

Inovácie v odbornom vzdelávaní



Európsky **sociálny** fond

projekt realizovaný s finančnou podporou ESF

predmet: ELEKTROTECHNIKA

ročník: prvý

odbor: MECHATRONIKA

autor: Ing. Ivan Hundák



ŽILINSKÝ
samosprávny kraj
zriaďovateľ



Stredná priemyselná škola
Nábrežná 1325
024 14 Kysucké Nové Mesto

Inovácie v odbornom vzdelávaní



Európsky **sociálny** fond

projekt realizovaný s finančnou podporou ESF

autor: Ing. Ivan Hundák

grafické spracovanie: Ing. Ivan Hundák

rok vydania: 2007

V knihe sú použité názvy programových produktov a firiem, ktoré môžu byť ochrannými známkami alebo registrovanými ochrannými známkami príslušných vlastníkov.

Obsah:

1. Základné pojmy	6
1.1. Jednotková sústava SI	6
1.2. Stavba látok, elektrická vodivosť látok	7
1.3. Elektrická vodivosť látok	8
2. Elektrostatické pole	8
2.1. Coulombov zákon	9
2.2. Intenzita elektrického poľa	9
2.3. Elektrická indukcia	10
2.4. Potenciál a napätie	10
2.5. Elektrické vlastnosti izolantov, elektrická pevnosť	10
2.6. Kapacita, kondenzátory	11
2.7. Spájanie kondenzátorov	11
2.8. Elektrostatické javy v praxi	12
3. Jednosmerný prúd a napätie	14
3.1. Elektrický obvod, elektrický prúd a hustota prúdu	14
3.2. Ohmov zákon	15
3.3. Elektrický odpor	15
3.4. Spájanie rezistorov	16
3.5. Elektrická energia	16
3.6. Tepelné účinky elektrického prúdu	17
3.7. Elektrické zdroje	17
3.8. Riešenie obvodu s viacerými zdrojmi	18
3.8.1. Riešenie obvodu pomocou 1. a 2. Kirchhoffovho zákona	18
3.8.2. Riešenie obvodu pomocou metódy slučkových prúdov	19
3.9. Spájanie zdrojov	20
4. Elektrická vodivosť kvapalín	23
4.1. Chemické zdroje elektrického napätia	23
4.2. Akumulátory	24
5. Magnetické pole	27
5.1. Magnetické pole vodiča prúdu	27
5.2. Základné veličiny magnetického poľa	28
5.2.1. Magnetické napätie	28
5.2.2. Intenzita magnetického poľa	29
5.2.3. Magnetická indukcia	29
5.3. Magnetizačná charakteristika, hysteréza slučka	29
5.4. Magnetický indukčný tok	30
5.5. Pohyb vodiča v magnetickom poli	30
5.6. Magnetický obvod	31
5.7. Magnetický odpor	31
6. Elektromagnetické pole	34
6.1. Elektromagnetická indukcia	34
I. forma indukčného zákona (transformačná)	34
II. forma indukčného zákona (tzv. pohybová)	34
6.2. Vírivé prúdy	35
6.3. Straty v železe pri striedavej magnetizácii	36
6.4. Vlastná a vzájomná indukčnosť	36
6.4.1. Cievka	36
6.4.2. Vzájomná indukčnosť	37
7. Druhy obvodových veličín a ich časové priebehy	39
7.1. Vznik striedavého napätia a prúdu	39
7.2. Hodnoty striedavého prúdu a napätia	41

8.	Obvody striedavého prúdu.....	42
8.1.	Ideálny rezistor v obvode striedavého prúdu ($R \neq 0$, $R \neq \infty$, $L = 0$, $C = 0$)	42
8.2.	Ideálna cievka v obvode striedavého prúdu. ($L \neq 0$, $R = \infty$, $C = 0$)	42
8.3.	Ideálny kondenzátor v obvode striedavého prúdu. ($C \neq 0$, $R = \infty$, $L = 0$)	43
8.4.	Sériové zapojenie ideálneho rezistora a ideálnej cievky.....	43
8.5.	Sériové zapojenie ideálneho rezistora a ideálneho kondenzátora	44
8.6.	Sériové zapojenie ideálnej cievky a ideálneho kondenzátora.....	44
8.7.	Sériové zapojenie ideál. rezistora, ideál. cievky a ideál. kondenzátora.....	45
8.8.	Paralelné zapojenie ideál. rezistora, ideál. cievky a ideál. kondenzátora	45
9.	Rezonancia	48
9.1.	Sériová rezonancia napätí	48
9.2.	Paralelná rezonancia prúdov	49
10.	Výkon a práca v striedavým obvode	50
10.1.	Činný výkon	50
10.2.	Jalový výkon.....	51
10.3.	Zdanlivý výkon.....	51
10.4.	Účinník a jeho kompenzácia	52
11.	Prechodné javy	54
11.1.	Prechodné javy v R-L obvode	54
11.2.	Prechodné javy v R-C obvode.....	56
12.	Trojfázová sústava	59
12.1.	Skutočné prevedenie generátora 3-fázovej sústavy.....	59
12.2.	Zapojenie trojfázovej sústavy do hviezdy.....	60
12.3.	Zapojenie trojfázovej sústavy do trojuholníka	61
12.4.	Zaťaženia v trojfázových sústavách.....	61
12.4.1.	Zapojenie do hviezdy - súmerné zaťaženie	61
12.4.2.	Zapojenie do hviezdy - nesúmerné zaťaženie	62
12.5.	Výkon v trojfázovej sústave.....	62
12.6.	Práca trojfázového prúdu	62
13.	Elektrické prístroje	64
13.1.	Funkcia spínacích a prepínacích prístrojov.....	64
13.2.	Kombinácie jednopólových domových spínačov.....	64
13.3.	Stykače	65
13.4.	Ochrana elektrických vedení a spotrebičov	68
13.4.1.	Tavné poistky	68
13.4.2.	Istič.....	68
13.4.3.	Motorové ističe	68
14.	Základné termíny z techniky meracích prístrojov	70
14.1.	Hlavné časti magneto–elektrického meracieho prístroja a jeho stupnica	70
14.2.	Chyba meracieho prístroja	71
14.3.	Značky meracieho prístroja.....	72
14.4.	Digitálne meracie prístroje	73
14.5.	Chyba digitálneho meracieho prístroja.	73
15.	Návody na merania	74
15.1.	Regulácia prúdu - kontrola ampérmetra.....	74
15.2.	Regulácia napätia - kontrola voltmetra	74
15.3.	Meranie malých odporov voltampérovou metódou.....	75
15.4.	Meranie veľkých odporov voltampérovou metódou	75
15.5.	Meranie odporov porovnávaním napätia – meranie malých odporov.....	76
15.6.	Meranie odporov porovnávaním prúdu – meranie veľkých odporov.....	76
15.7.	Paralelné zapojenie rezistorov – overovanie 1. Kirchhoffovho zákona	77
15.8.	Sériové zapojenie rezistorov – overovanie 2. Kirchhoffovho zákona	77

15.9.	Meranie jednosmerného výkonu v obvode s veľkým prúdom a malým napätím	78
15.10.	Meranie jednosmerného výkonu v obvode s malým prúdom a veľkým napätím	79
15.11.	Meranie na jednosmernom napájacom zdroji	79
15.12.	Meranie kapacity kondenzátora voltampérovou metódou	80
15.13.	Meranie indukčnosti cievky bez Fe jadra.....	81
15.14.	Meranie indukčnosti cievky s Fe jadrom	81
15.15.	Meranie vzájomnej indukčnosti zapojením cievok do série	82
15.16.	Meranie vzájomnej indukčnosti ampérmetrom a voltmetrom	82
15.17.	Analýza sériového rezonančného obvodu pri zmene frekvencie	83
15.18.	Analýza paralelného rezonančného obvodu pri zmene frekvencie	84
15.19.	Meranie jednofázového výkonu	85

1. Základné pojmy

Fyzikálne pojmy – pojmy, ktorými vyjadrujeme fyzikálne vlastnosti predmetov a javov

Fyzikálny pokus – umožňuje skúmanie fyzikálnych vlastností

Fyzikálne veličiny – sú fyzikálne pojmy, ktoré vyjadrujú merateľné vlastnosti

Príklad:

elektrina – fyzikálny pojem

elektrický prúd – fyzikálna veličina

$I = 2\text{ A}$ → veľkosť veličiny vyjadrujeme číselnou hodnotou a príslušnou jednotkou.

1.1. Jednotková sústava SI

Kvôli prehľadnosti vzťahov medzi veličinami a ich jednotkami bola stanovená pre každú veličinu jednotka a značka. Táto medzinárodná sústava meracích jednotiek sa nazýva Systéme Internatiol d'Unités, skrátené SI.

Sústava SI obsahuje:

- základné jednotky,
- doplnkové jednotky,
- odvozené jednotky,
- násobky a diely jednotiek.

Základné jednotky

Názov	Značka	Veličina
meter	1 m	dĺžka
kilogram	1 kg	hmotnosť
sekunda	1 s	čas
ampér	1 A	elektrický prúd
kelvin	1 K	termodynamická teplota
kandela	1 cd	svietivosť
mol	1 mol	látkové množstvo

Doplnkové jednotky

radián	1 rad	rovinný uhol
steradián	1 sr	priestorový uhol

Odvozené jednotky (odvozené od základných jednotiek pomocou fyzikálnych vzťahov)

newton	1 N	sila
joul	1 J	práca
watt	1 W	výkon
coulomb	1 C	elektrický náboj
volt	1 V	elektrické napätie
farad	1 F	elektrická kapacita
ohm	1 Ω	elektrický odpor
siemens	1 S	elektrická vodivosť

Násobky a diely jednotiek

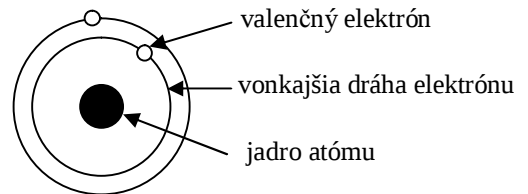
10^3	kilo	k	10^{-3}	mili	m
10^6	mega	M	10^{-6}	mikro	μ
10^9	giga	G	10^{-9}	nano	n
10^{12}	tera	T	10^{-12}	piko	p
10^{15}	penta	P	10^{-15}	femto	f
10^{18}	exa	E	10^{-18}	atto	a

1.2. Stavba látok, elektrická vodivosť látok

Všetky objekty a javy majú základnú spoločnú vlastnosť – sú hmotné. Hmota má dve formy – látku a pole. Vlastnosti predmetov sú určené stavbou látky, resp. stavom poľa.

Látky sú zložené z oddelených častíc

látka - molekula - atóm - jadro - protóny a neutróny
- obal - elektróny



Obrázok 1

Pole spája navzájom častice látky do jednej sústavy. Ak je príčinou silového pôsobenia hmotnosť, elektrický náboj alebo elektrický prúd poznáme gravitačné, elektrické alebo magnetické pole.

Atóm a jeho štruktúra: V jadre atómu s priemerom 10^{-15} m je sústredený všetok kladný náboj atómu a skoro celá hmotnosť atómu. Nachádzajú sa v ňom protóny s elementárnym kladným nábojom a elektricky neutrálne neutróny. Elektróny s elementárnym záporným nábojom $e = -1,602 \cdot 10^{-19}$ C vytvárajú elektrónový obal atómu rozprestretý do 10^5 – krát väčšej vzdialenosti ako je priemer jadra. Počet elektrónov v obale je zhodný s počtom protónov v jadre. Atóm je ako celok elektricky neutrálny.

Čiarový energetický model atómu: Polohu elektrónov vzhľadom na jadro nemožno určiť presne, možno určiť len pravdepodobnosť výskytu elektrónov v závislosti od vzdialenosti jadra. Oblasť výskytu elektrónov nazývame elektrónový mrak – **orbitál**. Výskyt elektrónu je určený jeho energiou. Ak sa mení energia elektrónu, mení sa veľkosť, tvar a priestorová orientácia oblastí, v ktorých sa elektrón vyskytuje. Elektróny môžu energiu prijímať alebo strácať v d'alej nedeliteľných dávkach – kvantách.

Ak jednotlivé energetické hladiny znázorňujeme vodorovnou čiarou, dostávame čiarový energetický model osamoteného atómu. Najnižšia čiara predstavuje najnižšiu energiu, najvyššia čiara predstavuje najvyššiu energiu.

Energetický stav každého elektrónu, ktorý rozhoduje o pohybe a polohe elektrónu v atóme vyjadrujú 4 kvantové čísla.

1. **Hlavné kvantové číslo n** vyjadruje dovolenú energetickú (kvantovú) hladinu elektrónu t.j. veľkosť elektrónového mraku
2. **Vedľajšie kvantové číslo l** charakterizuje periodický pohyb elektrónu okolo jadra, t.j. tvar orbitu
3. **Magnetické kvantové číslo m** určuje orientáciu periodického pohybu elektrónu, t.j. priestorovú orientáciu orbitu
4. **Spinové kvantové číslo s** udáva pohyb elektrónu vzhľadom na vlastnú os.

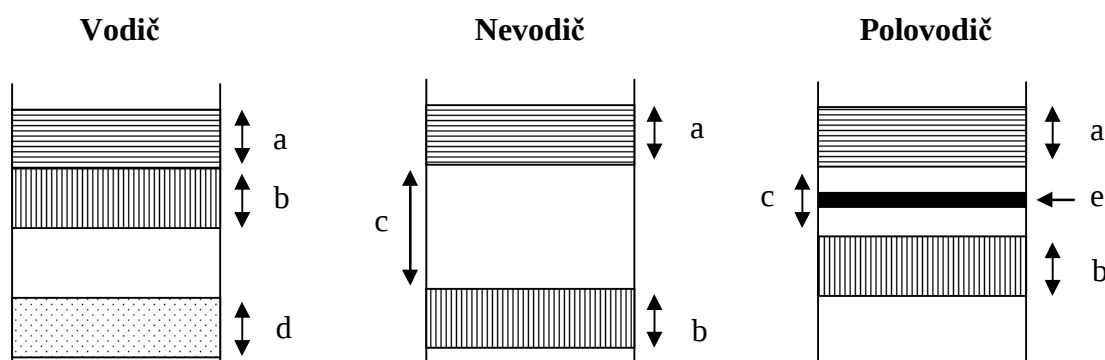
Pauliho vylučovací princíp: V jednom atóme nemôžu mať dva elektróny rovnaké súčasne všetky štyri kvantové čísla. t.j. musia sa líšiť aspoň spinovým číslom. Najvyššia ešte elektrónmi obsadená hladina sa nazýva valenčná. Ak má elektrón prejsť zo stavu s nižšou energiou do stavu s vyššou energiou, musí elektrón energiu získať (napr. nárazom letiacich elektrónov, zvýšením teploty, pohltením žiarenia). Ak elektrón získa energiu, ktorá je väčšia ako energia najvyššie položeného orbitu t.j. valenčného pásma, môže sa voľne pohybovať a stáva sa voľným elektrónom.

1.3. Elektrická vodivosť látok

Na vysvetlenie elektrickej vodivosti stačí poznať najvyššie dovolené pásma – valenčné a vodivostné. Tieto môžu, ale nemusia byť oddelené zakázaným pásmom. Zaplnenie valenčného a vodivostného pásma elektrónmi rozhoduje o vodivosti látok. Elektróny vo vodivostnom pásme nazývame voľnými elektrónmi (nie sú viazané k atómu) a môžu sa v látke voľne pohybovať. Vodivosť zapríčinená voľnými elektrónmi je elektrónová vodivosť.

Podľa elektrónovej vodivosti poznáme látky **vodivé, nevodivé a polovodiče**.

1. **Vodiče** nemajú valenčné pásmo úplne obsadené elektrónmi a toto sa prekrýva s vodivostným pásmom. Alebo je šírka zakázaného pásma veľmi malá, takže elektróny ho môžu už pri malej energii ľahko prekonať. (kovy, uhlík)
2. **Nevodiče**, izolanty majú valenčné pásmo úplne obsadené elektrónmi a zakázané pásmo je široké (20 eV), takže elektróny nemôžu prekonať energetickú bariéru zakázaného pásma a dostať sa tak do vodivostného pásma. (sklo, sľuda, parafín)
3. **Polovodiče** s vlastnou vodivosťou majú valenčné pásmo úplne obsadené, ale zakázané pásmo majú úzke (0,5 – 1,5 eV), takže elektróny ho môžu už pri zvýšenej teplote prekonať a dostať sa do vodivostného pásma. V polovodičoch s prímiesovou vodivosťou sa vplyvom prímies môže vytvoriť medziľahlé pásmo, ktoré umožňuje prechod elektrónov. (germánium, kremík, selén)



Obrázok 2

a – vodivostné pásmo	b – valenčné pásmo	c – zakázané pásmo
d – vnútorné pásmo	e – medziľahlé pásmo	

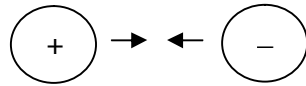
2. Elektrostatické pole

Látky obsahujú elektricky nabité častice. Tieto častice – protóny a elektróny nesú **elektrický náboj**. Zavedením pojmu náboj vyjadrujeme schopnosť častíc pôsobiť na seba elektrickými silami. Tie sú 10^{39} – krát väčšie ako gravitačné sily. Elementárny náboj je $e = \pm 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Tento elementárny náboj je ďalej nedeliteľný. Elektrický náboj nemožno oddeliť od častíc, ktoré ich nesú. Zákon zachovania náboja: Elektrický náboj sa nedá vytvoriť ani zničiť.

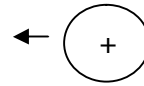
V atómovom obale možno pôsobením iných atómov, častíc alebo polí odpútať niektoré elektróny a vytvoriť voľné elektróny. Tie možno rozmiestňovať nielen vo vnútri telesa, ale aj na iné telesá. Tak vznikajú elektricky nabité telesá. Teleso s prebytkom elektrónov oproti neutrálnemu, považujeme za záporne nabité. Podľa zákona o zachovaní elektrického náboja, prebytok elektrónov v jednom telese, sa musí prejavíť v inom telese ich nedostatkom. V tom prevládajú účinky kladného náboja – protónov a teleso je nabité kladne.

Silové účinky nabitých telies: dve súhlasne nabité telesá (častice) sa vzájomne odpudzujú. Dve nesúhlasne nabité telesá (častice) sa priťahujú.

Obrázok 3



Dve nesúhlasne nabité telesá sa priťahujú.

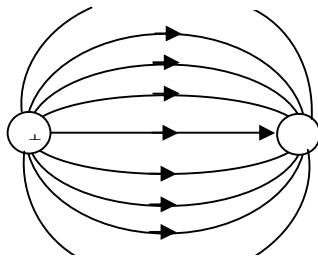


Dve súhlasne nabité telesá sa odpudzujú.

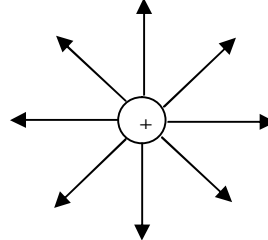
Elektrické pole je v okolí každého elektricky nabitého telesa, a to aj vo vákuu. Elektrické pole, ktoré vytvoria nepohyblivé (statické) elektrické náboje v nevodivom prostredí, je **elektrostatické pole**. V elektrostatickom poli platí, že náboj a pole sú v pokoji.

Priebeh elektrických polí znázorňujeme siločiarami. Dohodou je stanovené, že siločiarly vychádzajú z kladne nabitého telesa a končia na záporne nabitom telese. V mieste, kde sa prejavujú väčšie silové účinky elektrického poľa na nabité teleso, sú siločiarly bližšie pri sebe. Okolo osamotenej gule vzniká radiálne pole. Medzi dvoma platňami spojenými s opačnými poľami vysokého napätia sa vytvárajú rovnobežné siločiarly – pole je homogénne.

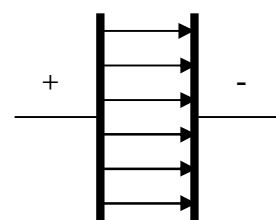
Obrázok 4



Siločiarly dvoch nesúhlasne nabitých telies



Radiálne pole



Homogénne pole

2.1. Coulombov zákon

Sila F medzi dvoma bodovými nábojmi Q_1 a Q_2 v pokoji je priamo úmerná súčinu týchto nábojov a nepriamo úmerná druhej mocnine ich vzdialenosti r . Ak sú náboje Q_1 a Q_2 súhlasné, sila ktorou na seba pôsobia je odpudivá, ak sú nesúhlasné, je príťažlivá. Tento zákon platí len pre dva bodové náboje.

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (\text{N ; Nm}^2 ; \text{C}^{-2} ; \text{C} ; \text{C} ; \text{m}) \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon} \quad e = e_0 e_r$$

ϵ je permitivita dielektrika a vyjadruje kvalitu nevodivého prostredia, ϵ_0 je permitivita vákuu, $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{N}^{-1} \text{m}^{-2}$, ϵ_r je relatívna permitivita (vyjadruje zoslabenie elektrického poľa oproti vákuu, bezrozmerné číslo, väčšie ako 1)

Konštanta k vyjadruje vplyv prostredia. Každé prostredie zoslabí elektrické pole. Napr. v skle sa zoslabí elektrické pole 5 až 10 krát, vo vode až 80 krát, v porovnaní s vákuom.

Elektrické pole je podobne ako gravitačné pole formou hmoty. Na rozdiel od gravitačného poľa je možné elektrické pole odtieniť t.j. vytvoriť prekážku, za ktorú elektrické pole neprenikne. Hovoríme o Faradajovej klietke. Je to uzatvorená kovová nádoba alebo hustá sieť pripojená na potenciál Zeme. Využíva sa pritom jav, že náboj sa hromadí len na povrchu dutých vodičov.

2.2. Intenzita elektrického poľa

Veľkosť silového pôsobenia elektrického poľa na elektrický náboj v určitom mieste pola vyjadruje intenzita elektrického poľa E . Intenzitu elektrického poľa vyjadrujeme podielom sily F a náboja Q . Intenzita elektrického poľa je vektorová veličina t.j. má veľkosť a smer.

Intenzita elektrického poľa E vyjadruje aj spád napätia U medzi dvoma elektródami vzdialenými od seba dielektrikom s hrúbkou d .

$$E = \frac{F}{Q} \quad (\text{Vm}^{-1}, \text{N}, \text{C}) \quad E = \frac{U}{d} \quad (\text{Vm}^{-1}, \text{V}, \text{m})$$

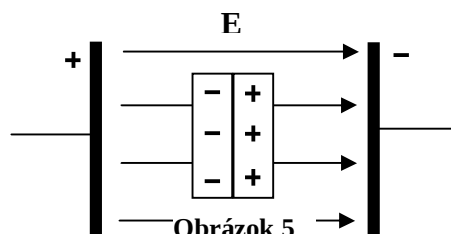
2.3. Elektrická indukcia

Ak do homogénneho elektrického poľa dáme kolmo na smer silového pôsobenia kovovú elektródu, vyjadruje podiel náboja Q indukovaného na ploche S elektrickú indukciu D .

$$D = \frac{Q}{S} \quad (\text{Cm}^{-2}, \text{C}, \text{m}^2)$$

Medzi elektrickou indukciou a intenzitou elektrického poľa platí vzťah:

$$D = e \cdot E$$



Obrázok 5

Vodič v elektrickom poli

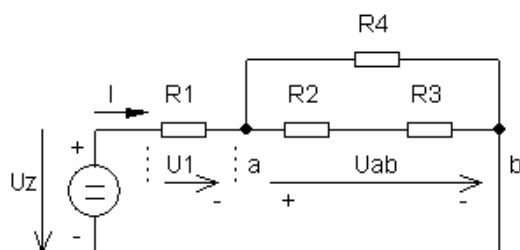
2.4. Potenciál a napätie

Pojem potenciál a napätie sa dobre odvodzuje v elektrostatickom poli. El. potenciál V určitého bodu poľa sa rovná hodnote (veľkosti) práce A , ktorú musíme vykonať na prenesenie kladného jednotkového náboja $1C$ z miesta nulového potenciálu do uvažovaného bodu poľa. Za miesto nulového potenciálu sa v praxi potenciál Zeme.

$$V = \frac{A}{Q} \quad (\text{V}, \text{J}, \text{C})$$

El. napätie sa udáva medzi dvoma bodmi A a B poľa: $U_{AB} = U = V_A - V_B$ (V). Predstavuje množstvo práce (energie) potrebnej na prenesenie jednotkového náboja z miesta B do miesta A. Jednotkou napätia ako aj potenciálu je **volt (V)**.

