóliím.

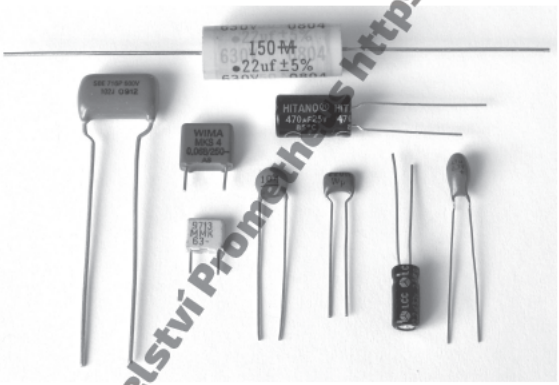
Existují také další druhy kondenzátorů, které se liší konstrukcí, velikostí a elektrickým napětím, pro které jsou kondenzátory konstruovány. Na obr. 1-19

Ukázka titulu Nakladatelství Prometheus http://prometheus-nakl.cz



1-18 Svitkový kondenzátor

jsou příklady různých kondenzátorů používaných v elektrotechnice. Konstrukce některých dalších typů kondenzátorů je vyložena v ED R1.4. Zde je také vysvětleno, jak lze měnit kapacitu kondenzátorů jejich vzájemným spojováním.



1-19 Různé typy kondenzátorů

Energie kondenzátoru

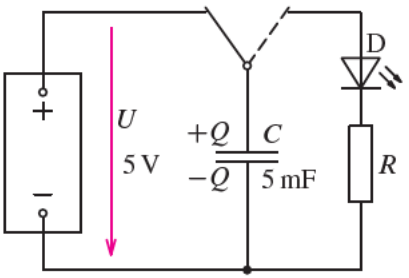
Pokusem podle obr. 1-20 dokážeme, že je nabitý kondenzátor zdrojem elektrické energie. Kondenzátor C o velké kapacitě nabijeme ze zdroje elektrického napětí (může to být plochá baterie). Pak ho připojíme k obvodu se světelnou diodou D (rezistor R má funkci ochranného odporu diody) a dioda bude chvíli svítit. Kondenzátor se stal dočasným zdrojem energie místo baterie. Postupně se však vybíjí, jeho napětí se zmenšuje a dioda přestane svítit.

Pokus svědčí o tom, že kondenzátor nabitím získal elektrickou energii, která závisí na velikosti náboje Q a napětí U kondenzátoru. Závislost těchto veličin vyjadřuje graf na obr. 1-21. Elektrická práce W vykonaná při nabíjení

Ukázka titulu Nakladatelství Prometheus https://prometheus-nakl.cz

kondenzátoru, a tedy jeho elektrická energie E_e v okamžiku nabití je úměrná ploše vymezené grafem. To znamená, že

$$W = E_e = \frac{1}{2}UQ = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}CU^2.$$



1-20 Nabití kondenzátoru ze zdroje a jeho vybití přes světelnou diodu

1-21 Graf závislosti napětí kondenzátoru na náboji desek

Úlohy

1 Určete kapacitu kondenzátoru, který se nabije elektrickým nábojem 3,6 μC na napětí 1 200 V.

2 Deskový kondenzátor o kapacitě 200 pF nabijeme na napětí 5 kV. Jak velký elektrický náboj kondenzátor získá?

3 Skleněnou desku silnou 2,0 mm o relativní permitivitě $\varepsilon_r = 6$ a plošném obsahu 2,0 dm^2 opatříme z obou stran staniolovými polepy. Jakou kapacitu bude mít tento kondenzátor? Jaké náboje vzniknou na polepech, připojíme-li je k ploché baterii o napětí 4,5 V?

4 Kondenzátor o kapacitě 800 μF je nabitý na napětí 500 V. Jaká energie se spotřebuje při jeho úplném vybití?

Ukázka titulu Nakladatelství Prometheus https://prometheus-nakl.cz

3 Na malé žárovce jsou uvedeny provozní hodnoty 24 V a 0,10 A. Prochází-li žárovkou proud 2,5 mA, je na ní napětí 0,045 V a teplota wolframového vlákna je prakticky stejná jako teplota okolí (20 °C). Jakou teplotu má vlákno za provozu?