Veľičina napätia sa používa aj v prúdovom poli. V obvodoch, v ktorých tečie prúd sa napätie tiež vzťahuje na dva body (uzly, svorky) zariadenia.



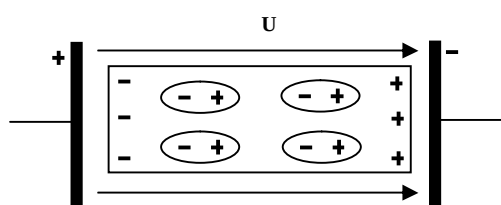
Obrázok 6

U_Z napätie na svorkách zdroja
 U_1 napätie na rezistore R1
 U_{ab} napätie medzi uzlami a, b

Napätie môže mať kladnú alebo zápornú hodnotu (znamienko). Smer (zmysel) napätia v elektrických schémach značíme orientovanou úsečkou, ktorá smeruje od kladnejšieho k zápornému pólu (svorke). Napätie a energiu potrebnú na funkciu elektrických obvodov vytvárajú el. zariadenia, ktoré sa nazývajú elektrické zdroje. Na pasívnych súčiastkach – spotrebičoch, sa napätie vytvára priechodom prúdu, hovoríme o úbytku napätia na spotrebiči. Veľkosť napätia sa meria prístrojom, ktorý sa nazýva voltmeter.

2.5. Elektrické vlastnosti izolantov, elektrická pevnosť.

Elektrické pole, do ktorého vložíme dielektrikum, pôsobí silami na elektricky nabitú časticu dielektrika. V atóme sa presunú častice s elementárnym nábojom na rôzne strany atómu a tým dôjde k polarizácii atómu t.j. vytvárajú sa dipóly.



Izolant v elektrickom poli

Obrázok 7

Vplyvom polarizácie povrchových atómov telesa sa polarizované teleso javí ako elektricky nabitú, pretože jedna jeho povrchová vrstva má kladný náboj a druhá záporný náboj. Usporiadaním dipólov v dielektriku vzniká elektrické pole v dielektriku, ktoré vždy znižuje vonkajšie pole. Po zániku elektrického poľa zaniká aj **polarizácia dielektrika**.

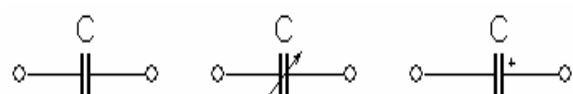
Termín elektrická pevnosť sa zaviedol pre látky s malou elektrickou vodivosťou, t.j. pre izolanty, dielektriká. Ak pôsobenie síl elektrostatického poľa prekročí určitú medzu, je namáhanie molekúl dielektrika také veľké, že niektoré elektróny sa z väzieb uvoľnia a môžu sa pohybovať po celom telese. Spôsobia rýchle zväčšenie vodivosti, izolantom začne pretekať slabý prúd a vznikne prieraz dielektrika. Prechádzajúcim prúdom sa izolant ohrieva, až nastane horenie. Prúd stúpa ďalej až nastane elektrický oblúk – izolant sa prerazí.

Hodnota intenzity poľa, pri ktorej vznikol prieraz, je elektrická pevnosť E_p . Mierou elektrickej pevnosti je **prierazný gradient** E_p , t.j. napätie U_p pripadajúce na danú hrúbku dielektrika d .

$$E_p = \frac{U_p}{d} \quad (\text{Vm}^{-1}; \text{V}; \text{m})$$

Elektrická pevnosť závisí od teploty, hrúbky dielektrika, dĺžky pôsobenia elektrického poľa, tvaru elektród, vlhkosti. Najlepšie dielektriká sú plyny, horšími izolantmi sú kvapaliny. V praxi sa používajú minerálne oleje a tuhé dielektriká, z dôvodu mechanických vlastností.

2.6. Kapacita, kondenzátory

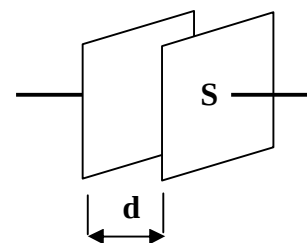


Kapacita C je schopnosť vodiča nahromadiť určité množstvo náboja pri určitom potenciáli, resp. napätí. Elektrický prvok, ktorý má pri malých rozmeroch pomerne veľkú kapacitu sa

nazýva **kondenzátor**. Jednotkou kapacity je **farad (F)**. Najjednoduchší typ kondenzátora je rovinný kondenzátor. Skladá sa z dvoch rovinných kovových dosiek - elektród, oddelených dielektrikom. Pre kapacitu rovinného doskového kondenzátora platí vzťah:

$$C = \epsilon \frac{S}{d} \quad C = (n-1)\epsilon \frac{S}{d} \quad (\text{F}; \text{Fm}^{-1}; \text{m}^2; \text{m})$$

ϵ je permitivita prostredia medzi elektródami, S je plocha elektród, d je vzdialenosť medzi elektródami, n je počet elektród.



Obrázok 8

Po pripojení na jednosmerný zdroj sa kondenzátor nabije na napätie zdroja U a akumuluje náboj $Q = C \cdot U$ a energiu $A = \frac{1}{2} C \cdot U^2$.

Pri nabíjaní kondenzátora sa zväčšuje potenciál (napätie) medzi platňami.

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{I \cdot t}{C}$$

Napätie U medzi platňami je priamo úmerné náboju Q a nepriamo úmerné kapacite kondenzátora C . Kondenzátor s malou kapacitou sa rovnakým nábojom nabije na vyššie napätie ako kondenzátor s veľkou kapacitou. Preto sa udáva najvyššie napätie, na ktoré môže byť kondenzátor trvale pripojený, bez toho aby sa nezničil prierazom.

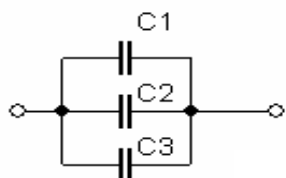
Podľa prevedenia rozdelujeme kondenzátory na:

pevné (veľkosť kapacity nie je možné meniť)

otočné (veľkosť kapacity je možné meniť vzájomnou polohou elektród kondenzátora)

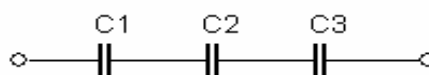
Podľa typu dielektrika, použitého na výrobu kondenzátora poznáme: vzduchové, sľudové, papierové, plastové, keramické, tantalové, elektrolytické a iné.

2.7. Spájanie kondenzátorov



paralelné zapojenie

$$C_v = C_1 + C_2 + C_3$$



Obrázok 9

sériové zapojenie

$$\frac{1}{C_v} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Pri paralelnom zapojení je na všetkých kondenzátoroch rovnaké napätie U .
Pri sériovom zapojení je náboj Q na všetkých kondenzátoroch rovnaký.

2.8. Elektrostatické javy v praxi

V praxi sa často stretávame so statickým nábojom, ktorý vzniká trením. Mechanickým pôsobením dochádza k premiestňovaniu náboja medzi telesami a tieto sa stávajú elektricky nabité. Osobitne nebezpečný je vznik statického náboja v horľavom prostredí, lebo nahromadený náboj môže spôsobiť výboj, ktorý môže zapáliť horľavé prostredie. Vzniku nábojov nie je možné predísť. Zabrániť možno ale vzniku výboja. Robí sa to uzemnením predmetov, na ktorých je predpoklad vzniku statického náboja.

Silové pôsobenie vznikajúce pri nabití telesa elektrostatickým nábojom je možné aj využiť. Napr. pri elektrostatickom striekaní farby, alebo pri elektrostatických filtroch, kde sa ľahké prachové častice zachytávajú na elektricky nabitej elektróde.

Kontrolné otázky.

1. Aké jednotky obsahuje sústava SI, vymenuj základné jednotky, vymenuj násobky a diely jednotiek?
2. Premeňte na hlavné jednotky pomocou exponentov diely a násobky: 0,6 MW ; 28 mV; 12 k Ω ; 60 pF; 1,9 μ F.
3. Premeňte s použitím predpôň: $0,6 \cdot 10^6$ W; $28 \cdot 10^{-3}$ V; $12 \cdot 10^3$ Ω ; $60 \cdot 10^{-12}$ F; $1,9 \cdot 10^{-6}$ A.
4. Vysvetlite rozdiel medzi vodičom a izolantom
5. Čo je elektrický náboj? Definujte jeho veľkosť a jednotku.
6. Vyjadrite silové účinky dvoch nesúhlasne orientovaných nábojov.
7. Vyjadrite potenciál a napätie.
8. Charakterizujte pojem elektrická pevnosť.
9. Čo je to kondenzátor, od čoho závisí kapacita rovinného kondenzátora?
10. Nakresli schematickú značku kondenzátora. Nakresli sériové a paralelné zapojenie kondenzátorov. Napíš vzťah pre výpočet výslednej kapacity.

Pr.1. Z akej vzdialenosti vo vzduchu pôsobia na seba dva elektrické náboje $Q_1 = 2\mu\text{C}$ a $Q_2 = 4\mu\text{C}$ silou $0,6\text{N}$

$$r = \sqrt{\frac{Q_1 \cdot Q_2}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot F}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot \pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1,0,6}} = 0,345\text{m}$$

Pr.2. Kondenzátor má náboj na elektródach $7 \cdot 10^{-8}\text{C}$. Dielektrikom je kondenzátorový papier s hrúbkou $25\mu\text{m}$ a s pomernou permitivitou 5. Plocha platní je 4cm^2 . Vypočítajte elektrickú indukciu, intenzitu elektrického poľa, napätie medzi elektródami a kapacitu kondenzátora.

Elektrická indukcia

$$D = \frac{Q}{S} = \frac{7 \cdot 10^{-8}}{4 \cdot 10^{-4}} = 175 \cdot 10^{-6} \text{C} \cdot \text{m}^{-2}$$

Intenzita elektrického poľa

$$E = \frac{D}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r} = \frac{175 \cdot 10^{-6}}{5,8,85 \cdot 10^{-12}} = 3,95 \cdot 10^6 \text{V} \cdot \text{m}^{-1}$$

Napätie medzi platňami

$$U = E \cdot d = 3,95 \cdot 10^6 \cdot 25 \cdot 10^{-6} = 98,75\text{V}$$

Kapacita kondenzátora

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{S}{d} = 5,8,85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{4 \cdot 10^{-4}}{25 \cdot 10^{-6}} = 708 \cdot 10^{-12} \text{F} = 708 \text{pF}$$

Pr.3. Štyri kondenzátory s kapacitami $C_1=1\mu\text{F}$, $C_2=2\mu\text{F}$, $C_3=3\mu\text{F}$, $C_4=2,5\mu\text{F}$ sú zapojené podľa obrázku 10. Náboj na platniach kondenzátora C_2 je $4\mu\text{C}$. Urči napätie medzi svorkami AB.

Napätie na kondenzátore C_2

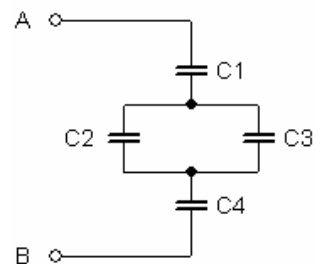
$$U_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{4 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-6}} = 2\text{V}$$

Na kondenzátore C_3 je napätie rovnaké a náboj Q_3 je

$$Q_3 = U_2 \cdot C_3 = 2 \cdot 3 \cdot 10^{-6} = 6 \cdot 10^{-6} = 6\text{mC}$$

Náboje na kondenzátoroch C_1 a C_4 sú

$$Q_1 = Q_4 = Q = Q_2 + Q_3 = 4 + 6 = 10\text{mC}$$



Obrázok 10

Kapacita zapojenia je daná vzťahom

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2 + C_3} + \frac{1}{C_4} = 1 + 0,2 + 0,4 = 1,6\text{mF}^{-1}$$

$$C = \frac{1}{1,6} = 0,625\text{mF}$$

Napätie medzi svorkami AB je

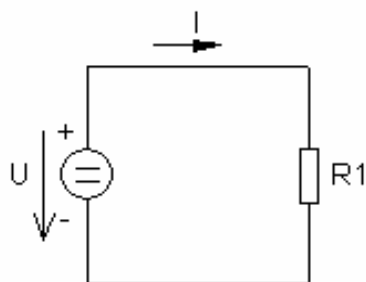
$$U_{AB} = \frac{Q}{C} = \frac{10 \cdot 10^{-6}}{0,625 \cdot 10^{-6}} = 16\text{V}$$

3. Jednosmerný prúd a napätie

O jednosmernom prúde a napätí hovoríme, ak tieto nemenia v čase ani svoju veľkosť, ani svoj smer.

3.1. Elektrický obvod, elektrický prúd a hustota prúdu.

Elektrickým obvodom rozumieme sústavu elektrických zariadení, ktoré sú navzájom elektricky spájané. Navzájom spájame zdroje elektrického prúdu a spotrebič. Spájacími cestami sú vodiče. Elektrický obvod tvoria zdroje, spotrebiče a vodiče.



Elektrický obvod

Obrázok 11

Elektrický prúd I je usporiadaný tok voľných hmotných nosičov náboja v smere elektrického poľa, vytvoreného zdrojom napätia. Vo vodičoch je prúd vytvorený tokom voľných elektrónov, v roztokoch – elektrolytoch a plynch spôsobujú prúd väčšie hmotné elektricky nabité častice – ióny. Častice môžu mať kladný alebo záporný náboj a takáto vodivosť sa nazýva iónová.

V elektrotechnike sa pod elektrickým prúdom rozumie merateľná veličina, vyjadrujúca veľkosť náboja tečúceho vodičom alebo súčiastkou.

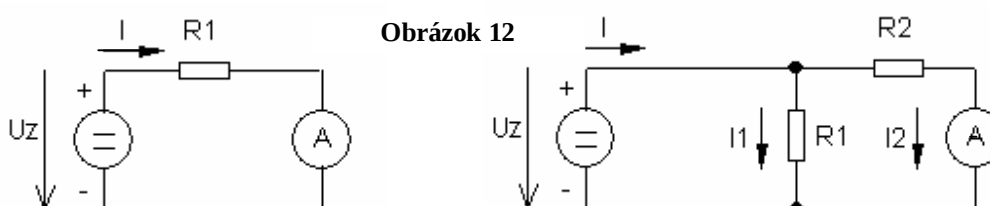
Pre jednosmerný prúd platí vzťah:
$$I = \frac{Q}{t} \quad (\text{A, C, s})$$

Veľkosť prúdu I je daná množstvom náboja Q , ktorý pretečie prierezom vodiča za jednotku času t . Prúd môže tečť len v uzavretom obvode – slučke. Jednotkou el. prúdu je **ampér (A)**.

Prístroj na meranie prúdu sa nazýva **ampérmeter**. V praxi sa za dohodnutý kladný smer jednosmerného prúdu považuje tok kladných nosičov náboja v smere intenzity elektrického poľa E , vytvoreného zdrojom.

Pozn.: bez ohľadu na fyzikálnu podstatu vedenia prúdu a typ nosičov náboja, napr. v kovoch, spôsobujú prúd záporné elektróny, ktorých smer pohybu je opačný ako smer intenzity poľa.

Značenie smeru prúdu a meranie prúdu ampérmetrom

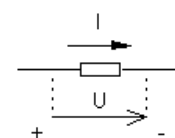


Obrázok 12

Prúdová hustota J je podiel veľkosti prúdu I a prierezu vodiča S :
$$J = \frac{I}{S} \quad (\text{A.m}^2, \text{A.m}^2).$$

Každý materiál a konštrukcia vodiča má pri určitom spôsobe chladenia len určitú dovolenú hodnotu prúdovej hustoty. Aby sa vodiče prietokom prúdu príliš neprehrievali (a nedošlo k poškodeniu izolácie alebo požiaru), musia mať dostatočne dimenzovaný prierez. Pre medený vodič $J = 2,5 \div 5 \text{ A/mm}^2$ (podľa uloženia a spôsobu chladenia).

Orientácia obvodových veličín znamená súvis znamienka veľkosti veličiny a smeru veličiny v obvode vyjadreného šípku. Hodnota veličiny je určená veľkosťou a znamienkom. Zaužívalo sa tzv. spotrebičová orientácia napätia a prúdu. Na pasívnej súčiastke má prúd a úbytok napätia vyvolaný prúdom rovnaký smer.



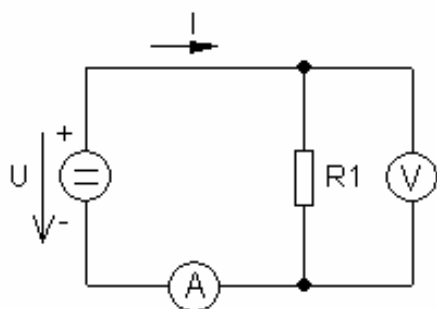
Obrázok 13

3.2. Ohmov zákon

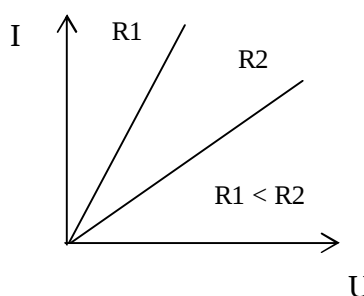
Napätie U medzi koncami vodiča (rezistora) s konštantným odporom R je priamo úmerné prúdu I , ktorý prechádza vodičom.

$$U = R \cdot I \quad (V; \Omega; A)$$

Túto závislosť znázorňuje graf – Voltampérová charakteristika. Závislosť prúdu je od napätia priamková, teda lineárna. Ohmov zákon platí pre obvody s lineárnym odporom.



Voltampérová charakteristika



Obrázok 14

3.3. Elektrický odpor

Elektrický odpor R je vlastnosť a veličina, charakterizujúca schopnosť klásť odpor prechodu prúdu, teda obmedzovať veľkosť prúdu cez látku alebo súčiastku. Odpor resp. vodivosť látok sa vyjadruje pomocou merného odporu látky ζ alebo mernej vodivosti látky γ .

Vodivosť γ je prevrátená hodnota odporu: $\gamma = \frac{1}{\zeta}$ ($\Omega \cdot m$, S, Ω).

V praxi sa ζ udáva ako odpor vodiča dĺžky $1m$ s prierezom $S = 1 mm^2$.

Predstavu o odpore často používaných materiálov vodičov udáva tabuľka. Odpor látok závisí od teploty, teplotnú závislosť charakterizuje teplotný činiteľ odporu. Rôznosť odporu látok vyplýva zo stavby atómov a mriežky látok.

Materiál	Značka	Merný odpor ($\Omega \cdot m$) $\cdot 10^{-6}$	Merná vodivosť ($S \cdot m^{-1}$) $\cdot 10^6$	Teplotný činiteľ odporu ($1/^\circ C$)
Striebro	Ag	0,0163	60,5	0,0036
Meď	Cu	0,0178	57	0,0039
Hliník	Al	0,035	34	0,004
Železo	Fe	0,086	11	0,005
Ortuť	Hg	0,96	1,04	0,009
Uhlík	C	10 – 40	0,1 – 0,025	-0,0004
Chromnikel	CrNi	1,2	0,8	0,002
konštantán	CuNi	0,5	2	blíži sa 0

Tabuľka 1

Odpor izolantov je o niekoľko rádov väčší, napr. ζ skla je asi $10^5 \Omega \cdot m$.

Odpor vodiča R možno určiť výpočtom z rozmerov: $R = \zeta \frac{l}{S}$ (Ω , $\Omega \cdot m^{-1}$, m, m^2),

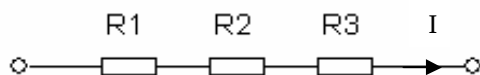
kde l je dĺžka vodiča a S je priemer vodiča. Jednotkou odporu je **ohm** (Ω).

Vodivosť G je obrátená veličina odporu: $G = \frac{1}{R}$ (S, Ω). Jednotkou vodivosti je **siemens** (S).

Vlastnosť (veľčinu) odpor nemajú len látky, ale aj súčiastky. V elektrotechnike sa takéto súčiastky nazývajú odporníky (rezistory).

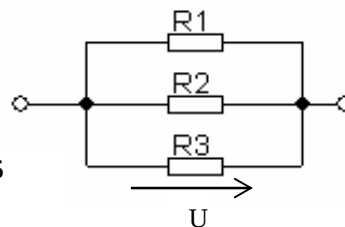
3.4. Spájanie rezistorov

sériové zapojenie



$$R_v = R_1 + R_2 + R_3$$

paralelné zapojenie

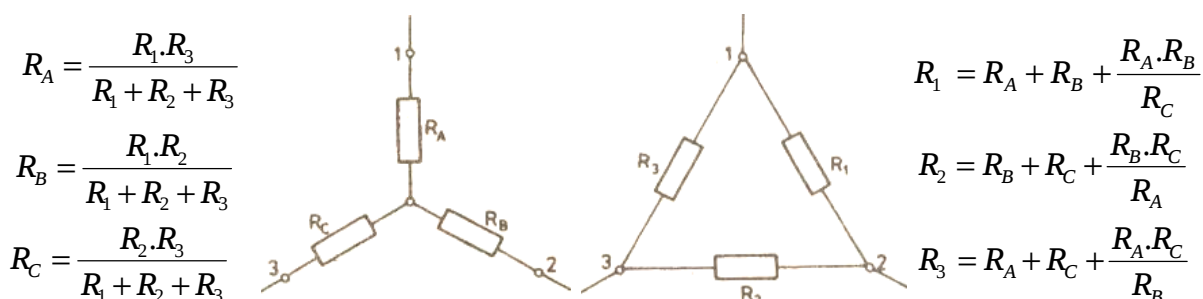


$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Obrázok 15

Pri sériovom zapojení rezistorov prechádza všetkými rezistormi rovnaký prúd I .
Pri paralelnom zapojení rezistorov je na všetkých rezistoroch rovnaké napätie U .

Transfigurácia rezistorov zapojených do hviezdy a trojuholníka



Obrázok 16

3.5. Elektrická energia

Energiu – elektrickú prácu A v elektrotechnike vytvárajú a do obvodov dodávajú elektrické zdroje, ktoré menia mechanickú energiu (generátory) alebo chemickú (galvanické články) alebo inú energiu na elektrickú. V elektronike sa na napájanie obvodov používajú sieťové napájacie zdroje, napájané z rozvodnej elektrickej siete. Druhú časť prvkov a zariadení tvoria pasívne prvky – spotrebiče el. energie, ktoré ju menia na iné formy: tepelnú, svetelnú, mechanickú. Celkové množstvo generovanej a spotrebovanej energie závisí od času pôsobenia. Aby sa dali el. zariadenia z energetického hľadiska vzájomne porovnávať je výhodné zaviesť energetickú veličinu nezávislú od času – **výkon** P . Jednotkou výkonu je **watt (W)**

Výkon P je veľkosť práce A za jednotku času t : $P = \frac{A}{t}$ (W ; J ; s) $P = U \cdot I$ (W, V, I)

Pre prácu A platí: $A = P \cdot t = U \cdot I \cdot t$ (J, V, A, s). t – čas

Každý zdroj a spotrebič je dimenzovaný na menovitý výkon, po jeho prekročení sa môže zariadenie poškodiť. S výkonom súvisia ďalšie veličiny: príkon a účinnosť zariadenia. Každé zariadenie pre svoju funkciu potrebuje určitý vstupujúci výkon – príkon P_p . Na svojom výstupe dodáva do ďalšieho zariadenia výstupný výkon P , ktorý je zmenšený o straty - stratový výkon P_s : $P = P_p - P_s$.

Účinnosť η zariadenia je definovaná vzorcom: $\eta = \frac{P}{P_p} \cdot 100\%$ ($\eta < 100\%$).

V energetike sa používa väčšia jednotka energie: kWh (kilowatthodina).

$$1\text{Ws} = 1\text{J}$$

$$1\text{Wh} = 3600\text{Ws}$$

$$1\text{kWh} = 3,6 \cdot 10^6\text{J} = 3,6\text{MJ}$$

3.6. Tepelné účinky elektrického prúdu

Ak prechádza vodičom elektrický prúd, tento sa ohrieva. Elektrická energia sa čiastočne premieňa na tepelnú energiu. Pohybujúce sa elektróny vo vodiči narážajú na mriežku kovu a odovzdávajú mu časť kinetickej energie, čo sa prejaví ohrevom vodiča.

Joulov-Lencov zákon: Prúd I prechádzajúci vodičom vyvinie v ňom teplo Q , priamo úmerné odporu vodiča R , mocnине prúdu I^2 a času t , za ktorý prúd vodičom preteká. Množstvo tepla Q , ktoré vznikne vo vodiči je dané vzťahom:

$$Q = U \cdot I \cdot t \quad (J, V, A, s) \quad \text{alebo} \quad Q = R \cdot I^2 \cdot t \quad (J, \Omega, A, s)$$

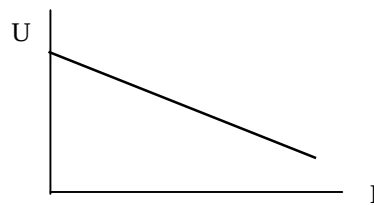
Dôsledky Joulov-Lencovho zákona: V každom vodiči, ktorý má elektrický odpor sa časť energie mení na teplo. Teda vznikajú straty. Preto pri prenose energie na veľké vzdialenosti prenášame výkon pri malom prúde a vysokom napätí. Iná situácia vzniká pri prevádzke elektrických strojov a zariadení, ktoré sa zahrievajú a preto je nutné tieto vhodne chladiť. Tepelné účinky elektrického prúdu je možné aj využiť. Napr. ohrievacie telesá s odporovou špirálou. Tavná poistka, ktorá sa pri prechode veľkého prúdu teplom roztaví. Oblúkové, bodové alebo odporové zvarovanie využíva tepelné účinky el. prúdu.

3.7. Elektrické zdroje

Elektrický zdroj vytvára a udržiava medzi výstupnými svorkami elektrické napätie. Svorkové napätie naprázdno U_0 je napätie nezaťaženého zdroja. Svorkové napätie pri zaťažení je napätie pri pripojení vonkajšieho obvodu. Každý elektrický zdroj má vnútorný odpor R_v . Ak zdrojom prechádza prúd, vznikne na vnútornom odpore úbytok napätia $U = I \cdot R_v$. Čím väčší prúd prechádza zdrojom, tým je väčší úbytok napätia na vnútornom odpore a tým je väčší pokles svorkového napätia. Podľa zaťažovanej charakteristiky zdroja, tieto delíme zdroje na „tvrdé“ a „mäkké“.



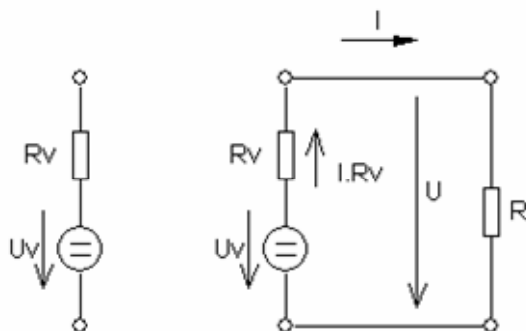
Zaťažovacia charakteristika
tvrdého zdroja



Zaťažovacia charakteristika
mäkkého zdroja

Obrázok 17

Napät'ový zdroj – sériové zapojenie ideálneho napät'ového zdroja a odporu. Napät'ový zdroj je charakterizovaný vnútorným napätím U_v a vnútorným odporom R_v .



Obrázok 18

Ak zaťažíme zdroj, začne obvodom pretekať prúd

$$I = \frac{U_v}{R + R_v}$$

Na vnútornom odpore R_v sa vytvorí úbytok napätia $\Delta U = R_v \cdot I$.

Svorkové napätie zdroja:

$$U = U_v - \Delta U = U_v - R_v \cdot I$$

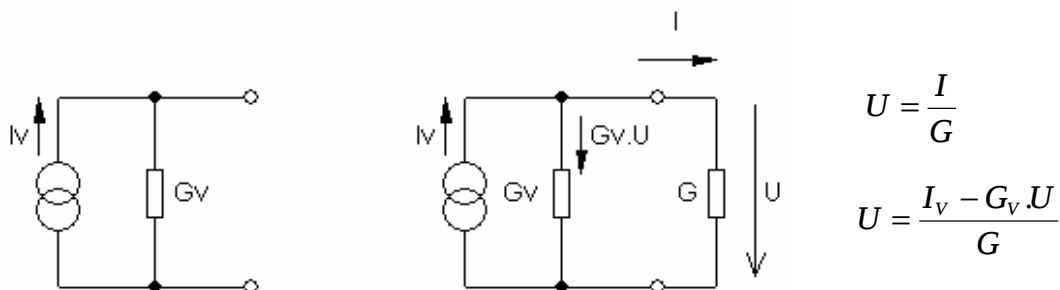
Väčšinu skutočných zdrojov je možné nahradiť uvedeným napät'ovým zdrojom.

Prúdový zdroj – paralelné zapojenie ideálneho prúdového zdroja I_v a vnútornej vodivosti G_v . V prúdovom zdroji tečie vnútorný prúd zdroja I_v , vnútorná vodivosť G_v je konštantná. Ak spojíme svorky prúdového zdroja nakrátko, zo zdroja bude tečť skratový prúd I_k , ktorý sa rovná jeho vnútornému prúdu. $I_k = I_v$

Prúd, ktorý dodáva reálny prúdový zdroj je vždy menší ako prúd nakrátko:

$$\Delta I = G_v \cdot U \quad I = I_v - \Delta I = I_v - G_v \cdot U$$

Svorkové napätie prúdového zdroja zaťaženého spotrebičom s vodivosťou G je:

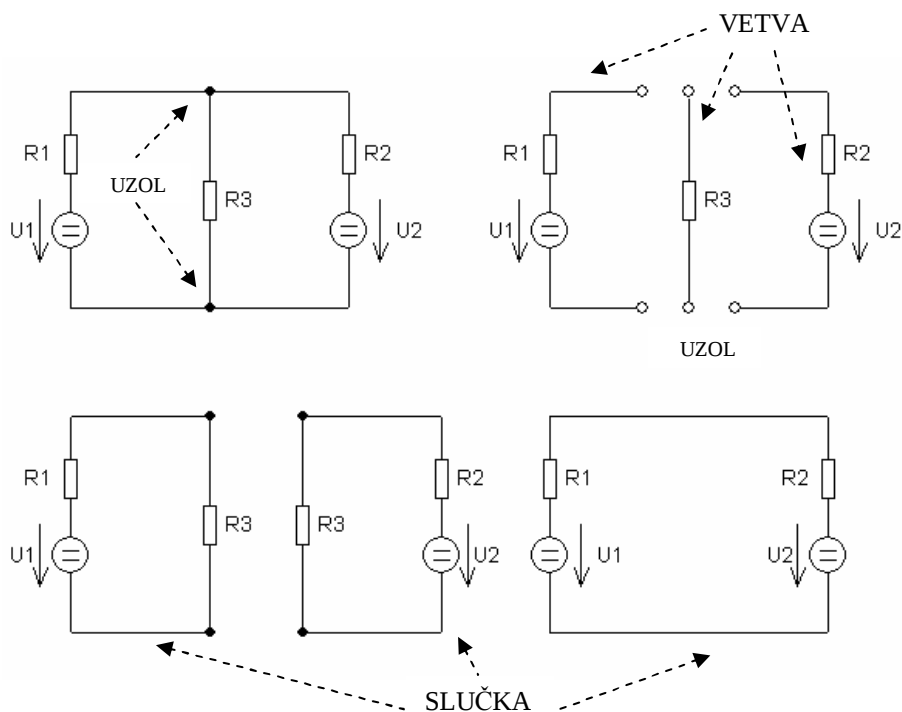


Obrázok 19

3.8. Riešenie obvodu s viacerými zdrojmi

uzol – vodivé spojenie aspoň troch vodičov.

vetva – časť obvodu medzi dvoma uzlami.

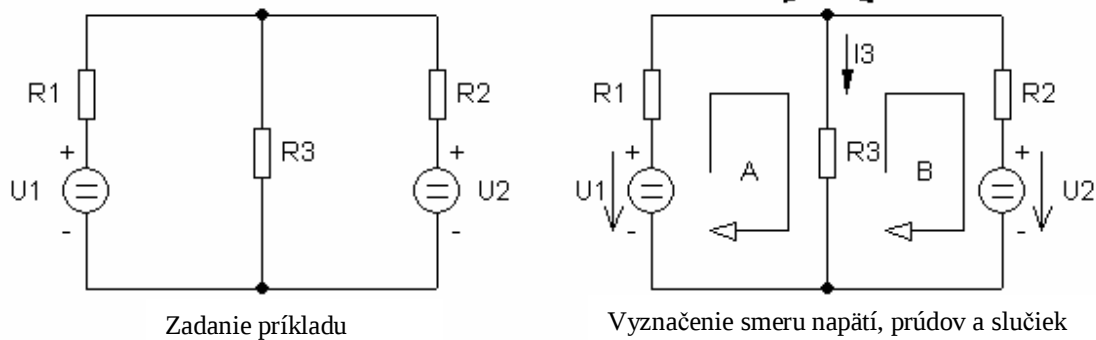


Obrázok 20

3.8.1. Riešenie obvodu pomocou 1. a 2. Kirchhoffovho zákona

1. Vyznačíme polaritu zdrojov. Šípka smeruje od svorky + ku svorke -.
2. Vyznačíme smery prúdov. Ak neodhadneme správne smer prúdu, vypočítaný prúd bude záporný.
3. V obvode vyznačíme smer spočítavania napätí t.j vyznačíme smer slučky.
4. Podľa 2. Kirchhoffovho zákona napíšeme rovnicu pre každú nezávislú slučku. Napätie zdroja je kladné, ak smer napätia je zhodný so smerom slučky. Úbytok napätia na rezistore je kladný, ak smer prúdu tečúceho cez rezistor je zhodný so smerom slučky.
5. Doplníme rovnicu podľa 1. Kirchhoffovho zákona, tak aby počet rovníc sa zhodoval s počtom neznámych.

Obrázok 21



1. Kirchhoffov zákon: Súčet prúdov do uzla vtekajúcich a z uzla vytekajúcich sa rovná nule.
Pre uzol X platí: $I_1 + I_2 - I_3 = 0$

2. Kirchhoffov zákon: V uzatvorenej slučke sa súčet napätí zdrojov a súčet úbytkov napätí na rezistoroch rovná nule.

Pre slučku A platí: $-U_1 + R_1 I_1 + R_3 I_3 = 0$

Pre slučku B platí: $U_2 - R_3 I_3 - R_2 I_2 = 0$

Pre zadaný príklad dostávame:

Po úprave dostaneme:

$$R_1 I_1 + R_3 I_3 = U_1$$

$$R_1 I_1 + R_3 (I_1 + I_2) = U_1$$

$$-R_3 I_3 - R_2 I_2 = -U_2$$

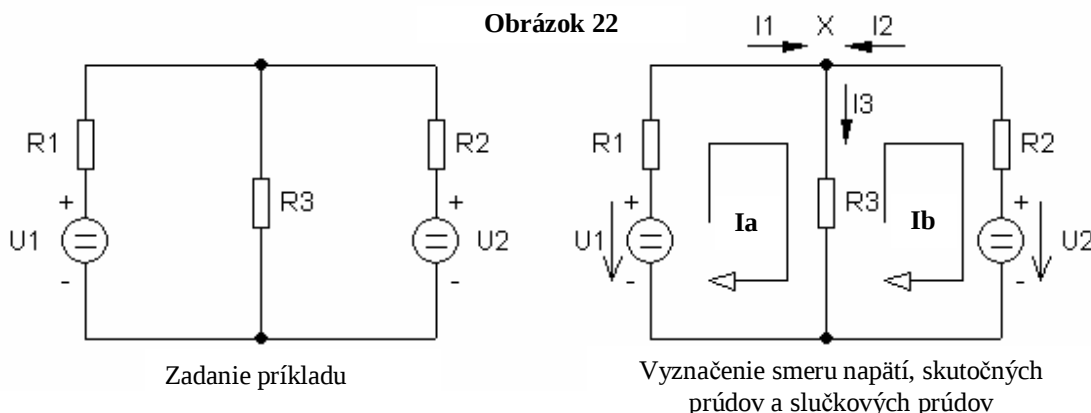
$$-R_3 (I_1 + I_2) - R_2 I_2 = -U_2$$

$$I_1 + I_2 = I_3$$

3.8.2. Riešenie obvodu pomocou metódy slučkových prúdov

1. Vyznačíme polaritu zdrojov. Šípka smeruje od svorky + ku svorke -.
2. Vyznačíme smery skutočných prúdov. Ak neodhadneme správne smer skutočného prúdu, vypočítaný prúd bude záporný.
3. V obvode vyznačíme smer slučkových prúdov, t.j. fiktívne prúdy, ktoré tečú danou slučkou **Ia, Ib**.
4. Podľa 2. Kirchhoffovho zákona napíšeme rovnicu pre každú slučku, v ktorej tečie slučkový prúd.. Napätie zdroja je kladné, ak smer napätia je zhodný so smerom slučkového prúdu. Úbytok napätia na rezistore je kladný a vypočítame ho ako súčin slučkového prúdu a ohmickej hodnoty rezistora. Napr. pre R1: $U_{R1} = R_1 I_a$. Vo vetve, v ktorej tečú dva slučkové prúdy, je úbytok na rezistore rovný rozdielu slučkových prúdov vynásobeného ohmickej hodnotou rezistora. Pre R3: $U_{R3} = R_3 (I_a - I_b)$.
5. Vypočítaním sústavy rovníc dostávame veľkosť slučkových prúdov.
6. Určíme skutočné prúdy. Vo vetve, kde tečie len jeden slučkový prúd je skutočný prúd zhodný so slučkovým prúdom, ak smery skutočného a slučkového prúdu sú zhodné. Inak má skutočný prúd opačné znamienko. Napr. $I_2 = -I_b$. Vo vetve, kde tečú dva slučkové prúdy, je skutočný prúd rovný rozdielu daných slučkových prúdov. $I_3 = I_a - I_b$

Obrázok 22



Pre slučku Ia platí: $U1 = R1.Ia + R3(Ia - Ib)$

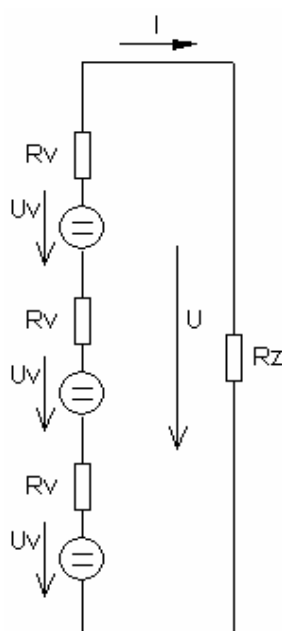
Pre slučku Ib platí: $-U2 = R2.Ib + R3(Ib - Ia)$

Pre skutočné prúdy platí: $I1 = Ia, I2 = -Ib, I3 = Ia - Ib$

Výhoda metódy slučkových prúdov je vo zmenšení počtu rovníc.

3.9. Spájanie zdrojov

Sériové radenie zdrojov



Obrázok 23

Slúži na zvýšenie výsledného napätia. Väčšinou spájame zdroje s rovnakými parametrami, t.j. s rovnakým svorkovým napätím naprázdno U_v a s rovnakým vnútorným odporom R_v .

Ak počet zdrojov zapojených do série je n , tak svorkové napätie nezaťaženej batérie je $U_o = n \cdot U_v$

a výsledný vnútorný odpor $R_{vv} = n \cdot R_v$

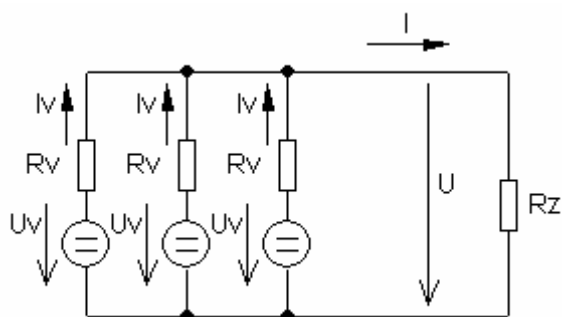
Prúd do záťaže R_z $I = \frac{U_o}{R_{vv} + R_z} = \frac{n \cdot U_v}{n \cdot R_v + R_z}$

Napätie na záťaži R_z $U = U_o - I \cdot R_{vv} = n \cdot U_v - I \cdot n \cdot R_v$

Ak spájame zdroje s rôznymi parametrami, svorkové napätie a vnútorný odpor sa rovná súčtu vnútorných napätí a vnútorných odporov jednotlivých zdrojov. V tomto prípade môžeme batériu zaťažiť prúdom, ktorý je schopný dodávať s najmenším nominálnym prúdom, resp. zdroj s najmenším skratovým prúdom.

Paralelné radenie zdrojov

Slúži na zvýšenie výsledného prúdu. Na paralelné spájanie jednosmerných zdrojov používame iba zdroje s rovnakými parametrami U_v a R_v , aby medzi nimi nevznikali vyrovnávacie prúdy. Svorkové napätie batérie sa rovná svorkovému napätiu jedného článku $U_o = U_v$.



Obrázok 24

Ak je nominálny prúd článku I_v a m je počet článkov, tak výsledný prúd batérie je $I = m \cdot I_v$

a výsledný vnútorný odpor je $R_{vv} = R_v / m$

Prúd do záťaže $I = \frac{U_o}{R_{vv} + R_z} = \frac{U_v}{\frac{R_v}{m} + R_z}$

Napätie na záťaži R_z $U = U_o - I \cdot R_{vv} = U_v - I \cdot \frac{R_v}{m}$

Pr.1. Rezistory s odpormi $R_1=2\Omega$, $R_2=5\Omega$, $R_3=3\Omega$, $R_4=4\Omega$, $R_5=6\Omega$ tvoria sériovú kombináciu, ktorá je pripojená na zdroj s napätím 60V. Určte výsledný odpor zapojenia, výslednú vodivosť, prúd v obvode a napätia na jednotlivých rezistoroch.

Výsledný odpor zapojenia $R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = 2 + 5 + 3 + 4 + 6 = 20\Omega$

Výsledná vodivosť $G = \frac{1}{R} = \frac{1}{20} = 0,05S$

Prúd v obvode $I = \frac{U}{R} = \frac{60}{20} = 3A$

Napätia na jednotlivých rezistoroch $U_1 = R_1 \cdot I = 2 \cdot 3 = 6V$, $U_2 = R_2 \cdot I = 5 \cdot 3 = 15V$,
 $U_3 = R_3 \cdot I = 3 \cdot 3 = 9V$, $U_4 = R_4 \cdot I = 4 \cdot 3 = 12V$, $U_5 = R_5 \cdot I = 6 \cdot 3 = 18V$

Pr.2. Rezistory s odpormi $R_1=20\Omega$, $R_2=50\Omega$, $R_3=40\Omega$ tvoria paralelnú kombináciu, ktorá je pripojená na zdroj s napätím 20V. Určte výsledný odpor zapojenia, prúd prechádzajúce jednotlivými rezistormi.

Výsledný odpor zapojenia $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{20} + \frac{1}{50} + \frac{1}{40} = 0,05 + 0,02 + 0,025 = 0,095\Omega$

$$R = \frac{1}{0,095} = 10,5\Omega$$

Prúd v obvode $I = \frac{U}{R} = \frac{20}{10,5} = 1,9A$

Prúdy prechádzajúce rezistormi

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{20}{20} = 1A \quad I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{20}{50} = 0,4A \quad I_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{20}{40} = 0,5A$$

Pr.3. Jednosmerný zdroj má napätie naprázdno $U_0=12V$, vnútorný odpor zdroja $R_v=0,24\Omega$. Na svorky pripojíme odpor $R=3,76\Omega$. Určte prúd v obvode, svorkové napätie zdroja a úbytok napätia na vnútornom odpore. Vypočítajte prúd nakrátko za predpokladu, že vnútorný odpor zdroja je konštantný.

Prúd v obvode $I = \frac{U_0}{R + R_v} = \frac{12}{3,76 + 0,24} = 3A$

Svorkové napätie $U = R \cdot I = 3,76 \cdot 3 = 11,28V$

Napätie na vnútornom odpore zdroja $U_{R_v} = R_v \cdot I = 0,24 \cdot 3 = 0,72V$

Prúd nakrátko $I_k = \frac{U_0}{R_v} = \frac{12}{0,24} = 50A$

Pr.4. Aký veľký je vnútorný odpor, napätie naprázdno, prúd a svorkové napätie, ak 5 článkov s napätím naprázdno 4,5 V, s vnútorným odporom 0,2 Ω zapojíme do série a takto vzniknutú batériu zaťažíme odporom 3,5 Ω .

Vnútorný odpor	$R_{vv} = n.R_v = 5 \cdot 0,2 = 1\Omega$
Napätie naprázdno	$U_o = n.U_v = 5 \cdot 4,5 = 22,5V$
Prúd	$I = \frac{U_o}{R_{vv} + R} = \frac{22,5}{1 + 3,5} = 5A$
Svorkové napätie	$U = U_o - I.R_{vv} = 22,5 - 5 \cdot 1 = 17,5V$

Pr.5. Aký veľký je vnútorný odpor, napätie naprázdno, prúd a svorkové napätie, ak 5 článkov s napätím naprázdno 4,5 V, s vnútorným odporom 0,2 Ω zapojíme paralelne a takto vzniknutú batériu zaťažíme odporom 3,5 Ω .

Vnútorný odpor	$R_{vv} = \frac{R_v}{m} = \frac{0,2}{5} = 0,04\Omega$
Napätie naprázdno	$U_o = U_v = 4,5V$
Prúd	$I = \frac{U_o}{R_{vv} + R} = \frac{4,5}{0,04 + 3,5} = 1,27A$
Svorkové napätie	$U = U_o - I.R_{vv} = 4,5 - 1,27 \cdot 0,04 = 4,45V$

Pr.6. Prúd prechádza vodičom s odporom 8 Ω . Určte prácu a výkon vykonaný elektrickým prúdom za 2 hodiny.