2.6 Spojování rezistorů

Elektrotechnická zařízení se většinou skládají z velkého počtu součástek, jako jsou rezistory, zdroje, polovodičové součástky apod. Tyto součástky jsou spojeny do složitějších obvodů – **elektrických sítí**. Abychom porozuměli jejich činnosti, musíme znát zákony, podle kterých se rozdělují elektrické proudy a elektrická napětí na jednotlivé prvky obvodu. Začneme nejjednoduššími případy.

A. Sériové spojení rezistorů

Na obr. 2-13a je část obvodu, ve kterém jsou sériově (za sebou) spojeny tři rezistory o odporech R_1, R_2, R_3. Všemi rezistory prochází stejný proud I, ale potenciál na jednotlivých částech obvodu se ve směru elektrického proudu zmenšuje, na rezistorech vzniká úbytek napětí. Graficky je to znázorněno na obr. 2-13b. Napětí na jednotlivých rezistorech závisí na jejich odporu a celkové napětí je rovno součtu těchto napětí:

$$U = U_1 + U_2 + U_3.$$

Podle Ohmova zákona platí

$$U = R_1 I + R_2 I + R_3 I = (R_1 + R_2 + R_3) I = R I.$$

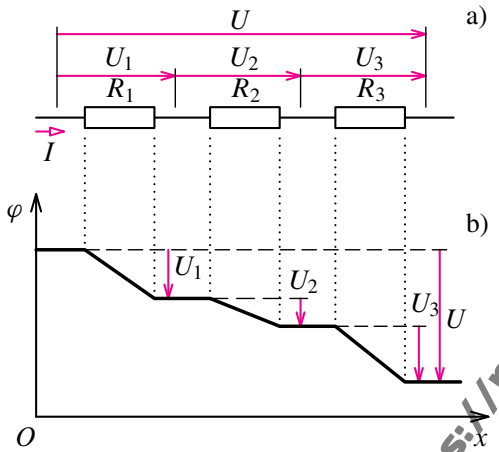
Celkový odpor R rezistoru, kterým můžeme rezistory v obvodu nahradit, je roven součtu jednotlivých odporů:

$$R = R_1 + R_2 + R_3.$$

Při sériovém spojení rezistorů je napětí na rezistorech ve stejném poměru jako jejich odpory:

$$U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3.$$

Ukázka titulu Nakladatelství Prometheus https://prometheus-nakl.cz



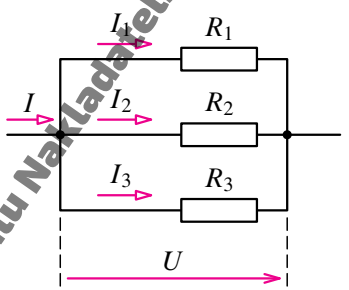
2-13 a) Sériové spojení rezistorů, b) průběh potenciálu

Odvozené vztahy se dají zobecnit pro libovolný počet sériově spojených rezistorů.

B. Paralelní spojení rezistorů

Na obr. 2-14 je část elektrického obvodu, ve které jsou paralelně spojeny tři rezistory o odporech R_1, R_2, R_3. Na všech je stejné napětí U. Celkový proud je roven součtu proudů procházejících jednotlivými rezistory

$$I = I_1 + I_2 + I_3.$$



2-14 Paralelní spojení tří rezistorů

Podle Ohmova zákona platí

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} = U\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) = \frac{U}{R}.$$

Ukázka titulu Nakladatelství Prometheus https://prometheus-nakl.cz

Pro celkový odpor R a celkovou vodivost G dané části obvodu dostáváme:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3},$$
$$G = G_1 + G_2 + G_3.$$

Proud se při paralelním spojení rezistorů rozdělí v poměru

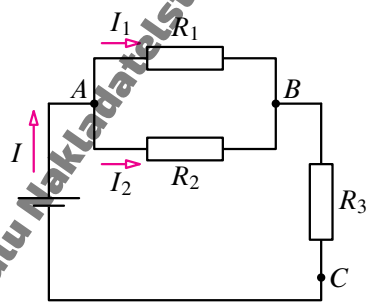
$$I_1 : I_2 : I_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} = G_1 : G_2 : G_3.$$

Odvozené vztahy se dají zobecnit pro libovolný počet paralelně spojených rezistorů.

V elektrických sítích bývají součásti elektrického obvodu spojovány současně jak sériově, tak paralelně. Výpočet proudů a napětí v obvodu je složitější. Základní zákony pro elektrické sítě zformuloval již v roce 1841 německý fyzik GUSTAV ROBERT KIRCHHOFF H a označujeme je jako **Kirchhoffovy zákony**. Podrobněji jsou vyloženy v ED R2.4.

Příklad

Na obr. 2-15 je obvod se třemi rezistory R_1, R_2, R_3, který je připojen ke zdroji o svorkovém napětí U. Řešte obvod nejprve obecně a pak pro hodnoty $R_1 = 6\,\Omega$, $R_2 = 12\,\Omega$, $R_3 = 8\,\Omega$ a $U = 18\,\mathrm{V}$.



2-15 Obvod se třemi rezistory

Řešení

$R_1 = 6\,\Omega$, $R_2 = 12\,\Omega$, $R_3 = 8\,\Omega$, $U = 18\,\mathrm{V}$; $I = ?$, $I_1 = ?$, $I_2 = ?$, $U_{AB} = ?$, $U_{BC} = ?$

Ukázka titulu Nakladatelství Prometheus https://prometheus-nakl.cz

5.3 Magnetická indukce

Dosud jsme magnetickou sílu popisovali jen kvalitativně. Nyní najdeme vztah pro její velikost. Vraťme se k pokusu na obr. 5-8 a předpokládejme, že vodič je kolmý k indukčním čarám magnetického pole. Budeme uvažovat magnetické pole, jehož magnetické indukční čáry jsou navzájem rovnoběžné. Takové pole je **homogenní magnetické pole**. V praxi však magnetická pole obvykle nejsou homogenní. Jde tedy o modelovou představu, které přibližně odpovídá magnetické pole mezi souhlasnými, rozlehlými póly magnetu v malé vzájemné vzdálenosti.

Kdybychom do magnetického pole umístili kromě uvažovaného vodiče ještě další vodič se stejným proudem, bude magnetické pole působit na oba vodiče také stejnou silou. Když oba vodiče spojíme, bude výsledná síla dvojnásobná, než jaká na každý z nich působila samostatně. Ke stejnému výsledku dospějeme, když budeme uvažovat jediný vodič, kterým však prochází dvojnásobný proud. To znamená, že **velikost magnetické síly je přímo úměrná proudu I ve vodiči**.

Magnetickou sílu můžeme také považovat za výslednici sil, které působí na jednotlivé části vodiče. Jestliže vodič rozdělíme po délce na n myšlených částí, pak zřejmě na každou část vodiče bude působit síla n-krát menší než na celý vodič. Z této úvahy učiníme závěr, že **magnetická síla je přímo úměrná délce l vodiče**.

V uvažovaném případě platí tedy pro velikost magnetické síly působící na vodič kolmý k indukčním čarám vztah

$$F_{\mathrm{m}} = BIl. \tag{5,1}$$

Veličina B, která má ve vztahu (5,1) význam konstanty úměrnosti, charakterizuje silové působení magnetického pole na vodič s proudem. V homogenním magnetickém poli má tato veličina všude stejnou velikost (B = konst.). Pro určení směru magnetické síly je důležitá orientace indukčních čar, která současně určuje směr vektorové veličiny $\boldsymbol{B}$.

Magnetické pole charakterizuje vektorová veličina $\boldsymbol{B}$, kterou nazýváme magnetická indukce.

Ze vztahu (5,1) vyplývá, že velikost magnetické indukce je určena vztahem (směr proudu je kolmý k indukčním čarám)

$$B = \frac{F_{\mathrm{m}}}{Il}. \tag{5,2}$$

Ukázka titulu Nakladatelství Prometheus https://prometheus-nakl.cz

Jednotkou magnetické indukce je *tesla*, značka T. Jednotka je nazvána podle chorvatského elektrotechnika NIKOLY TESLY ↗H.

Velikost magnetické indukce pole např. v blízkosti permanentního magnetu je řádově 10^{-2} T až 10^{-1} T. Pro laboratorní účely jsou konstruovány elektromagnety, kde v mezeře mezi póly se dosahuje hodnot jednotek tesla. Magnetické pole Země má v našich zeměpisných šířkách magnetickou indukci o velikosti řádově 10^{-5} T.