Čas udávame v sekundách	$2h = 2 \cdot 3,6 \cdot 10^3 = 7,2 \cdot 10^3 s$
Napätie na vodiči	$U = R.I = 8 \cdot 10 = 80V$
Práca v Jouloch	$A = U.I.t = 80 \cdot 10 \cdot 7,2 \cdot 10^3 = 5,76MJ$
Práca v kWh	$A = U.I.t = 80 \cdot 10 \cdot 2 = 1,6kWh$
Výkon	$P = U.I = 80 \cdot 10 = 800W$

Pr.6. Určte tepelnú energiu, ktorá sa vyvinie za 20 minút v ponornom variči. Varič je pripojený na napätie 230V a má vnútorný odpor 160 Ω .

$$W = U.I.t = \frac{U^2}{R}t = \frac{230^2}{160} \cdot 20 \cdot 60 = 396750J = 397kJ$$

Pr.7. Jednosmerný elektromotor s výkonom 10kW odoberá pri napätí 230V zo zdroja prúd 52A. Určte príkon motora, účinnosť a straty.

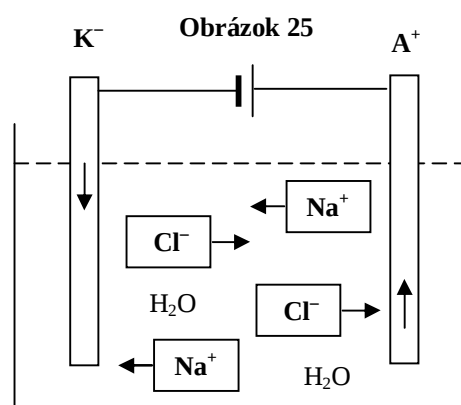
Príkon motora	$P = U.I = 230 \cdot 52 = 11960W = 11,96kW$
Účinnosť elektromotora	$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{10 \cdot 10^3}{11,96 \cdot 10^3} = 0,836 = 83,6\%$
Straty	$P = P_1 - P_2 = 11,96 - 10 = 1,96kW$

4. Elektrická vodivosť kvapalín

Vodivý roztok nazývame **elektrolyt**. Elektrolyt obsahuje voľné pohyblivé ióny. Vedenie elektrického prúdu v kvapalinách zapríčiňujú ióny. Ióny majú elektrický náboj. **Katiónu** chýbajú v elektrónovom obale elektróny, jeho výsledný náboj je kladný. **Anión** má viac elektrónov v obale, jeho náboj je záporný. Keď v elektrolyte vznikne elektrické pole, podliehajú ióny jeho silovým účinkom. Kladné ióny – katióny sa dajú do ustáleného pohybu k záporne nabitkej elektróde – ku katóde. Záporne nabité anióny sa začnú presúvať ku anóde. Pri dotyku katiónov a katódy sa z katódy doplnia chýbajúce elektróny a anióny odovzdajú pri styku s anódou prebytočné elektróny anóde. V oboch prípadoch vznikajú elektricky neutrálne atómy. Tým však zaniká príčina ich usporiadaného pohybu. Neutrálne atómy sa usadia na elektróde, alebo sa vylúčia ako plyn.

Na rozdiel od kovov, prechod prúdu elektrolytom sprevádzajú aj chemické zmeny. Tieto chemické zmeny ovplyvňuje napätie, teplota, koncentrácia elektrolytu a materiál elektród. Dej, pri ktorom sú chemické reakcie v elektrolyte vyvolané prechodom jednosmerného elektrického prúdu nazývame **elektrolýza**. Elektrolýza sa využíva pri galvanickom pokovovaní. Na katóde sa pri elektrolýze vylučuje vždy kov alebo vodík.

Na obrázku je naznačený roztok vody a kuchynskej soli NaCl . Voda rozštiepi (rozpustí) NaCl na ióny sodíka Na^+ a ióny chlóru Cl^- . Rozpad látky na ióny sa nazýva elektrolytická disociácia.



Elektrolýza v roztoku NaCl

1. Faradayov zákon: Hmotnosť látky m vylúčenej na elektróde je úmerná súčinu stáleho prúdu I a času Δt , za ktorý prúd prechádza.

$$m = A \cdot I \cdot \Delta t \quad (\text{kg, kg} \cdot \text{C}^{-1}, \text{A}, \text{s})$$

A – elektrochemický ekvivalent, udáva hmotnosť látky, ktorá sa vylúči pri prenesení náboja 1C.

2. Faradayov zákon: Na vylúčenie jedného chemického ekvivalentu akejkoľvek látky treba vždy rovnaký náboj, a to:

$$\text{Faradayov náboj } 94\,494 \text{ C} = 26,8 \text{ Ah}$$

4.1. Chemické zdroje elektrického napätia.

Základné usporiadanie galvanického článku tvoria 2 elektródy ponorené do elektrolytu. Na rozhraní elektródy a elektrolytu vzniká potenciálový rozdiel.

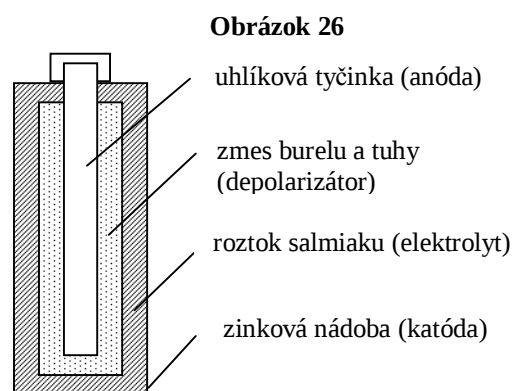
Voltov článok – zinková a medená platňa ponorená do kyseliny sírovej. Potenciálový rozdiel medzi - elektrolyt $U_1 = 0,34 \text{ V}$, potenciálový rozdiel zinok - elektrolyt $U_2 = -0,76 \text{ V}$. Výsledné napätie $U = U_1 - U_2 = 0,34 - (-0,76) = 1,1 \text{ V}$.

Článok je zdrojom napätia, označovaného ako vnútorné napätie zdroja. Zinková elektróda tvorí záporný pól, medená kladný pól článku. Ak na článok pripojíme zaťažovací odpor, článok prejde do pracovného režimu. Prúd vo vonkajšom obvode vytvárajú elektróny, v elektrolyte ióny a na povrchu elektród prebieha výmena nábojov. Z katódy sa odvádzajú elektróny vonkajším obvodom, rovnováha kov – elektrolyt sa poruší, a to prinúti ďalšie kladné ióny prechádzať do roztoku. Na anóde kladné ióny z elektrolytu priberajú elektróny prichádzajúce vonkajším obvodom od zápornej elektródy, ióny sa menia na elektricky neutrálne častice a vylučujú sa. Vo Voltovom článku sa z katódy uvoľňujú do roztoku katióny zinku, na anóde a z roztoku vylučujú katióny vodíka.

Prechod prúdu elektrolytom sprevádzajú chemické zmeny na povrchu elektród. Povrch elektród sa pokrýva vylúčenými produktmi a mení sa ich kvalita – vzniká elektrolytická polarizácia. Táto má v galvanických článkoch nepriaznivé účinky, pretože pri odbere prúdu sa postupne znižuje

vnútorné napätie článku. Na zamedzenie polarizácie sa obaľujú elektródy vhodnou látkou, ktorá chemicky viaže vznikajúce produkty a nazýva sa **depolarizátor**.

Zinkový článok – má vnútorné napätie 1,5 V. Pri zaťažení zinok z katódy prechádza do roztoku, na anóde sa vylučuje vodík. Depolarizátor oxiduje vznikajúci vodík na vodu. Vodou sa elektrolyt postupne zrieduje. Keď po čase zinková nádoba zreaguje, zriedený elektrolyt z článku vyteká. Svorkové napätie teda klesá z dôvodu vyčerpania zinkovej nádoby, alebo zriedenia elektrolytu.



Rez zinkovým článkom

Alkalické články – s alkalickým elektrolytom, so zinkovou katódou a anódou z oxidu manganičitého MnO_2 nahradzujú zinkové články, pri ktorých hrozí vytečenie elektrolytu. Alkalické články je možné skladovať až 3 roky a vďaka malému vnútornému odporu je ich možné zaťažovať veľkým prúdom. Menovité napätie 1,5 V

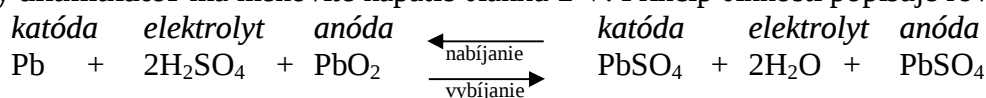
Striebro-oxidový článok – podobné zloženie ako alkalický článok, ale anódu tvorí oxid strieborný Ag_2O . Má v porovnaní s ním väčšiu hustotu energie, t.j. pri rovnakej kapacite má 3-krát menší objem ako alkalický článok. Menovité napätie 1,55 V

Lítiový článok - dosahuje najväčšiu hustotu energie, pretože lithium má najväčší záporný potenciál voči vodíku (-3,05 V). Články sa vyrábajú ako valcové alebo gombíkové sa napätím až 3 V. Znášajú trvalý odber až 0,5 mA, impulzne 1 až 5 mA. Skladovateľnosť až 10 rokov, majú dobré vlastnosti v extrémnych klimatických podmienkach. Nevýhoda je vyššia cena. Menovité napätie 1,5 až 3,5 V.

4.2. Akumulátory

Sú sekundárne zdroje napätia, využívajú vratné chemické reakcie. Akumulátor je zdroj napätia vtedy, ak je pripojený na zaťažovací odpor a akumulátor je vybíjaný. Pri nabíjaní akumulátora dodávame doň prúd z vonkajšieho zdroja a tečie ním prúd opačný, ako pri vybíjaní.

Olovený akumulátor má menovité napätie článku 2 V. Princíp činnosti popisuje rovnica:

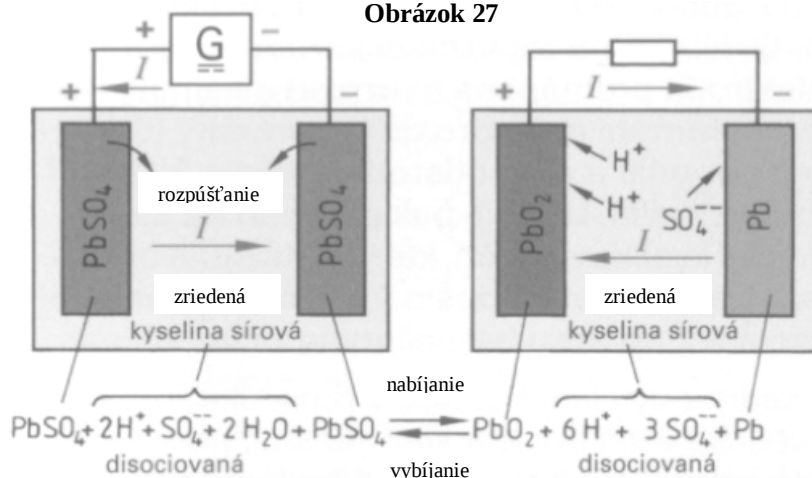


Pri nabíjaní sa tvorí kyselina sírová H_2SO_4 a elektrolyt hustne. Po skončení nabíjania je na katóde tmavosivé olovo, na anóde hnedý PbO_2 . Pri vybíjaní sa tvorí voda a elektrolyt sa zrieduje. Vo vybitom stave je na obidvoch elektródach nerozpustný síran olovnatý. Hustota elektrolytu stúpa priamo úmerne prijatému náboju. S kapacitou rastie napätie, na konci nabíjania je 2,75 V.

Kapacita akumulátora je množstvo elektrického náboja, ktorý je schopný akumulátor odovzdať pri vybíjaní do záťaže (udáva sa v Ah). V praxi to znamená pokles napätia z 2,75 V na 1,8 V. Nominálny vybíjací prúd oloveného akumulátora je 1/10 kapacity akumulátora (napr. kapacita 55Ah – nominálny prúd 5,5 A). Vnútorný odpor oloveného akumulátora je $R < 0,01 \Omega$, životnosť 300 cyklov.

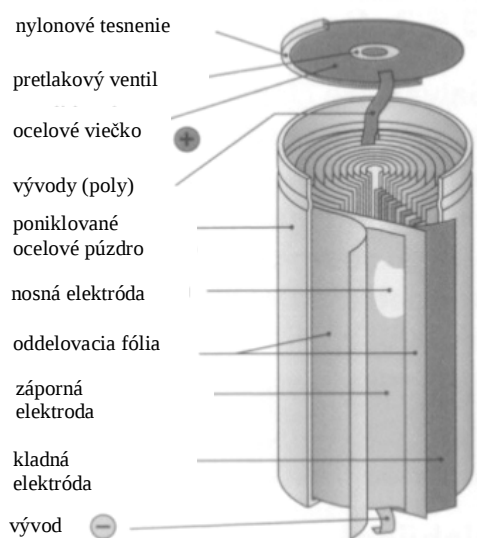
Sulfatizácia – ak je akumulátor dlhodobo vybitý, pôsobením H_2SO_4 na síran olovnatý sa zväčšujú jeho kryštály, čím sa zmenšuje aktívny povrch elektród a klesá kapacita článku.

Obrázok 27



Niklo-kadmiový akumulátor (NiCd) má alkalický elektrolyt tvorený vodným roztokom hydroxidu draselného KOH+H₂O. V nabitom stave je kladná elektróda tvorená hydroxidom oxidu niklu Ni-OH a záporná elektróda kadmium Cd. Pri vybití sa kladná elektróda premení na hydroxid nikelnatý Ni(OH)₂ a záporná elektróda sa premení na hydroxid kademnatý Cd(OH)₂. Elektrolyt sa na reakciách nezúčastňuje a jeho hustota sa nemení. Pri nabíjaní vzniká na anóde kyslík, ktorý je prijímaný na katóde. Aby pri nesprávnom nabíjaní článok nepraskol, má článok bezpečnostný ventil. Jeho menovité napätie je 1,2 V. Nevýhodou NiCd je pamäťový efekt, ktorý vzniká pri nabíjaní neúplne vybitého článku. Prejavom efektu je náhly pokles napätia o 50 až 100 mV pri čiastočnom vybití t.j. pamäťový efekt znižuje kapacitu článku. Počet nabíjacích cyklov asi 1000. Hustota energie 140 Wh/l.

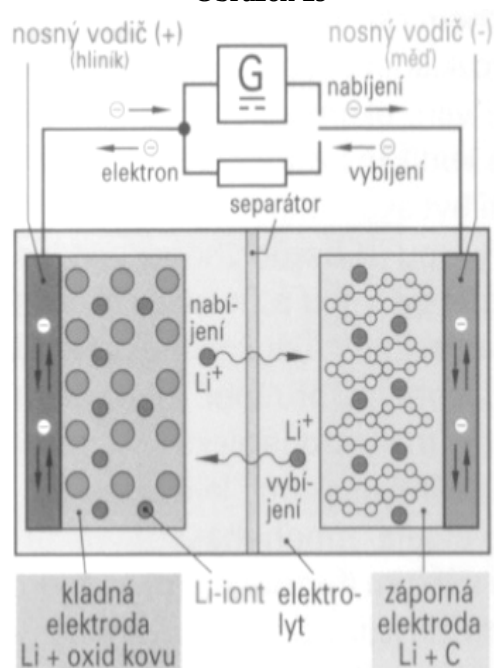
Obrázok 28



Rez NiCd akumulátorom

Nikel-metalhydridový akumulátor (NiMH) je špeciálny typom článku nikel - vodík s alkalickým elektrolytom. NiMH nemajú pamäťový efekt, ma pri rovnakej veľkosti o 40 percent väčšiu kapacitu, 3 krát menší vnútorný odpor ako NiCd a je prijateľnejší pre životné prostredie, lebo neobsahujú kadmium. Jeho menovité napätie je 1,2 V. Ma ale menší počet nabíjacích cyklov – asi 300-500. Hustota energie 310 Wh/l.

Obrázok 29



Princíp Li-Ion akumulátora

Lithium-iontový akumulátor (Li-Ion) má zápornú uhlíkovú elektródu s lithiom a kladnú elektródu z kovového oxidu s podielom lithia Li. Pevný organický alkalický elektrolyt obsahuje soli lithia. Jeho menovité napätie je 3,6 V. Článok ma malé samovybíjanie, nemá pamäťový efekt, má najväčšiu hustotu energiu a vnútorný odpor ako NiMH. Nevýhodou článku je zložité nabíjanie, vyžadujúce vlastný el. obvod riadiaci proces nabíjania. Počet nabíjacích cyklov asi 500 - 1500. Hustota energie 420 Wh/l.

Dôležité elektrické veličiny akumulátorov:

Menovité napätie – hodnota prevádzkového napätia článku, alebo celej batérie.

Menovitá kapacita – množstvo náboja, na ktorý je možné akumulátor nabiť(vybiť) prúdom I_n za čas t_n pri udanej teplote a hustote elektrolytu. Napr. $K20 = 44 \text{ Ah}$ znamená, že z nabitého akumulátora je možné odoberať 2,2 A po dobu 20 hodín.

Dolné vybíjacie napätie – napätie, pod ktoré nesmie klesnúť napätie na akumulátore pri vybíjaní.

Horné nabíjacie napätie – napätie, pri ktorom začína vrieť elektrolyt akumulátora, resp. sa zvýši jeho teplota nad odporúčanú hranicu.

Druh akumulátora	Menovité napätie (V)	Dolné vybíjacie napätie (V)	Horné nabíjacie napätie (V)
Olovený	2	1,6 – 1,9	2,4 – 2,45
Ni-Cd	1,2	0,85 – 1,4	1,55 – 1,6
NiMH	1,2	1	1,2 – 1,4
Li-Ion	3,6	3,0 – 3,6	3,6

Tabuľka 2

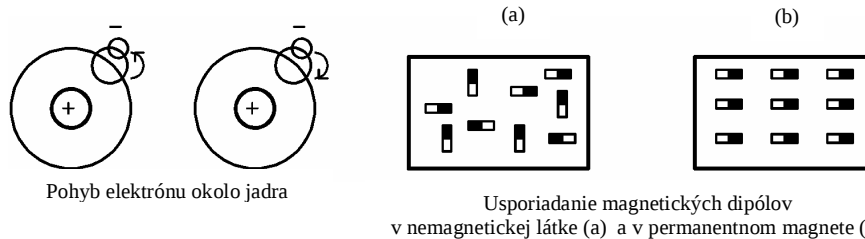
Kontrolné otázky:

1. Nakreslite jednoduchý a zložený elektrický obvod.
2. Charakterizujte: uzol, vetva, slučka, svorka.
3. Definujte znenie Ohmovho zákona.
4. Nakreslite 3 rezistory zapojené v sérii, paralelne a sériovo – paralelne. Určite ich výsledný odpor.
5. Definujte elektrickú prácu a výkon elektrického prúdu, napíšte ich jednotky.
6. Charakterizujte Jouleho-Lenzov zákon
7. Vysvetlite ako vypočítame účinnosť elektrických strojov.
8. Vysvetlite aké vlastnosti má napäťový a prúdový zdroj.
9. Ako sa správajú mäkké a tvrdé zdroje napätia pri zaťažení?
10. Napíšte vzťahy platiace pri sériovom a paralelnom radení zdrojov.
11. Vysvetlite 1. a 2. Kirchhoffov zákon
12. Vysvetli metódu slučkových prúdov.
13. Uveďte príklad transfigurácie hviezda – trojuholník.
14. Uveďte rozdiel vedením prúdu v kovoch a vedením prúdu v kvapalinách.
15. Vysvetli rozdiel medzi aniónom a anódou, kationom a katódou.
16. Aké zmeny prebiehajú v olovenom akumulátore pri nabíjaní a vybíjaní?
17. Popíšte zloženie a vlastnosti NiCd, NiMH a Li-Ion akumulátora.

5. Magnetické pole

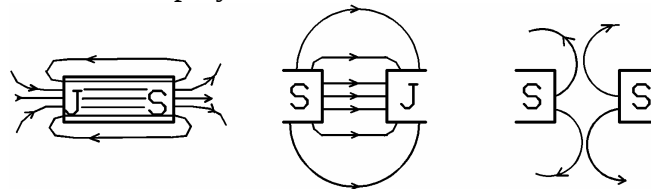
Zdrojom magnetického poľa, ktoré prejavuje silové účinky na niektoré látky môže byť trvalý magnet – permanentný magnet, alebo elektromagnet – magnet budený elektrickým prúdom. Magnetické pole vzniká vždy pohybom elektrického náboja. (v permanentnom magnetite je to pohyb elektrónov v atómových jadrách).

Každý elektrón so svojou dráhou v atóme látky predstavuje elektrický prúd, čím vyvoláva magnetické pole. V nemagnetických látkach sa pohybujú elektróny v tom istom atóme rozličnými smermi a v rôzne naklonených rovinách. Magnetické polia jednotlivých elektrónov sa navzájom rušia – látka je navonok magneticky neutrálna. V permanentných magnetoch sa pohybujú elektróny rovnakým smerom v ustálených rovinách okolo jadra a vzniká elementárny magnet. Účinky elektrónových prúdov sa spočítavajú a celá látka sa stane zdrojom magnetického poľa.



Obrázok 30

Každý zdroj magnetického poľa má vždy najmenej dva magnetické póly, pričom tieto póly nemôžu existovať samostatne. Rozdelením magnetu vzniknú dva nové magnety s obidvoma pólmi. Pól, ktorý sa pri pohyblivom magnetite stavia do smeru zemského severu, je **severný pól** (onačenie S, anglicky - N, +), druhý pól je **južný pól** (J, anglicky - S, -). Keď priblížime k sebe dva magnety, pôsobí medzi nimi príťažlivá alebo odpudivá sila. Priťahujú sa dva nesúhlasné póly, odpudzujú sa dva súhlasné póly.



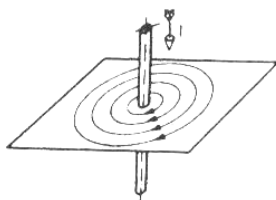
Mag. pole magnetu a jeho silové pôsobenie

Obrázok 31

Podľa účinkov magnetického poľa rozdeľujeme látky na:

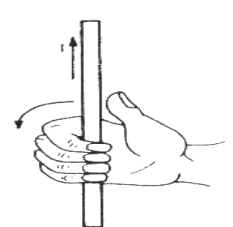
1. **feromagnetické** – vonkajšie magnetické pole sa v nich zosilňuje, lebo sa s pôvodným polom spočítava magnetické pole elementárnych magnetov feromagnetického materiálu (železo – Fe, nikel – Ni, kobalt – Co, zliatiny mangánu a medi – Mn + Cu, mangánu a hliníka – Mn + Al)
2. **paramagnetické** – nevyvolávajú zmenu magnetického poľa (vzduch, mangán – Mn)
3. **diamagnetické** – zoslabujú magnetické pole (bizmut)

5.1. Magnetické pole vodiča prúdu



Obrázok 32

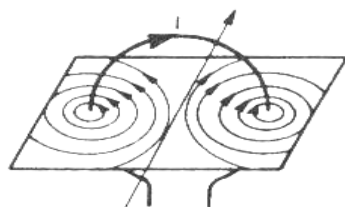
Magnetické pole znázorňujeme magnetickými **siločiarami**. Smer magnetických siločiar v okolí dlhého vodiča prúdu závisí od smeru prúdu tečúceho cez vodič. Určenie smeru magnetických siločiar: Ak zovrieme vodič do pravej ruky tak, aby vystretý palec ukazoval smer prúdu, konce prstov udávajú smer siločiar magnetického poľa.

Určenie smeru
mag. siločiar

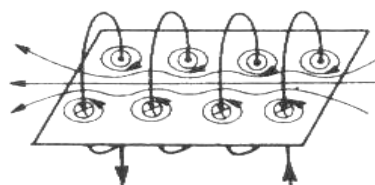
Obrázok 33

Magnetické siločiar stočeného závitú s prúdom sú kolmé na rovinu slučky, ale nemajú tvar koncentrovaných kružníc. V tesnej blízkosti vodiča sú

kružnice, bližšie ku stredu slučky sa vyrovnávajú, v prostriedku slučky má magnetická siločiaru priamy smer. Magnetické pole vnútri slučky je teda najsilnejšie, mimo slučky je slabé. Magnetické pole cievky s riedko navinutými závitmi dostáva tvar súčtových polí jednotlivých závitov. Siločiaru nie sú rovnobežné a rovnako husté v každom mieste prostredia – mag. pole je nehomogénne.



Mag. pole stočeného závit

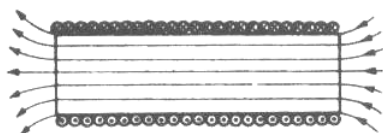


Mag. pole cievky

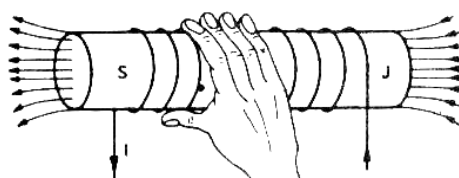
Obrázok 34

Dlhá valcová cievka so závitmi navinutými v tesnej blízkosti, má pri prechode prúdu vo vnútri cievky homogénne pole. Smer mag. pola určíme pravidlom pravej ruky: Ak uchopíme cievku do dlane tak, že prsty ukazujú smer prúdu jednotlivými závitmi, vystretý palec udáva severný pól cievky.

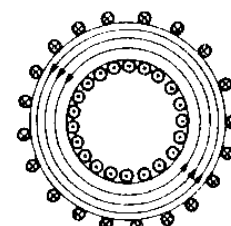
Určenie smeru mag. pola cievky



Mag. pole cievky s tesne navinutými závitmi



Obrázok 35

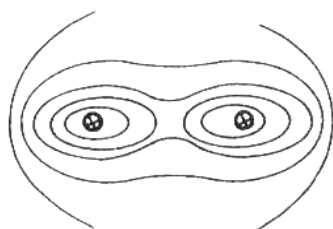


Mag. pole toroidnej cievky

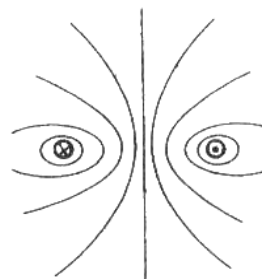
Relatívne silné, takmer homogénne mag. pole, možno vytvoriť v dutine toroidnej cievky.

V technickej praxi sa vyskytuje magnetické pole dané súčtom intenzít dvoch vodičov prúdu. Ak vodičmi tečie prúd súhlasného smeru, vznikne súčtové mag. pole, ktorého silové účinky majú tendenciu pritiahnuť vodiče prúdu k sebe. Ak vodičmi tečú nesúhlasné prúdy, silové účinky majú tendenciu od seba odpúdiť tieto vodiče prúdu..

Obrázok 36



Mag. pole dvoch vodičov so súhlasným smerom prúdu



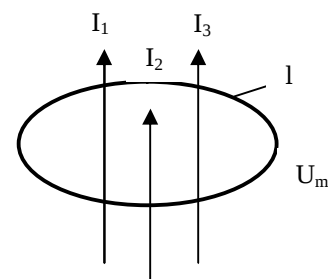
Mag. pole dvoch vodičov so nesúhlasným smerom prúdu

5.2. Základné veličiny magnetického poľa

5.2.1. Magnetické napätie

V okolí a vnútri jedného prúdového vodiča vznikne magnetické pole, ktoré môžeme zvyšovať rastom magnetického napätia, t.j. zvyšovaním prúdu. Jeden vodič s prúdom vytvorí magnetické pole, ktoré môžeme ovplyvniť nielen zvyšovaním prúdu, ale aj priblížením ďalšieho vodiča prúdu. **Magnetické napätie** U_m na určitej dráhe magnetického poľa je dané súčtom prúdov $I_1, I_2, \dots, I_n$, ktoré pretekajú vodičmi ohraničenými touto dráhou. Pri rovnakom prúde I a počte vodičov N platí:

$$U_m = N \cdot I \quad (A, A)$$



Magnetické napätie na dráhe l

Obrázok 37

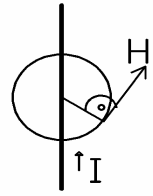
5.2.2. Intenzita magnetického poľa

Intenzitou magnetického poľa H vyjadrujeme mieru sily, ktorá pôsobí v určitom mieste poľa na elementárny objem feromagnetickkej látky. Intenzita mag. poľa je vektorová veličina, má veľkosť a smer.

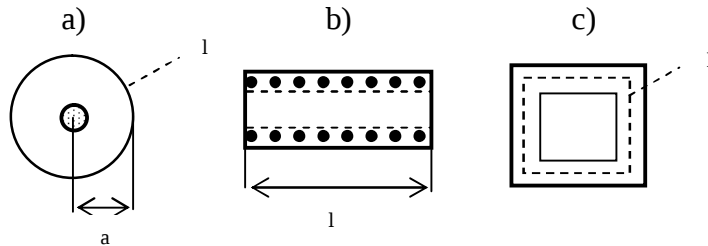
$$H = \frac{N \cdot I}{l} \quad (\text{Am}^{-1}, \text{A}, \text{m})$$

$N \cdot I$ – magnetické napätie, l – dĺžka siločiar

V praxi sa pri výpočtoch uvažuje dĺžka siločiar tak, ako je uvedené na obrázku. A to pre: a) osamotený vodič, b) valcovú cievku, c) magnetický obvod. (a – vzdialenosť vodiča prúdu a predpokladanej siločiar)



Obrázok 38



Obrázok 39

5.2.3. Magnetická indukcia

Magnetická indukcia B predstavuje počet magnetických siločiar, ktoré pripadajú v danom prostredí na jednotku plochy. Magnetická indukcia je vektorová veličina a je mierou mechanických síl, ktoré vznikajú v magnetickom poli (napr. vtáhovanie ocelového pásika do dutiny cievky, ktorou prechádza prúd). Jednotkou je **Tesla T** .

$$B = \mu \cdot H \quad (T, \text{Hm}^{-1}, \text{Am}^{-1})$$

μ – permeabilita magnetického prostredia, udáva sa pre feromagnetické a diamagnetické látky. Je to látková konštanta. Permeabilita látky je závislá od intenzity mag. poľa. T.j. závislosť mag. indukcie od intenzity mag. poľa nie je priamková.

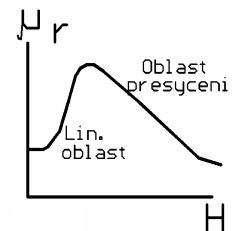
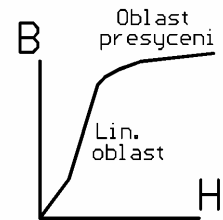
$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r,$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{Hm}^{-1}$, μ_r – relatívna permeabilita, udáva koľko krát je väčšia (menšia) permeabilita látky μ ako permeabilita vákua.

diamagnetické látky $\mu_r < 1$

paramagnetické látky $\mu_r \geq 1$

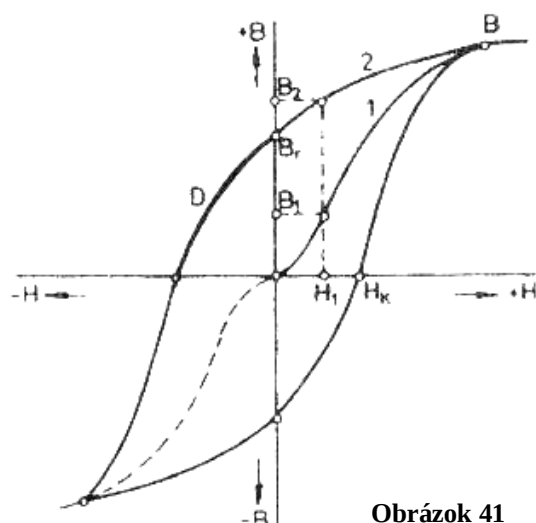
feromagnetické látky $\mu_r \gg 1$



Obrázok 40

5.3. Magnetizačná charakteristika, hysterézná slučka

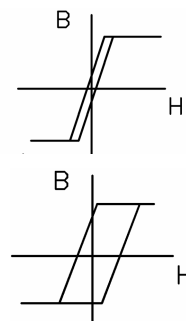
Závislosť mag. indukcie B od intenzity mag. poľa H vo feromagnetickkej látke znázorňuje **magnetizačná charakteristika**. Ak vložíme do mag. poľa feromagnetický materiál, ktorý ešte nebol zmagnetovaný, začne sa materiál magnetovať podľa krivky prvej magnetizácie. Akonáhle pole zanikne, zostane časť domén vo feromagnetickkej látke orientovaná. Prejaví sa to remanentnou indukciou B_r . Znižovanie remanentnej indukcie môžeme vyvolať len zápornými hodnotami intenzity mag. poľa. Nulová hodnota mag. indukcie sa dosiahne až pri určitej hodnote zápornej intenzity poľa H_k – korcitívnej intenzite. Magnetizovanie feromagnetickkej látky v oboch smeroch po stavy nasýtenia udáva hysterézná slučka. Plocha ohraničená hysteréznou slučkou je úmerná práci, ktorú treba vynaložiť na premagnetizovanie feromagnetickkej látky.



Obrázok 41

Podľa plochy hysteréznej slučky môžeme materiály rozdeliť na:

- **magneticky mäkké** t.j. magnetický stav dosiahneme malou energiou a majú strmú magnetizačnú charakteristiku. Tieto látky tvoria magnetické obvody striedavých strojov, pretože straty pri striedavej magnetizácii sú malé.
- **magneticky tvrdé**, pri ktorých dosiahneme magnetický stav vynaložením veľkej energie, lebo magnetizačná charakteristika je málo strmá. Tieto látky sú vhodné na výrobu permanentných magnetov.



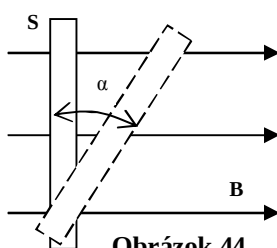
Obrázok 42

5.4. Magnetický indukčný tok

Magnetický indukčný tok Φ je súčin mag. indukcie B a plošného obsahu S , ktorým mag. indukcia prechádza. Jednotkou mag. indukčného toku je **Weber** Wb . Udáva celkový počet siločiar v uvažovanom priestore, resp. magnetickom obvode.

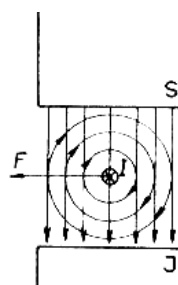
$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha \quad (Wb, T, m^2)$$

α – uhol vektora mag. indukcie a roviny v ktorej leží daná plocha

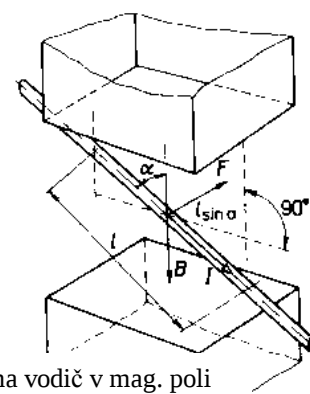


Obrázok 44

5.5. Pohyb vodiča v magnetickom poli



Silové účinky na vodič v mag. poli



Obrázok 43

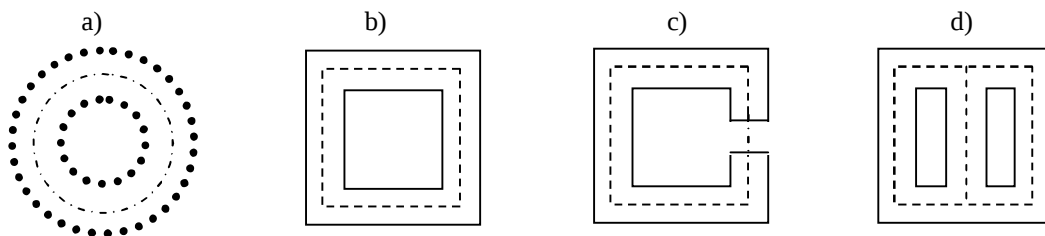
Ak umiestnime prúdový vodič do magnetického pola, pôsobí na vodič sila. Sila F , ktorou pôsobí mag. pole na vodič závisí od magnetickej indukcie B , veľkosti prúdu I , ktorý prechádza vodičom a od dĺžky vodiča l . Pre homogénne mag. pole platí:

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha \quad (N, T, A, m)$$

α – uhol medzi vodičom a indukčnými čiarami. Ak sú indukčné čiary kolmé na vodič $\alpha = 90^\circ$, $\sin \alpha = 1$.

5.6. Magnetický obvod

Magnetický obvod predstavuje uzatvorenú dráhu pre magnetický indukčný tok Φ . Zdrojom mag. toku je vodič prúdu, najčastejšie cievka, ktorou prechádza elektrický prúd. Magnetický obvod možno rozdeliť na: a) vzduchový, b) uzatvorený, c) otvorený d) zložený magnetický obvod.



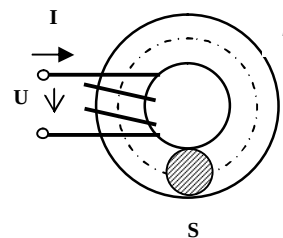
Obrázok 45

V otvorených mag. obvodoch prechádza veľká časť mag. indukčného toku mimo feromagnetický materiál, t.j. vzduchom. Tým sa mag. indukčný tok rozptyľuje a značne zoslabuje.

5.7. Magnetický odpor

Prechodom prúdu cez cievku s mag. obvodom, vzniká v mag. obvode mag. indukčný tok Φ . Magnetický obvod zoslabuje mag. indukčný tok, t.j. magnetický obvod kladie mag. indukčnému toku Φ **magnetický odpor R_m** .

$$R_m = \frac{l}{\mu_0 \mu_r S} \quad (H^{-1}, m, Hm^{-1}, m^2)$$



Obrázok 46

Hopkinsonov zákon

Magnetický indukčný tok Φ prechádzajúci magnetickým obvodom je priamo úmerný magnetickému napätiu Um a nepriamo úmerný magnetickému odporu R_m tohto obvodu.

$$\Phi = \frac{N \cdot I}{R_m} = \frac{Um}{R_m}$$

Kontrolné otázky

1. Vysvetlite príčiny magnetizmu
2. Vysvetlite vlastnosti magnetických zdrojov.
3. Popíšte mag. pole v okolí vodiča prúdu, v okolí stočeného závit, cievky a toroidu.
4. Definujte pojmy magnetické napätie, intenzita mag. pola, mag. indukcia, mag. indukčný tok. Aké sú ich jednotky, napíšte vzťahy pre ne platiace.
5. Čo je permeabilita?
6. Čo je to hysteréza slučka feromagnetického materiálu.
7. Popíšte vlastnosti magnetických látok.
8. Popíšte magnetický obvod a magnetický odpor, vysvetlite Hopkinsonov zákon.
9. Vymenujte druhy magnetických obvodov, popíšte ich vlastnosti.
10. Vysvetlite silové účinky mag. pola na vodič prúdu.

Pr.1. Plochou $0,005\text{m}^2$ prechádza kolmo na plochu magnetický tok $0,004\text{Wb}$. Určte magnetickú indukciu za predpokladu, že pole je homogénne.

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{0,004}{0,005} = 0,8\text{T}$$

Pr.2. Aké veľké magnetomotorické napätie má cievka, ktorou prechádza prúd 4A a má 500 závitov.

$$U_m = N \cdot I = 4 \cdot 500 = 2\,000\text{A}$$

Pr.3. Vypočítajte potrebnú intenzitu magnetického poľa pre vytvorenie magnetickej indukcie $0,00126\text{T}$. Prostredie je vzduch.

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{0,00126}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 1000\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$$

Pr.4. Určte intenzitu magnetického poľa vo vzdialenosti 8cm od stredu vodiča, ktorým prechádza prúd $0,4\text{A}$.

$$H = \frac{I}{2\pi \cdot r} = \frac{0,4}{6,28 \cdot 0,08} = 0,796\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$$

Pr.5. Určte intenzitu magnetického poľa a magnetickú indukciu v strede tenkej cievky s 20 závitmi. Prúd je 2A , stredný polomer cievky 4cm .

$$H = \frac{N \cdot I}{2 \cdot r} = \frac{20 \cdot 2}{2 \cdot 0,04} = 500\text{A}\cdot\text{m}^{-1} \quad B = \mu_0 \cdot H = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 500 = 6,28 \cdot 10^{-4}\text{T}$$

Pr.6. Určte magnetickú indukciu a magnetický tok v prstencovej cievke. Stredný priemer prstenca je 160mm , prierez cievky je 12cm^2 . Cievka má 750 závitov a prechádza ňou prúd 16A . Intenzita mag. poľa je v celom priereze konštantná. Prostredie vo vnútri cievky je vzduch.

Intenzita magnetického poľa $H = \frac{N \cdot I}{p \cdot d} = \frac{750 \cdot 16}{3,14 \cdot 0,16} = 23,885 \cdot 10^3\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$

Magnetická indukcia $B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H = 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 23,885 \cdot 10^3 = 3 \cdot 10^{-2}\text{T}$

Magnetický tok $f = B \cdot S = 3 \cdot 10^{-2} \cdot 12 \cdot 10^{-7} = 36 \cdot 10^{-6}\text{Wb}$

Pr.7. Vypočítajte intenzitu magnetického poľa, magnetickú indukciu a magnetický tok v strede valcovej cievky dĺžky 200mm , priemeru 4mm , s 500 závitmi. Vinutím prechádza prúd $0,5\text{A}$, relatívna permeabilita je 1 .

$$H = \frac{N \cdot I}{l} = \frac{500 \cdot 0,5}{0,2} = 1250\text{A}\cdot\text{m}^{-1} \quad B = \mu_0 \cdot H = 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 1250 = 1,57 \cdot 10^{-3}\text{T}$$

$$f = B \cdot S = 1,57 \cdot 10^{-3} \cdot 12,56 \cdot 10^{-6} = 1,97 \cdot 10^{-6}\text{Wb}$$

Pr.8. Určte silu, ktorá pôsobí na vodič v magnetickom poli s indukciou $0,8\text{T}$. Vodičom prechádza prúd 125A a jeho aktívna dĺžka je 60mm .

$$F = B \cdot I \cdot l = 125 \cdot 0,06 \cdot 0,8 = 6\text{N}$$

Pr.9. Určte prúd potrebný na vybudenie magnetického toku $\Phi = 6 \cdot 10^{-3}$ Wb. Magnetický obvod vytvára toroidný krúžok so stredným priemerom 20 cm, prierezom 50 cm^2 z vyžihanej ocele a ja prerušený vzduchovou medzerou 0,1 mm. Na toroide je navinutá cievka s 1000 závitmi.

Magnetický obvod tvorí magnetický odpor feromagnetickú látku a odpor vzduchovej medzery. Pre časti spojené do série platí:

$$U_m = U_{m\check{z}} + U_{mv}$$

Dĺžka strednej siločiar vo feromagnetiku je

$$l_{\check{z}} = d - l_v = \pi \cdot 0,2 - 0,0001 = 0,6279 \text{ m}$$

$$\text{Magnetická indukcia } B = \frac{\Phi}{S} = \frac{6 \cdot 10^{-3}}{50 \cdot 10^{-4}} = 1,2 \text{ T}$$

Z magnetizačnej krivky pre daný materiál pri vypočítanej magnetickej indukcií 1,2 T bola odčítaná intenzita mag. poľa $H = 470 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$.

Výpočet magnetomotorického napätia potrebného na pretlačenie daného magnetického toku vo feromagnetickom prostredí:

$$U_{m\check{z}} = H \cdot l_{\check{z}} = 470 \cdot 0,6279 = 295 \text{ A}$$

Magnetomotorické napätie potrebné na vyvolanie daného magnetického toku vo vzduchovej medzere:

$$U_{mv} = H_v \cdot l_v$$

$$H_v = \frac{B}{\mu_0} = \frac{1,2}{1,256 \cdot 10^{-6}} = 9,55 \cdot 10^5 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$$

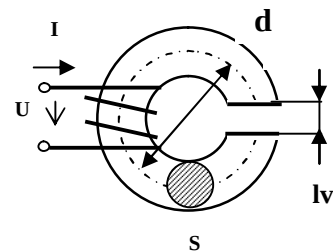
$$U_{mv} = H_v \cdot l_v = 9,55 \cdot 10^5 \cdot 10^{-4} = 95,5 \text{ A}$$

Výsledné magnetomotorické napätie:

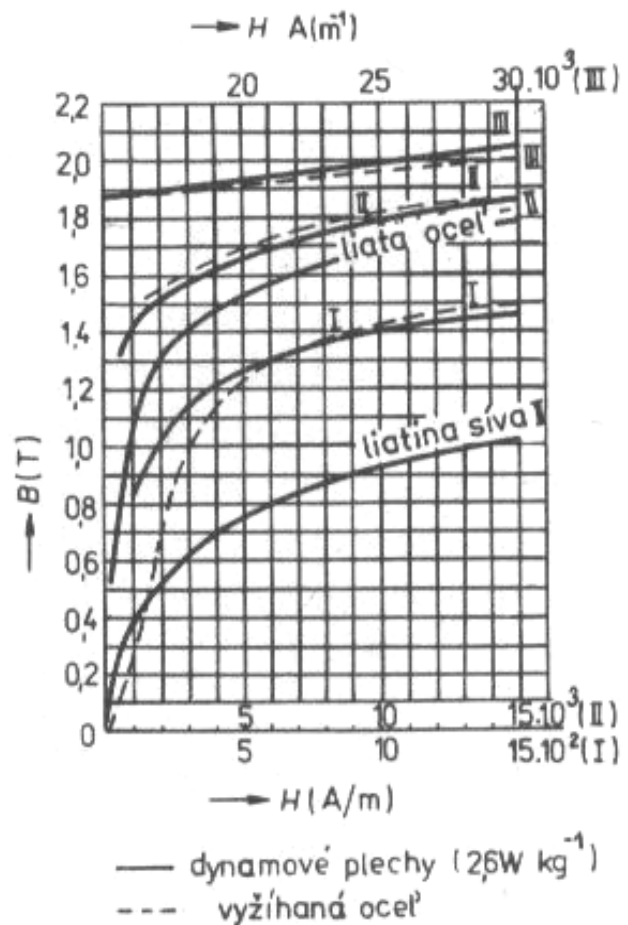
$$U_m = U_{m\check{z}} + U_{mv} = 295 + 95,5 = 390,5 \text{ A}$$

Budiaci prúd prechádzajúci cievkou:

$$I = \frac{U_m}{N} = \frac{390,5}{1000} = 0,39 \text{ A}$$



Obrázok 47



Obrázok 48

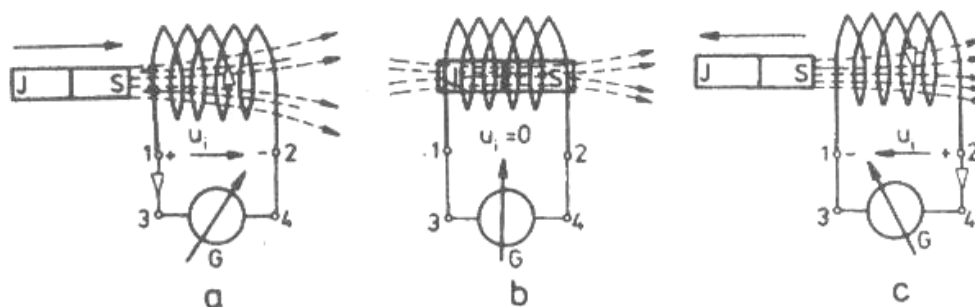
6. Elektromagnetické pole

6.1. Elektromagnetická indukcia

Každá zmena magnetického poľa indukuje vo vodiči nachádzajúceho sa v tomto poli napätie, ktoré je v uzatvorenom obvode príčinou prúdu. Vznik napätia vo vodiči zmenou mag. poľa nazývame **elektromagnetická indukcia**.