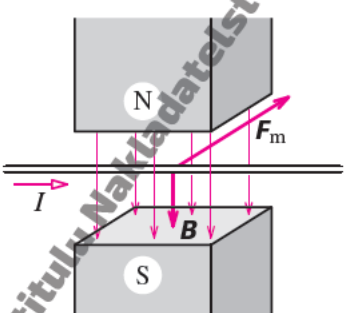
K pojmu magnetická indukce jsme dospěli úvahou, při níž byl vodič kolmý k indukčním čarám. Kdyby byl vodič rovnoběžný s indukčními čarami, pak by silové působení nenastalo ($\boldsymbol{F}_\mathrm{m} = 0$). Obecně platí, že velikost magnetické síly závisí na úhlu α mezi vodičem a indukčními čarami podle vztahu

$$F_\mathrm{m} = BIl \sin\alpha,$$

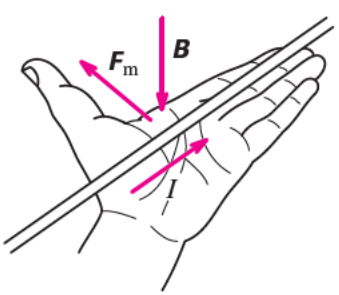
kde $\alpha \in \langle 0, \pi \rangle$.

Magnetická síla $\boldsymbol{F}_\mathrm{m}$ je kolmá jak na vodič, tak na vektor magnetické indukce $\boldsymbol{B}$, a tedy i na magnetické indukční čáry (obr. 5-12). K určení směru magnetické síly použijeme **Flemingovo pravidlo levé ruky**:

Položíme-li otevřenou levou ruku k přímému vodiči tak, aby prsty ukazovaly směr proudu a indukční čáry vstupovaly do dlaně, ukazuje odtažený palec směr síly, kterou působí magnetické pole na vodič s proudem (obr. 5-13).



5-12 Magnetická síla, která působí na vodič s proudem v magnetickém poli

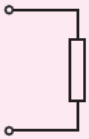
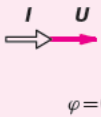
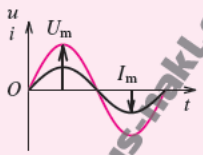
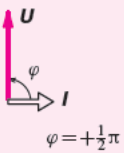
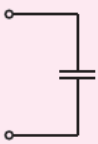
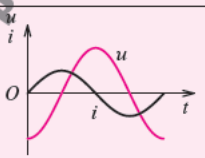
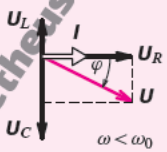
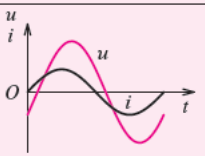
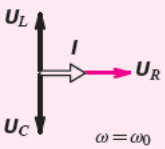
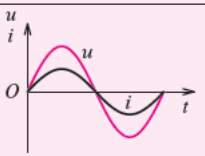
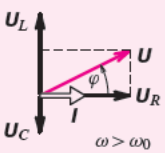
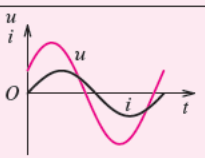
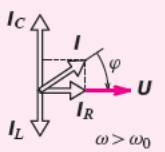
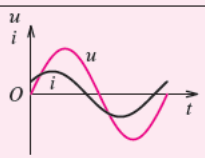


5-13 K Flemingovu pravidlu levé ruky

Poznámka: Vztah pro magnetickou sílu platí jen pro přímý vodič s proudem. Můžeme jej však zobecnit i na tenký vodič libovolného tvaru. Určíme magnetické síly $\Delta\boldsymbol{F}_\mathrm{m}$, kterými

Ukázka titulu Nakladatelství Prometheus https://prometheus-nakl.cz

Přehled obvodů střídavého proudu*

	R		
	$X_L = \omega L$		
	$X_C = \dfrac{1}{\omega C}$		
	$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \dfrac{1}{\omega C}\right)^2}$		
			
			
	$Z = \dfrac{1}{\sqrt{\dfrac{1}{R^2} + \left(\omega C - \dfrac{1}{\omega L}\right)^2}}$		

* Některé poznatky v Přehledu obvodů střídavého proudu jsou podrobněji vyloženy v ED R7.

Ukázka titulu Nakladatelství Prometheus https://prometheus-nakl.cz