Smer indukovaného prúdu určuje **Lenzovo pravidlo**. Indukovaný prúd má vždy taký smer, aby svojimi silovými účinkom pôsobil proti príčine, ktorá ho vyvolala.. Pri vzraste mag. indukčného toku cez plochu obopínanú vodičom, majú indukované prúdy taký smer, že mag. pole indukovaných prúdov pôsobí proti narastaniu mag. indukčného toku. Vytvorené mag. pole s opačnou orientáciou potláča pôvodné vzrastajúce pole.

Pri poklese mag. toku, indukované prúdy svojim účinkom pôsobia proti poklesu toku. Vytvoria mag. pole súhlasnej orientácie, čím podporujú zanikajúce mag. pole.



Indukované napätie v cievke pohybom magnetu. Magnetické pole v cievke:
a – vzniká. b- nemení sa. c- zaniká

Obrázok 49

I. forma indukčného zákona (transformačná)

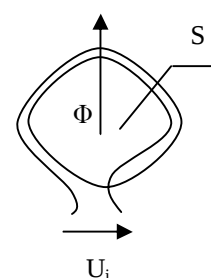
Vyjadruje veľkosť indukovaného napätia u na vývodoch cievky s N závitmi, ktorá viaže určitý magnetický indukčný tok Φ . Veľkosť indukovaného napätia je priamo úmerná časovej zmene magnetického toku.

$$u_i(t) = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (\text{V, Wb, S})$$

$\Delta \Phi$ je zmena mag. toku prechádzajúceho (viazaného) plochou cievky

Δt je časová zmena (časový interval)

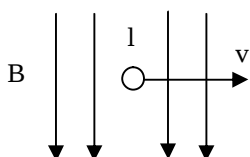
Zmena toku $\Delta \Phi$ môže byť spôsobená časovou zmenou toku (nič sa mechanicky nehýbe – napr. transformátor) alebo zmenou vzájomnej mechanickej polohy cievky a elektromagnetu resp. magnetu.



Obrázok 50

II. forma indukčného zákona (tzv. pohybová)

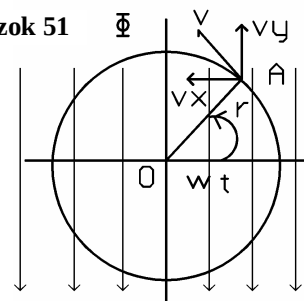
Ak sa pohybuje vodič dĺžky l konštantnou rýchlosťou v kolmo na siločiaru homogénneho mag. poľa B , indukuje sa na jeho koncoch napätie u : $u_i = B.l.v$ (V, T, m, m.S⁻¹)



Obrázok 52

Podmienkou tohto zjednodušeného vzťahu je kolmosť vektorov B , l , v a ich konštantná veľkosť.

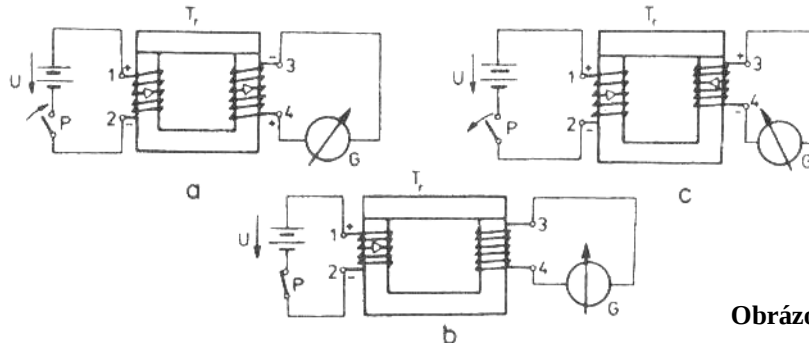
Obrázok 51



Pri kruhovom pohybe vodiča v magnetickom poli má zmysel len zložka v smere osi x . Zložku v smere osi x vypočítame: $v_x = v.\sin\alpha$. Indukované napätie sa rovná $U_i = B.l.v.\sin\alpha$

Jav EMG indukcie využívajú nasledovné zariadenia:

dynamá – výroba jednosmerného pulzujúceho napätia, *generátory* – *alternátory* – výroba striedavého napätia, *transformátory a mag. viazané cievky* – prenos energie medzi dvoma galvanicky oddelenými obvodmi (cievkami) so zmenou napätia, *elektromotory* – jednosmerné a striedavé, rôznych typov a konštrukcií, *cievka* ako elektronický prvok realizujúci indukčnosť.

**Obrázok 53**

Indukované napätie v cievke pri zmene prúdu v primárnej cievke. Magnetické pole v cievke:
a – pri zapnutí vypínača vzniká, b – pri konštantnom prúde sa nemení, c – pri vypnutí vypínača zaniká

Príklady nežiadúcich účinkov EMG indukcie:

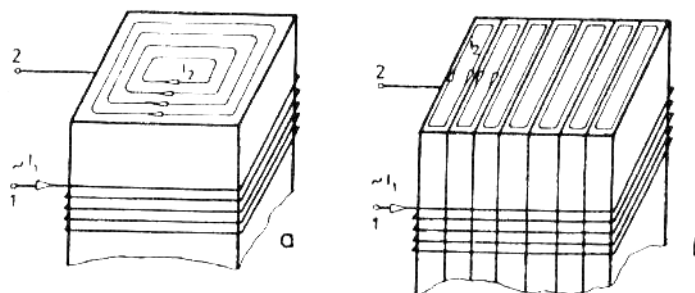
- Vznik vírivých prúdov v kostrách a magnetických obvodoch striedavých zdrojov. Potlačuje sa vyhotovením delených mag. obvodov – zostavených z tenkých izolovaných plechov.
- Povrchový jav – skinefekt. Prúdy veľmi vysokých frekvencií sú zo stredu vodiča vytláčané na povrch vodičov. Efekt sa potláča vyhotovením vodičov ako lanka a vhodným tvarom vodičov.

6.2. Vírivé prúdy

Vznikajú v kovových predmetoch, ktoré sú v časovo premenlivom magnetickom poli. (jadrá transformátorov, mag. obvody motorov, elektromagnetov). Sú to vlastne vodiče s veľkým prierezom, v ktorých sa indukované prúdy tvoria v plochách kolmých na smer mag. indukčného toku. V týchto plochách majú prúdy tvar uzavretých kriviek. Sú najväčšie po obvode, nulové v jeho strede. Ich veľkosť závisí od veľkosti (prierezu) kovového predmetu, jeho merného odporu a rýchlosti zmeny mag. indukčného toku.

Vírivé prúdy pôsobia proti zmenám, ktorými boli vyvolané, takže znižujú pôvodný mag. indukčný tok. Energia vírivých prúdov sa mení na teplo, jadro sa prehrieva, čím sa znižuje mag. vodivosť, t.j. vznikajú straty, ktoré znižujú účinnosť elektrických strojov.

Na potlačenie vírivých prúdov sa mag. obvody vyhotovujú z plechov hrúbky 0,35-0,5 mm. Plechy sú navzájom izolované, čím sa preruší dráha vírivých prúdov. V plechoch je zámerne zväčšený elektrický odpor prímiesami kremíka. Vo vf technike sa používajú feritové jadrá, ktoré majú 10^6 krát väčší merný odpor ako klasické vodiče el. prúdu.



Vírivé prúdy v jadre magnetického obvodu: a – v plnom jadre, b – v jadre z plechov

Obrázok 54

6.3. Straty v železe pri striedavej magnetizácii.

Pri magnetizácii striedavým prúdom vznikajú v magnetiku straty z premagnetizovania – hysterézne straty a straty vírivými prúdmi. Stratený výkon vplyvom hysterézy je úmerný: ploche hysteréznej slučky, frekvencii magnetizujúceho prúdu, od hrúbky plechov a merného elektrického odporu, ako aj od druhu magnetického materiálu.

Pri praktických výpočtoch daných strát sa používajú empirické vzťahy. Hysterézne straty a straty vírivými prúdmi na 1kg ocele pri maximálnej indukčii 1T a frekvencii 50 Hz označuje výrobca ako **stratové číslo** a udáva sa vo **wattoch na 1 kg** materiálu. (napr. elektrotechnické plechy s hrúbkou 0,35 mm sa pohybuje stratové číslo 1,2 až 3,6 W/kg)

6.4. Vlastná a vzájomná indukčnosť

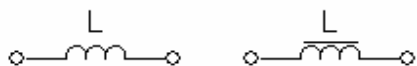
Vlastná indukcia L je taká forma elektromagnetickej indukcie, pri ktorej vzniká indukované napätie vo vodiči (cievke) od vlastného premenlivého mag. indukčného toku. Pre indukované napätie platí:

$$u_i(t) = N \frac{\Delta f}{\Delta t} = N^2 \frac{m \cdot S \cdot \Delta I}{l \cdot \Delta t} = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad L = N^2 \frac{m \cdot S}{l} \quad (\text{H})$$

kde N - počet závitov, μ - permeabilita, S - prierez jadra, l - dĺžka siločiar

Vlastná indukčnosť L cievky závisí od prostredia, v ktorom sa cievka nachádza. Ak je prostredie vzduch, hovoríme o vzduchovej cievke. Ak je prostredie feromagnetický materiál hovoríme o cievke so železným jadrom (resp. s magnetickým obvodom). Takáto cievka má oproti vzduchovej cievke väčšiu indukčnosť. Jednotkou indukčnosti je **Henry H**.

6.4.1. Cievka

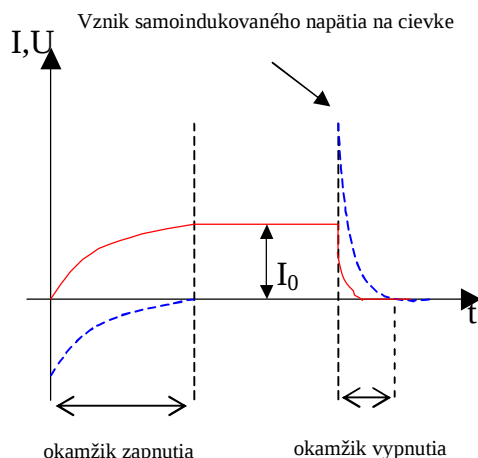


Cievka je dvojpolová súčiastka, ktorá využíva elektromagnetickú indukciu a realizuje vlastnú indukčnosť L . Indukčnosť závisí od počtu závitov, geometrického tvaru a magnetického jadra. Ideálna cievka nemá žiadny ohmický odpor a straty, jednosmernému prúdu nekladie žiadny odpor, striedavému prúdu kladie tzv. zdanlivý odpor.

Vznik samoindukovaného napätia na cievke

Pri striedavom prúde sa prúd a mag. indukčný tok menia a preto vzniká samoindukované napätie. Toto pôsobí proti zmenám prúdu, čo sa javí ako druh odporu pre striedavý prúd. Cievky s veľkou indukčnosťou tlmia prechod prúdu, hovoríme im tlmivky.

Pri vypnutí prúdu vzniká samoindukované napätie súhlasného smeru so smerom prúdu. Toto napätie môže byť mnohokrát väčšie ako bolo pôvodne napätie zdroja. Vznikajú problémy pri odpájaní indukčnej záťaže (motory, el. magnety, vyhrievacie špirály). Pri zapnutí má indukované napätie so smerom prúdu nesúhlasný smer, t.j. prúd nadobudne svoju maximálnu veľkosť až za určitý čas.



Obrázok 55

6.4.2. Vzájomná indukčnosť

Cievkou s N_1 závitmi prechádza striedavý prúd I_1 , ktorý v nej vyvolá mag. indukčný tok Φ_1 . Časť tohto toku Φ_{12} zasahuje do druhej cievky s N_2 závitmi. To má za následok, že sa v druhej cievke s N_2 závitmi indukuje napätie.

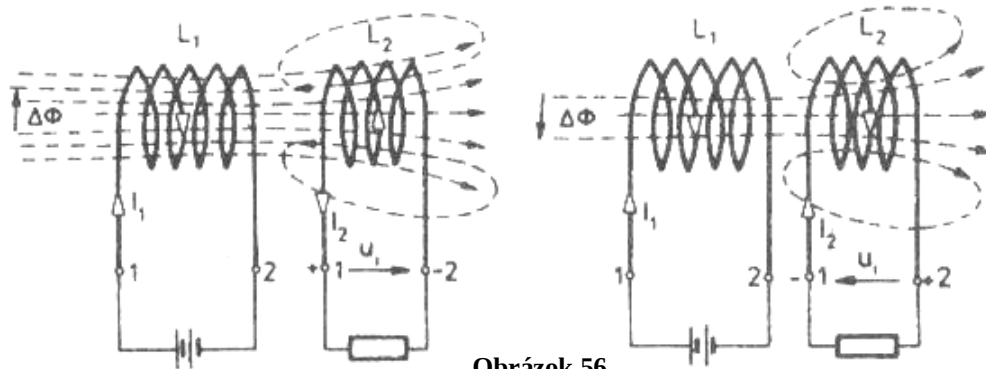
$$u_{i2} = M \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \quad u_{i1} = M \frac{\Delta I_2}{\Delta t} \quad M - \text{vzájomná indukčnosť}$$

Vzájomná indukčnosť M závisí od geometrického usporiadania obidvoch cievok a je pre obidve cievky rovnaká a platí: $M = \sqrt{L_1 \cdot L_2}$

Ak vznikajú rozptylové mag. toky, pre vzájomnú indukčnosť platí vzťah:

$$M = k \sqrt{L_1 \cdot L_2} \quad k - \text{činiteľ väzby}$$

Ak činiteľ väzby $k = 1$, hovoríme o tesnej väzbe, ak je $k = 0$, hovoríme o voľnej väzbe.



Obrázok 56

Vzájomná indukcia:

a – pri narastaní mag. toku, b – pri poklese mag. toku

Obdobne ako rezistory a kondenzátory môžeme cievky spájať sériovo a paralelne.

Sériové zapojenie dvoch cievok bez vzájomnej indukčnosti $L = L_1 + L_2$

Sériové zapojenie dvoch cievok so vzájomnou indukčnosťou $L = L_1 + L_2 \pm 2M$
(magnetické polia sa buď spočítajú, alebo odpočítajú)

Paralelné zapojenie dvoch cievok bez vzájomnej indukčnosti $L = L_1 \cdot L_2 / (L_1 + L_2)$

Kontrolné otázky:

1. Vysvetli pojem elektromagnetická indukcia.
2. Napíš vzťah pre 1. formu indukčného zákona a vysvetli.
3. Napíš vzťah pre 2. formu indukčného zákona a vysvetli.
4. Nakresli silový účinok mag. poľa na vodič prúdu, vyjadri silu pôsobiacu na vodič.
5. Nakresli priebeh napätia a prúdu pri zapínaní a vypínaní indukčnosti do obvodu.
6. Charakterizuj vzájomnú indukčnosť a činiteľ väzby.
7. Vysvetli pojem vŕivý prúd.
8. Vysvetli pojem stratové číslo.

Pr.1. Určte napätie, ktoré sa bude indukovať v cievke so 40 závitmi, ak sa zmení magnetický tok z hodnoty $\Phi_1 = 3 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}$ na hodnotu $\Phi_2 = 9 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}$ za $20 \mu\text{s}$.

$$\text{Zmena magnetického toku za } 20 \mu\text{s} \quad \Delta f = f_2 - f_1 = 9 \cdot 10^{-5} - 3 \cdot 10^{-5} = 6 \cdot 10^{-5} \text{ Wb}$$

$$\text{Indukované napätie} \quad u = N \cdot \frac{\Delta f}{\Delta t} = 40 \frac{6 \cdot 10^{-5}}{20 \cdot 10^{-6}} = 120 \text{ V}$$

Pr.2. Vypočítajte napätie, ktoré sa indukuje v jednom vodiči kotvy generátora. Kotva má priemer 0,2 m, dĺžku 300 mm a vo vzduchovej medzere je magnetická indukcia 0,6 T, otáča sa rýchlosťou 1200 min^{-1} .

$$\text{Obvodová rýchlosť} \quad v = \frac{p \cdot D \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,2 \cdot 1200}{60} = 12,5 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\text{Indukované napätie} \quad u = B \cdot l \cdot v = 0,6 \cdot 0,3 \cdot 12,5 = 2,25 \text{ V}$$

Pr.3. Vypočítajte vlastnú indukčnosť jednovrstvovej cievky s 500 závitmi navinutými tesne vedľa seba, priemer vodiča je 0,5 mm. Jadro cievky má prierez 3 cm^2 . Relatívna permeabilita feromagnetického materiálu je 400.

$$\text{Dĺžka cievky} \quad l = d \cdot N = 0,5 \cdot 500 = 250 \text{ mm}$$

$$\text{Vlastná indukčnosť} \quad L = N^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{S}{l} = 500^2 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 400 \frac{3 \cdot 10^{-4}}{0,25} = 0,15 \text{ H}$$

Pr.4. Vypočítajte vlastnú indukčnosť cievky navinutej na toroidnom jadre kruhového prierezu s vonkajším priemerom $d_2=60 \text{ mm}$, vnútorným priemerom $d_1=40 \text{ mm}$. Materiál má relatívnu permeabilitu 1200. Cievka má 800 závitov.

$$\text{Prierez jadra} \quad S = p \left(\frac{d_2 - d_1}{4} \right)^2 = p \left(\frac{6 \cdot 10^{-2} - 4 \cdot 10^{-2}}{4} \right)^2 = 7,85 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\text{Dĺžka strednej siločiar} \quad l = p \frac{d_2 - d_1}{4} = p \frac{6 \cdot 10^{-2} - 4 \cdot 10^{-2}}{4} = 0,157 \text{ m}$$

$$\text{Vlastná indukčnosť} \quad L = N^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{S}{l} = 800^2 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 1200 \frac{7,85 \cdot 10^{-5}}{0,157} = 0,482 \text{ H}$$

Pr.5. Na feromagnetickom jadre s relatívnou permeabilitou 1800, s prierezom 4 cm^2 a s dĺžkou strednej siločiar 12 cm sú navinuté dve cievky s počtom závitov $N_1=300$ a $N_2=200$. Učte výslednú indukčnosť pri sériovom zapojení oboch vinutí pre prípad, že magnetické polia obidvoch cievok pôsobia a) súhlasne, b) nesúhlasne.

$$L_1 = N_1^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{S}{l} = 300^2 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 1800 \frac{4 \cdot 10^{-4}}{12 \cdot 10^{-2}} = 0,67 \text{ H}$$

$$L_2 = N_2^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{S}{l} = 200^2 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 1800 \frac{4 \cdot 10^{-4}}{12 \cdot 10^{-2}} = 0,3 \text{ H}$$

$$\text{Vzájomná indukčnosť} \quad M = k \sqrt{L_1 \cdot L_2} = 0,8 \cdot \sqrt{0,67 \cdot 0,3} = 0,35 \text{ H}$$

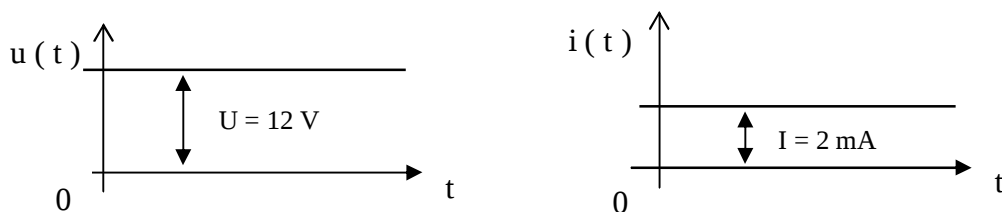
Výsledná indukčnosť

$$\text{a) } L = L_1 + L_2 + 2M = 0,67 + 0,3 + 2 \cdot 0,35 = 1,67 \text{ H}$$

$$\text{b) } L = L_1 + L_2 - 2M = 0,67 + 0,3 - 2 \cdot 0,35 = 0,27 \text{ H}$$

7. Druhy obvodových veličín a ich časové priebehy

Jednosmerné prúdy a napätia sú také, ktorých veľkosť a smer sa v čase nemenia.

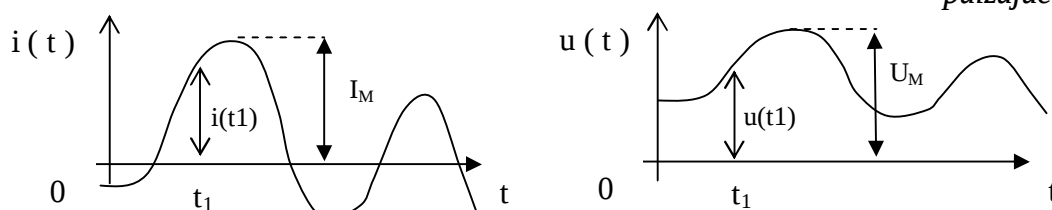


Obrázok 57

Striedavé prúdy a napätia

sú v priamom zmysle slova také, ktorých veľkosť aj smer sa v čase mení. Ak sa smer (polarita) nemení a mení sa len veľkosť, hovoríme takým priebehom pulzujúce.

pulzujúci priebeh



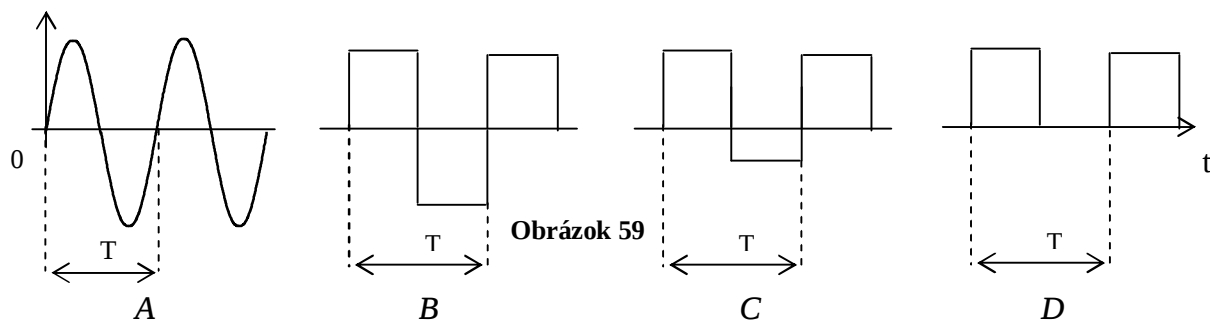
Obrázok 58

$u(t)$, $i(t)$ – tvar zápisu funkcií času, resp. okamžitých hodnôt

$u(t_1)$ – okamžitá hodnota napätia v čase $t = t_1$

U_M , I_M – maximálne hodnoty – amplitúdy

Periodické priebehy sú také, ktorých priebeh sa po určitom čase – perióde T opakuje. Matematické vyjadrenie periodicity: $u(t) = u(t \pm n.T)$.



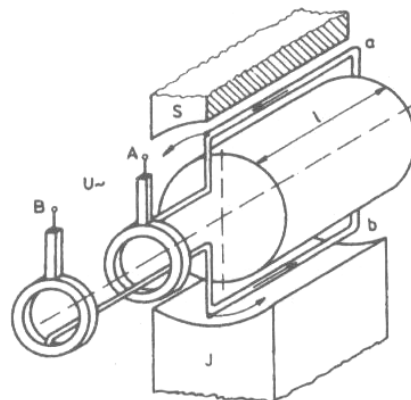
Obrázok 59

Striedavé priebehy môžu byť spojité - analógové (A), alebo nespojité – impulzné (B, C, D), unipolárne (D) alebo bipolárne (A, B, C), symetrické (B v čase a veľkosti) a nesymetrické.

7.1. Vznik striedavého napätia a prúdu

Princíp generátora striedavého napätia a prúdu:

Slučka sa otáča v magnetickom poli medzi dvoma pólmi elektromagnetu. Konce slučky sú pripojené ku dvom vodivým krúžkom, na ktoré dosadajú zberné kontakty. Póly magnetu majú taký tvar, že magnetická indukcia na rotore (otočnej časti) má priebeh podľa sínusoidy.



Obrázok 60

Indukčné čiary vstupujú vo vzduchovej medzere kolmo do rotora. Magnetická indukcia v ľubovoľnom mieste na povrchu rotora je daná:

$$B = B_m \cdot \sin \alpha$$

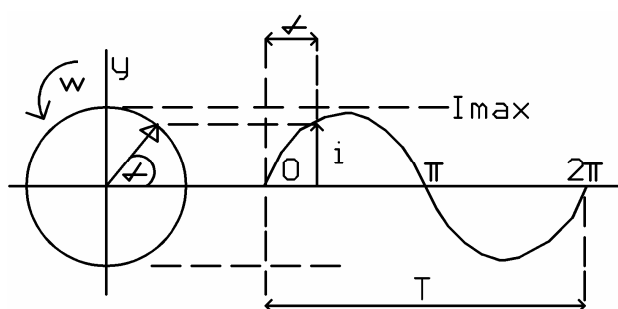
Obvodová rýchlosť slučky v je v každej polohe kolmá na smer magnetickej indukcie a vo vodiči v_1 sa indukuje napätie:

$$u = B \cdot l \cdot v = B_m \cdot l \cdot v \cdot \sin \alpha$$

Rovnaké napätie sa indukuje aj vo vodiči v_2 a keďže v_1 a v_2 sú zapojené v sérii platí:

$$u_v = 2 \cdot B_m \cdot l \cdot v \cdot \sin \alpha$$

T.j. otáčaním slučky sa indukuje vo vodiči napätie, ktorého tvar odpovedá funkcií sínus.



Obrázok 61

Frekvencia

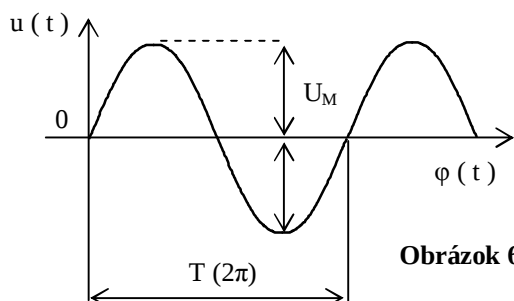
Frekvencia f udáva počet periód za sekundu. Jednotkou frekvencie je **Hertz Hz**: $f = \frac{1}{T}$ (Hz, s)

Medzi frekvenciou f a kruhovou frekvenciou ω platí vzťah:

$$\omega = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T}$$

Harmonický priebeh

Harmonické priebehy sa dajú popísať (zobraziť) matematickou funkciou $\sin x$ resp. $\cos x$.



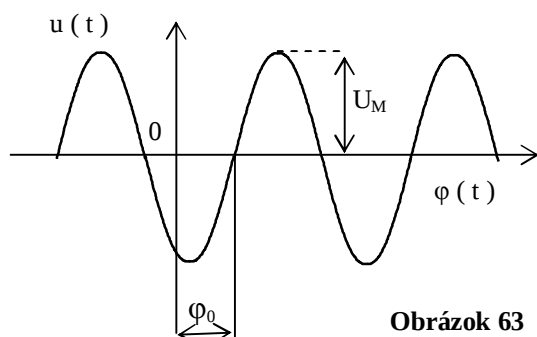
Obrázok 62

$$u(t) = U_M \cdot \sin \varphi = U_M \cdot \sin(\omega t)$$

kde φ je uhol (fáza) v oblúkovej miere $\varphi = \omega \cdot t$
 ω – je uhlová rýchlosť (kruhová frekvencia),

Fázový posun

Ak harmonická veličina nemá v čase $t = 0$ nulovú hodnotu, je posunutá voči začiatku o uhol φ_0 , ktorý nazývame **fázový posun**. Začiatková fáza je kladná (záporná) vtedy, ak je okamžitá hodnota na začiatku kladná (záporná). φ_0 – je počiatková fáza priebehu.



Obrázok 63

$$u(t) = U_M \cdot \sin(\varphi - \varphi_0) = U_M \cdot \sin(\omega t - \varphi_0)$$

Harmonické napätie je teda charakterizované tromi parametrami: U_M , φ_0 , T resp. f .

Frekvencia napätia v našej rozvodnej sieti je:

$$f = 50 \text{ Hz } (T = 20 \text{ ms}), \text{ uhlová rýchlosť } \omega = 314.$$

7.2. Hodnoty striedavého prúdu a napätia

Rozoznávame:

1. okamžité hodnoty – hodnoty zodpovedajúce určitému časovému okamžiku – u, i
2. maximálne hodnoty – najväčšia okamžitá hodnota – U_m, I_m
3. efektívne hodnoty U, I (U_{ef}, I_{ef})
4. stredné hodnoty U_{AV}, I_{AV} (U_{str}, I_{str})

Efektívna hodnota

Je pre prax najdôležitejšia, všetky meracie prístroje merajú efektívnu hodnotu, všetky spotrebiče na striedavý prúd majú na štítku uvedenú efektívnu hodnotu. Efektívna hodnota striedavého prúdu má rovnaké tepelné účinky, ako odpovedajúca hodnota jednosmerného prúdu.

$$U_{ef} = \frac{U_M}{\sqrt{2}} \quad I_{ef} = \frac{I_M}{\sqrt{2}};$$

Stredná hodnota

Má význam len pre usmernený striedavý prúd a napätie. Stredná hodnota striedavého prúdu má rovnaké chemické účinky ako odpovedajúca hodnota jednosmerného prúdu.

$$U_{str} = \frac{2}{p} U_M \quad I_{str} = \frac{2}{p} I_M$$

Kontrolné otázky:

1. Nakresli priebeh striedavého, kmitavého a pulzujúceho napätia
2. Nakresli a vysvetli princíp generátora striedavého napätia a prúdu.
3. Vyznač okamžitú hodnotu napätia v dobe kmitu 1 T v časových intervaloch $\alpha = (30^\circ, 60^\circ, 90^\circ)$.
4. Charakterizuj strednú, efektívnu a maximálnu hodnotu striedavej veličiny a napíš vzťah pre ich výpočet.

Pr.1. Aká je frekvencia a perióda striedavého napätia pri uhlovej frekvencii 628 rad.s^{-1}

$$\text{Frekvencia} \quad f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{628}{2\pi} = 100 \text{ Hz} \quad \text{Periód} \quad T = \frac{1}{f} = \frac{1}{100} = 0,01 \text{ s}$$

Pr.2. Vypočítajte okamžitú hodnotu striedavého prúdu sínusového priebehu s fázovým posunom -60° za $5 \mu\text{s}$ s frekvenciou 12 kHz. Maximálna hodnota prúdu je 8 mA.

$$\text{Uhol v radiánoch} \quad a_r = 2\pi \cdot f \cdot t = 2\pi \cdot 12 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-6} = 0,376 \text{ rad}$$

$$\text{Uhol v stupňoch} \quad a_s = \frac{180^\circ}{p} a_r = \frac{180^\circ}{p} 0,376 = 21,54^\circ$$

$$\text{Okamžitá hodnota prúdu} \quad i(t) = I_M \cdot \sin(\omega t - \varphi) = 8 \cdot 10^{-3} \sin(21,54^\circ - 60^\circ) = -4,97 \cdot 10^{-3} \text{ A} = \\ i(t) = -4,97 \text{ mA}$$

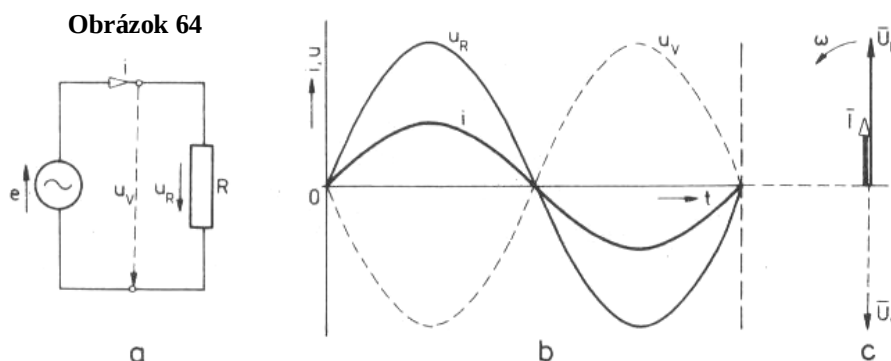
Pr.3. Vypočítajte efektívnu a strednú hodnotu striedavého prúdu, ak jeho maximálna hodnota je 150 A.

$$I_{ef} = \frac{I_M}{\sqrt{2}} = \frac{150}{\sqrt{2}} = 106 \text{ A} \quad I_{str} = \frac{2 \cdot I_M}{p} = \frac{2 \cdot 150}{p} = 95,5 \text{ A}$$

8. Obvody striedavého prúdu

8.1. Ideálny rezistor v obvode striedavého prúdu ($R \neq 0, R \neq \infty, L = 0, C = 0$)

Striedavý prúd i prechádzajúci rezistorom R sleduje presne zmeny striedavého napätia u . Napätie a prúd na rezistore sú vo fáze.



a – schéma zapojenia, b – časový priebeh napätia a prúdu, c – fázorový diagram

Priebeh okamžitých hodnôt striedavého prúdu a napätia je vyjadrený:

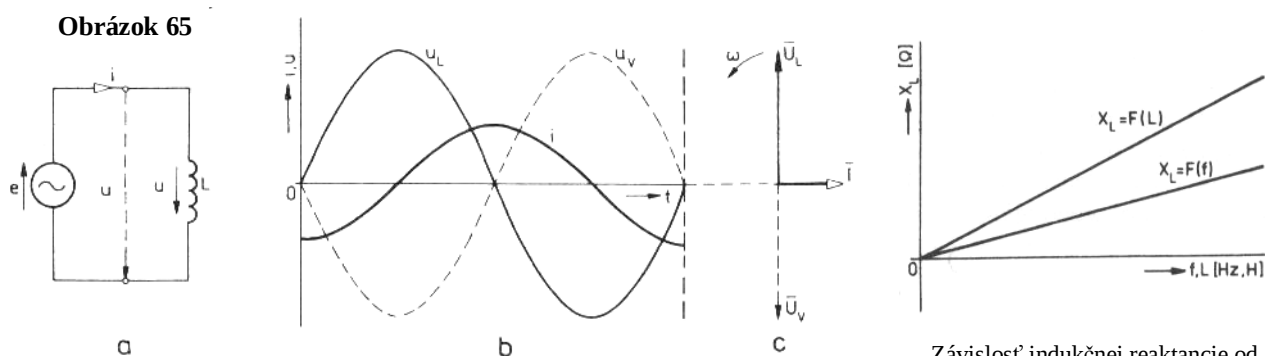
$$i = I_m \sin \omega t \quad u = U_m \sin \omega t$$

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m \cdot \sin \omega t}{R} \quad I = \frac{U}{R}$$

Ohmov zákon platí nielen pre maximálne, resp. efektívne hodnoty napätia a prúdu, ale aj pre okamžité hodnoty.

8.2. Ideálna cievka v obvode striedavého prúdu. ($L \neq 0, R = 0, C = 0$)

Prúd i prechádzajúci cievkou vyvolá v cievke mag. tok Φ , ktorý je premenný a je vo fáze s prúdom. Časovo premenlivý mag. tok Φ indukuje v závitoch cievky napätie u , ktoré je maximálne pri maximálnej zmene mag. toku, t.j. v okamih, keď má mag. tok nulovú hodnotu.



a – schéma zapojenia, b – časový priebeh napätia a prúdu, c – fázorový diagram

Závislosť indukčnej reaktancie od indukčnosti, príp. frekvencie

Priebeh okamžitých hodnôt striedavého prúdu, ktorý preteká ideálnou cievkou je vyjadrený:

$$i = \frac{U_m}{X_L} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad u = U_m \sin \omega t$$

Napätie zdroja predbieha prúd o 90° , t.j. $\pi/2$ a je s indukovaným napätím v protifáze.

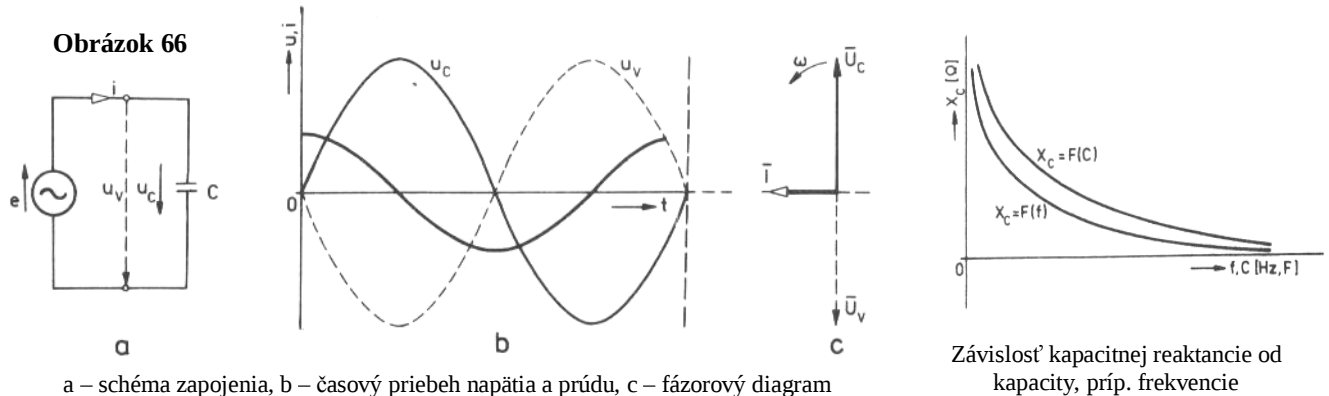
Efektívna hodnota striedavého prúdu, vyjadrená podľa Ohmovho zákona:

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{\omega L} \quad X_L = \omega L \quad (\Omega) \quad X_L - \text{indukčná reaktancia}$$

Ohmov zákon platí pre maximálne, resp efektívne hodnoty, neplatí ale pre okamžité hodnoty napätia a prúdu.

8.3. Ideálny kondenzátor v obvode striedavého prúdu. ($C \neq 0$, $R = \infty$, $L = 0$)

Ideálny kondenzátor s kapacitou C pripojíme na striedavé napätie s frekvenciou f . Kondenzátorom nepotečie žiadny prúd, lebo jeho dielektrikum má neprekonateľný činný odpor. Vplyvom zmien polarizácie striedavého napätia sa bude kondenzátor opakovane nabíjať a vybíjať, čo sa v jeho vonkajšom obvode prejaví posuvným prúdom.



Priebeh okamžitých hodnôt striedavého prúdu, ktorý preteká ideálnym kondenzátorom je vyjadrený:

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

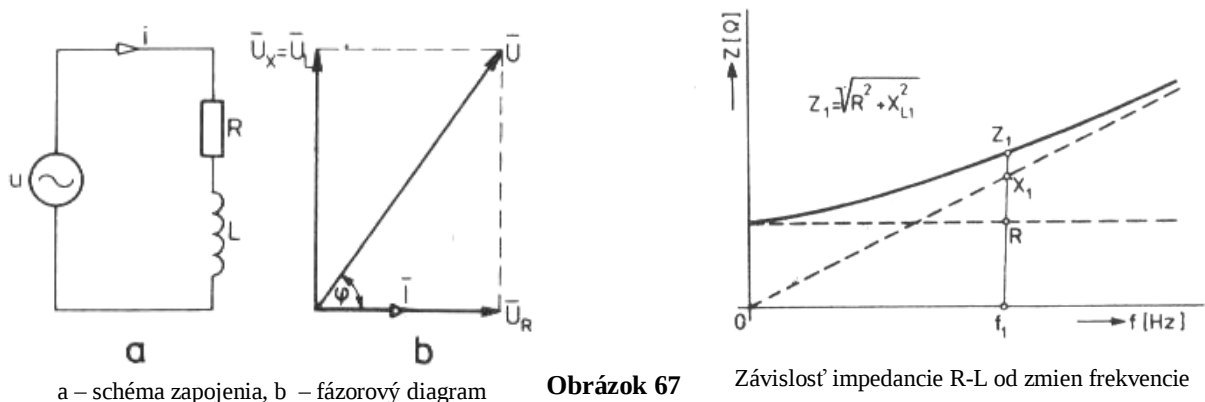
Prúd v obvode s kondenzátorom predbieha svorkové napätie o 90° , t.j $\pi/2$.

Efektívna hodnota striedavého prúdu, vyjadrená podľa Ohmovho zákona:

$$I = \frac{U}{X_C} = U \cdot \omega C \quad X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (\Omega) \quad X_C - \text{kapacitná reaktancia}$$

Ohmov zákon platí pre maximálne, resp efektívne hodnoty, neplatí ale pre okamžité hodnoty napätia a prúdu.

8.4. Sériové zapojenie ideálneho rezistora a ideálnej cievky



Pre absolútnu hodnotu výsledného napätia platí:

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} \quad I \cdot Z = \sqrt{I^2 R^2 + I^2 X_L^2}$$

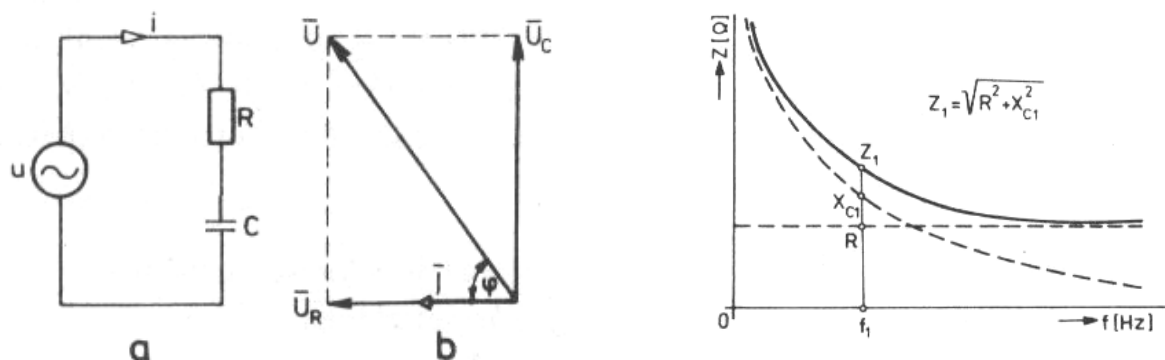
$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} \quad (\Omega)$$

Z je výsledný odpor obvodu (daný činným odporom a reaktanciou), nazývaným **impedancia**.

Z fázorového diagramu napätí platí:

$$\operatorname{tg} j = \frac{U_x}{U_R} = \frac{I\omega L}{IR} = \frac{X_L}{R} \quad \cos j = \frac{U_R}{U} = \frac{IR}{I\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{R}{Z} \quad \sin j = \frac{U_x}{U} = \frac{I\omega L}{I\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{X_L}{Z}$$

8.5. Sériové zapojenie ideálneho rezistora a ideálneho kondenzátora



a – schéma zapojenia, b – fázorový diagram

Obrázok 68

Závislosť impedancie R-C od zmien frekvencie

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}$$

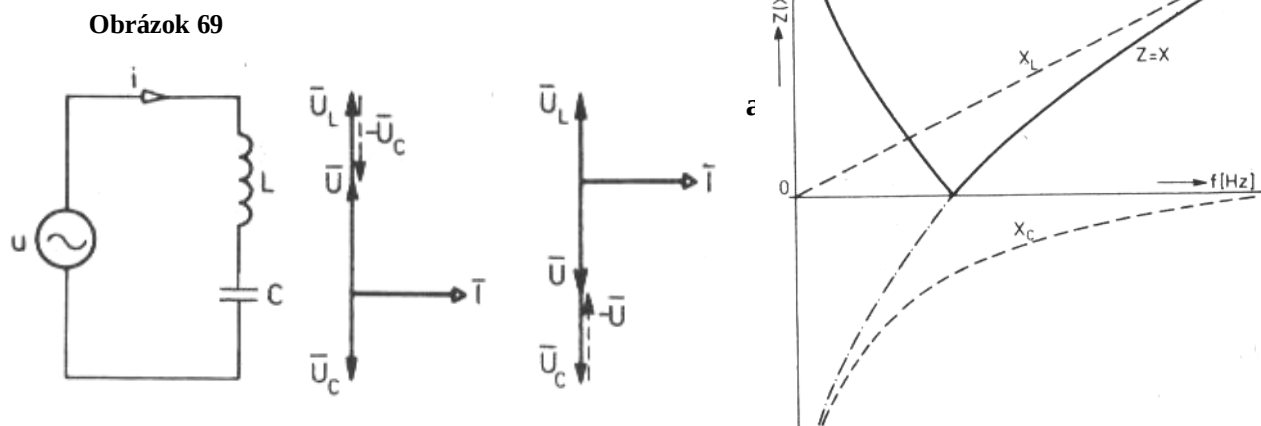
$$\operatorname{tg} j = \frac{U_x}{U_R} = \frac{X_C}{R} \quad \cos j = \frac{U_R}{U} = \frac{R}{Z} \quad \sin j = \frac{U_x}{U} = \frac{X_C}{Z}$$

8.6. Sériové zapojenie ideálnej cievky a ideálneho kondenzátora

Medzi svorkovým napätím a prúdom je fázový posun kladný alebo záporný, podľa toho, či má výsledná reaktancia charakter indukčnosti alebo kapacity.

Ak prevláda v obvode indukčnosť ($X_L > X_C$) – indukčný charakter, je prúd oneskorený za svorkovým napätím a fázový posun je kladný $+\varphi$.

Ak prevláda kapacita ($X_L < X_C$) – kapacitný charakter, prúd predbieha svorkové napätie a fázový posun je záporný $-\varphi$.



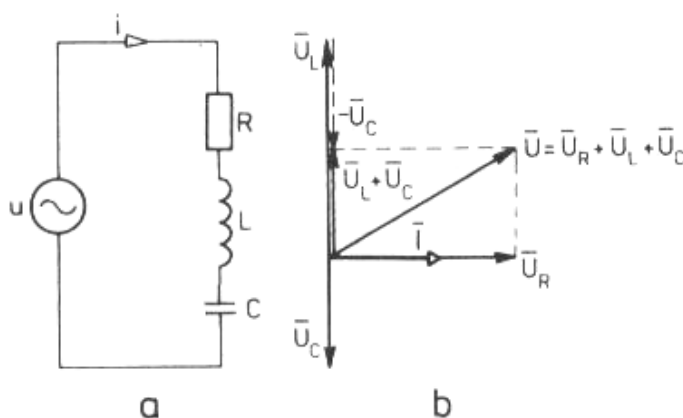
Obrázok 69

schéma zapojenia fázor. diagram s indukčným, kapacitným charakterom

Závislosť impedancie L-C od zmien frekvencie

8.7. Sériové zapojenie ideál. rezistora, ideál. cievky a ideál. kondenzátora

Obrázok 70



a – schéma zapojenia, b – fázorový diagram

Ak $X_L > X_C$ platí:

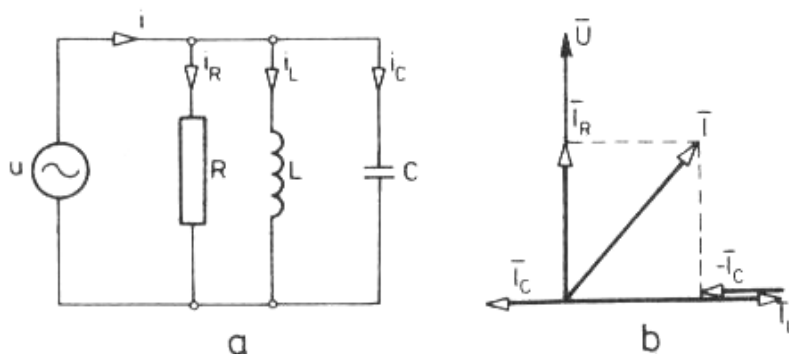
$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

$$\operatorname{tg} j = \frac{U_X}{U_R} = \frac{X_L - X_C}{R} \quad \cos j = \frac{U_R}{U} = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

$$\sin j = \frac{U_X}{U} = \frac{X}{Z} = \frac{X_L - X_C}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

8.8. Paralelné zapojenie ideál. rezistora, ideál. cievky a ideál. kondenzátora

Obrázok 71



a – schéma zapojenia, b – fázorový diagram

Ak $X_L > X_C$ platí:

Pre absolútnu hodnotu výsledného prúdu platí:

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_L^2 - I_C^2)} = \sqrt{\frac{U^2}{R^2} + \left(U\omega C - \frac{U}{\omega L}\right)^2} \quad Y = \frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}$$

kde $B = \frac{1}{X} = \frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}$ je výsledná **susceptancia** a Y je výsledná **admitancia** zapojenia.

$$\operatorname{tg} j = \frac{R}{X} \quad \cos j = \frac{Z}{R} \quad \sin j = \frac{Z}{X}$$

Pr.1. Na zdroj striedavého napätia s maximálnou hodnotou 1,2V, frekvenciou 20 Hz je pripojená ideálna cievka s indukčnosťou 4mH. Vypočítajte reaktanciu cievky, efektívnu hodnotu amplitúdy prúdu, ktorý prechádza ideálnou cievkou.

$$\text{Reaktancia ideálnej cievky} \quad X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 2\pi \cdot 200 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 5\Omega$$

$$\text{Maximálna hodnota prúdu} \quad I_m = \frac{U_m}{X_L} = \frac{1,2}{5} = 0,24A$$

$$\text{Efektívna hodnota prúdu} \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{0,24}{\sqrt{2}} = 0,17A$$

Pr.2. Ideálny kondenzátor s kapacitou 5600 pF je pripojený na striedavé sínusové napätie s efektívnou hodnotou 2V, frekvencia 15kHz. Určte kapacitnú reaktanciu, amplitúdu napätia a prúdu, ktorý prechádza ideálnym kondenzátorom.

$$\text{Kapacitná reaktancia} \quad X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 5,6 \cdot 10^{-9}} = 1,894 \cdot 10^3 \Omega$$

$$\text{Amplitúda napätia} \quad U_m = \sqrt{2} \cdot U = \sqrt{2} \cdot 2 = 2,82V$$

$$\text{Amplitúda prúdu} \quad I_m = \frac{U_m}{X_C} = \frac{2,82}{1,894 \cdot 10^3} = 1,48 \cdot 10^{-3} A = 1,48mA$$

Pr.3. Na zdroj s napätím 400V a frekvenciou 50Hz je pripojená skutočná cievka s indukčnosťou 0,255H a s odporom 60Ω. Určte prúd, ktorý prechádza obvodom, impedanciu, napätie na indukčnosti a odpore, fázový posun medzi napätím a prúdom.

$$\text{Indukčná reaktancia} \quad X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 2\pi \cdot 50 \cdot 0,255 = 80\Omega$$

$$\text{Impedancia obvodu} \quad Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{60^2 + 80^2} = 100\Omega$$

$$\text{Prúd obvodom} \quad I = \frac{U}{Z} = \frac{400}{100} = 4A$$

$$\text{Napätie na indukčnosti} \quad U_L = X_L \cdot I = 80 \cdot 4 = 320V$$

$$\text{Napätie na odpore} \quad U_R = R \cdot I = 60 \cdot 4 = 240V$$

$$\text{Fázový posun} \quad \tan j = \frac{X_L}{R} = \frac{80}{60} = 1,333 \quad j = 53,13^\circ$$

Pr.4. Ideálny kondenzátor s kapacitou 16μF a rezistor s odporom 400 Ω sú zapojené do série a pripojené na napätie 220V, s frekvenciou 50Hz. Určte impedanciu obvodu, prúd obvodom, napätie na ideálnom kondenzátore a rezistore, fázový posun medzi napätím a prúdom.

$$\text{Kapacitná reaktancia} \quad X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 16 \cdot 10^{-6}} = 198,94\Omega$$

$$\text{Impedancia obvodu} \quad Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{400^2 + 198,940^2} = 446,74\Omega$$

$$\text{Prúd obvodom} \quad I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{446,74} = 0,49A$$

$$\text{Napätie na kondenzátore} \quad U_C = X_C \cdot I = 198,94 \cdot 0,49 = 97,48V$$

$$\text{Napätie na odpore} \quad U_R = R \cdot I = 400 \cdot 0,49 = 196V$$

$$\text{Fázový posun} \quad \tan j = \frac{R}{X_C} = \frac{400}{198,94} = 2,01 \quad j = 63,43^\circ$$

Pr.5. Na zdroj so striedavým napätím je pripojené sériové zapojenie rezistora s odporom 6Ω , ideálnej cievky s indukčnosťou $1,27\text{mH}$ a ideálneho kondenzátora s kapacitou $26,5\mu\text{F}$. Obvodom prechádza pri frekvencii 500Hz prúd 200mA . Určte impedanciu obvodu, napätie zdroja, napätie na všetkých prvkoch obvodu a fázový posun medzi napätím a prúdom.

$$\text{Impedancia obvodu } Z = \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2} = \sqrt{6^2 + (12 - 4)^2} = 10\Omega$$

$$\text{Napätie zdroja } U = Z.I = 10.0,2 = 2\text{V}$$

$$\text{Napätie na odpore } U_R = R.I = 6.0,2 = 1,2\text{V}$$

$$\text{Napätie na indukčnosti } U_L = X_L.I = 4.0,2 = 0,8\text{V}$$

$$\text{Napätie na kondenzátore } U_C = X_C.I = 12.0,2 = 2,4\text{V}$$

$$\text{Fázový posun } \tan j = \frac{U_C - U_L}{U_R} = \frac{2,4 - 0,8}{1,2} = 1,333 \quad j = 53,13^\circ$$

Pr.6. Pri sériovom rezonančnom obvode, ktorý je zložený zo skutočnej cievky s odporom 10Ω , indukčnosťou $0,3\text{mH}$ a ideálneho kondenzátora s kapacitou 300pF . Rez. obvod je pripojený na zdroj striedavého napätia 10V . Určte rezonančnú frekvenciu, prúd pri rezonancii, napätie na cievke a kondenzátore.

$$\text{Rezonančná frekvencia } f_o = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L.C}} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 300 \cdot 10^{-12}}} = 530516,47\text{Hz}$$

$$\text{Impedancia pri rezonancii } Z_o = R = 10\Omega$$

$$\text{Prúd prechádzajúci obvodom pri rezonancii } I_o = \frac{U}{R} = \frac{10}{10} = 1\text{A}$$

$$\text{Činiteľ akosti obvodu } Q = \frac{2\pi \cdot f \cdot L}{R} = \frac{2\pi \cdot 530516,47 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3}}{10} = 100$$

$$\text{Napätie na cievke a kondenzátore } U_{Lo} = U_{Co} = Q.U = 100.10 = 1000\text{V}$$

Pr.7. Ideálny kondenzátor s kapacitou 500pF je zapojený paralelne ku skutočnej cievke s odporom 10Ω a indukčnosťou $200\mu\text{H}$. Obvod je pripojený na zdroj striedavého napätia 120V . Vypočítajte rezonančnú frekvenciu, impedanciu pri rezonancii, prúd, ktorý prechádza obvodom pri rezonancii, činiteľ akosti obvodu.

$$\text{Rezonančná frekvencia } f_o = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L.C}} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{2 \cdot 10^{-4} \cdot 5 \cdot 10^{-10}}} = 503292\text{Hz}$$

$$\text{Impedancia pri rezonancii } Z_o = \frac{L}{R.C} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{10 \cdot 5 \cdot 10^{-10}} = 40\text{k}\Omega$$

$$\text{Prúd prechádzajúci obvodom pri rezonancii } I_o = \frac{U}{R} = \frac{10}{10} = 1\text{A}$$

$$\text{Činiteľ akosti obvodu } Q = \frac{2\pi \cdot f \cdot L}{R} = \frac{2\pi \cdot 503292 \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{10} = 63,2$$

$$\text{Prúd obvodom pri rezonancii } I_o = \frac{U}{Z_o} = \frac{120}{40 \cdot 10^3} = 3\text{mA}$$

9. Rezonancia

V elektrických obvodoch, ktoré obsahujú prvky R , L , C nastáva pri určitej frekvencii stav, keď indukčná a kapacitná reaktancia sa navzájom rovnajú a zdroj napätia zaťažuje iba rezistor R , t.j. vzniká **rezonancia**.

9.1. Sériová rezonancia napätí

Pri konštantných prvkoch obvodu R - L - C indukčná reaktancia X_L sa zvyšuje so vzrastom frekvencie f a kapacitná reaktancia X_C klesá. Pri určitej frekvencii f_r , ktorú nazveme **rezonančná frekvencia**, budú obidve reaktancie rovnaké, a preto napätia na reaktanciách pôsobia proti sebe a navzájom sa rušia. Výsledná reaktancia X dosiahne nulovú hodnotu. Obvod sa správa tak, ako by v ňom bol zapojený len činný odpor R .

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

$$\begin{aligned} \text{ak } X_L &= X_C & Z_r &= R \\ w_r L &= \frac{1}{w_r C} & w_r^2 &= \frac{1}{LC} & w_r &= \frac{1}{\sqrt{LC}} \\ f_r &= \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} & \text{Thomsonov vzt'ah} \end{aligned}$$

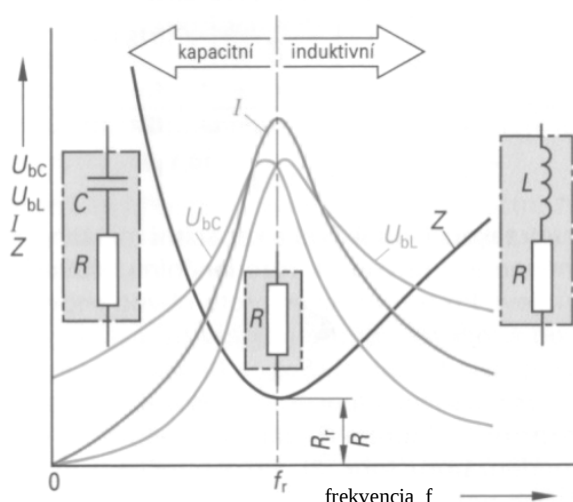
Pri sériovej rezonancii bude impedancia minimálna a rovná sa činnému odporu. Pri sériovej rezonancii prechádza obvodom maximálny prúd, ktorý je vo fáze so svorkovým napätím.

$$I_r = \frac{U}{Z_r} = \frac{U}{R}$$

Pri sériovej rezonancii sú prvky L a C zaťažované veľkým napätím: $U_L = U_C = I_r X_L$.

Stav rezonancie dosiahneme:

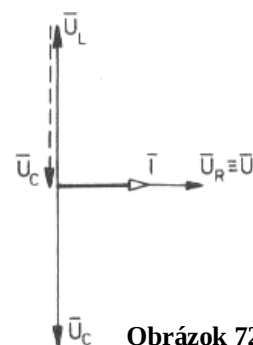
- zmenou L , C pri konšt. frekvencii f
- zmenou frekvencie pri konšt. hodnote L , C



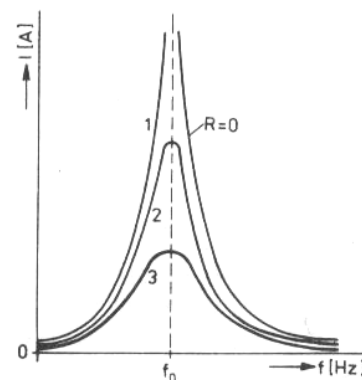
Rezonančná krivka R-L-C obvodu. Zobrazenie charakteru obvodu v závislosti od frekvencie.

Obrázok 73

Fázorový diagram R-L-C obvodu



Obrázok 72



Rezonančná krivka prúdov R-L-C obvodu
1- pre $R=0$, 2- pre určité $R=R'$, 3- pre $R > R'$

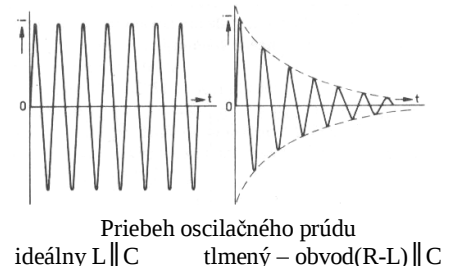
Pomer častkových napätí U_{bL} , U_{bC} k celkovému napätiu U pri rezonancii sa nazýva **kvalita Q** rezonančného obvodu.

$$Q = \frac{U_{bL}}{U} = \frac{U_{bC}}{U}$$

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{X_C}{R}$$

9.2. Paralelná rezonancia prúdov

Ak spojíme paralelne ideálnu cievku a kondenzátor, vzniká oscilačný obvod. Ak obidve reaktancie budú rovnaké, potečie nimi rovnaký prúd. Mag. energia cievky sa bude meniť na elektrickú energiu kondenzátora a naopak. Stačil by preto len malý napäťový impulz a paralelnými vetvami s L a C by tiekol trvalý prúd. Po odpojení napätia by prúd v paralelných vetvách obvodu trvalo nekmital, pretože činný odpor cievky tlmi prúdové oscilácie.



Obrázok 74

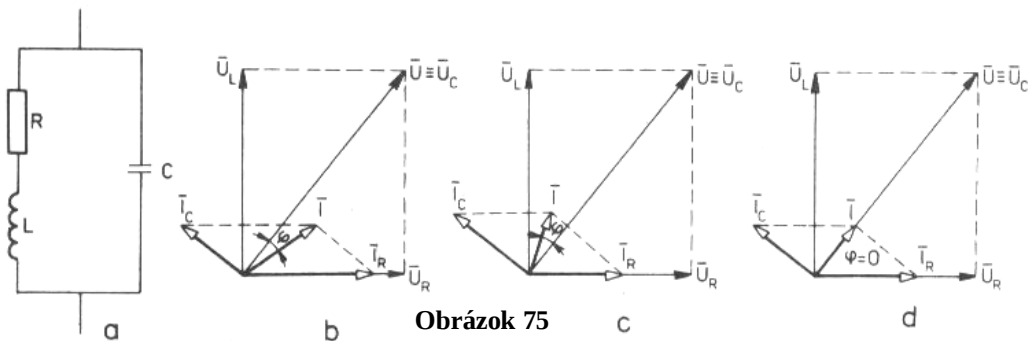
Pre ideálny paralelný obvod platí:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{a} \quad Z_r = \infty$$

Paralelný rezonančný obvod má pri rezonancii svoj najväčší odpor. Pri paralelnej rezonancii dochádza v cievke a na kondenzátore k veľkému zvýšeniu prúdu, dochádza k prúdovej rezonancii. Jalové prúdy dosahujú mnohonásobku celkového prúdu.

$$Q = \frac{I_{bL}}{I} = \frac{I_{bC}}{I} \quad Q = \frac{Z}{X_L} = \frac{Z}{X_C}$$

Pre prax je dôležité zapojenie $(R-L) \parallel C$, čo predstavuje paralelné zapojenie reálnej cievky a kondenzátora.



Obrázok 75

Schéma zapojenia a fázorové diagramy pre obvod $(R-L) \parallel C$

a – schéma zapojenia, b – indukčný charakter, c – kapacitný charakter, d – stav rezonancie

Pre toto zapojenie platí:

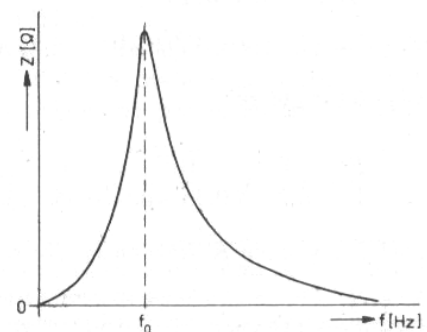
$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}} \quad Z_r = \frac{L}{RC}$$

Teda na rezonančnú frekvenciu vplýva aj činný odpor obvodu. Najväčšiu impedanciu Z_r dosiahne paralelný rezonančný obvod pri rezonancii f_r .

Straty v cievke sú výrazne väčšie ako straty v kondenzátore. Akosť rezonančného obvodu je tak veľká, ako je kvalita cievky Q .

$$Q = \frac{X_L}{R_{\text{cievky}}} = \frac{w_r \cdot L}{R_{\text{cievky}}}$$

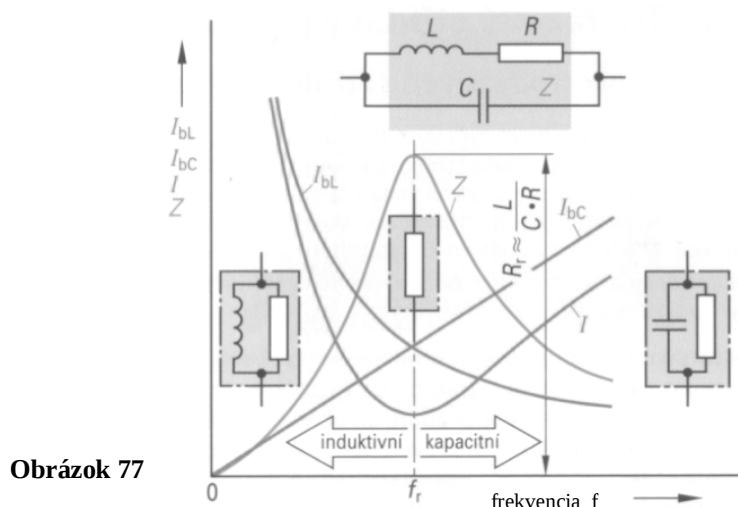
R_{cievky} je stratový odpor cievky



Rezonančná krivka impedancie obvodu $(R-L) \parallel C$

Obrázok 76

Rezonančná krivka (R-L) || C obvodu. Zobrazenie charakteru obvodu v závislosti od frekvencie.



Obrázok 77

Použitie:

V silnoprúdovej technike paralelné pripojené kondenzátory k veľkým indukčným spotrebičom kompenzujú jalovú energiu. Vedením ku spotrebiču potečie len činná zložka prúdu, lebo jalovú zložku mu dodáva kondenzátor.

Vo vf technike sa paralelný rezonančný obvod používa na výber signálu s takou frekvenciou, na ktorý je par. rezonančný obvod naladený. Signál z antény je privádzaný na par. rez. obvod. Podľa Ohmovho zákona vznikne v rezonančnom obvode najväčšie napätie pre frekvenciu f_r , lebo pre túto frekvenciu na rez. obvod najväčšiu impedanciu Z_r . Signál s vyššou alebo nižšou frekvenciou ako je f_r , obvod zoslabí.

Paralelný rez. obvod tvorí základ oscilátora, el. obvodu ktorý generuje signál s určitou frekvenciou.

10. Výkon a práca v striedavým obvode

V striedavých obvodoch je pojem výkonu zložitejší, pretože obvodové veličiny sú v čase premenlivé a napätie a prúd sú fázovo posunuté. Výkon závisí od charakteru impedancie záťaže. Záťaž môže byť odporová, induktívneho alebo kapacitného charakteru. Pri odporovej záťaži je medzi napätím a prúdom fázový posun $\varphi = 0$, pri induktívnom charaktere je $\varphi = (0 \div \pi/2)$, pri kapacitnom je $\varphi = (0 \div -\pi/2)$. Kombinovanej záťaži, ktorá má odporovú aj reaktančnú zložku hovoríme komplexná záťaž. V striedavých obvodoch sú definované nasledovné druhy výkonov: okamžitý, činný, jalový a zdanlivý.

Okamžitý výkon $p(t) = u(t) \cdot i(t)$ má premenlivú hodnotu, v praxi nemá príliš veľký význam. V praxi je zaujímavá jeho stredná hodnota. Budeme definovať výkony a prácu len v ustálenom stave a pri harmonických obvodových veličinách. Napätia a prúdy sú vo vzťahoch efektívne hodnoty.

10.1. Činný výkon

Činný výkon P vzniká na čisto odporovej záťaži alebo komplexnej záťaži s odporovou zložkou impedancie. Činný výkon sa mení v záťaži na prácu, teplo a svetlo.

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi \text{ (W, V, A)},$$

Jednotkou činného výkonu je **Watt W**.

φ je fáza impedancie záťaže (fázový posun medzi U a I), výraz **cos φ** sa nazýva **účinník**.

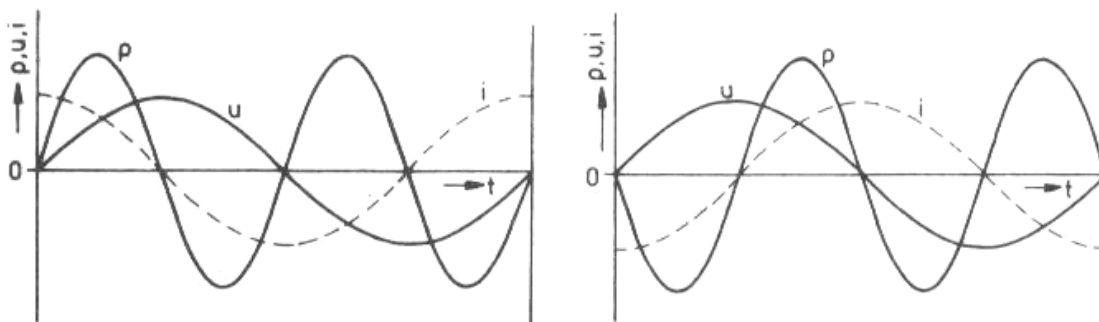


Pribeh výkonu na činnom odpore

10.2. Jalový výkon

Jalový výkon Q odoberajú čisto reaktančné záťaže (indukčnosť a kondenzátor) alebo komplexné záťaže. Názov výkonu vyjadruje skutočnosť, že tento výkon sa nemení na prácu. Jalový výkon periodicky akumulujú a zase naspäť vracajú reaktancie tak, že stredná hodnota výkonu je nulová.

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi \quad (\text{var, V, A}), \text{ jednotkou je } \mathbf{var} \text{ (reaktančný voltampér)}.$$



Priebeh výkonu na kapacitnej reaktancii

Priebeh výkonu na indukčnej reaktancii

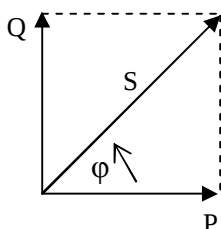
Obrázok 79

10.3. Zdanlivý výkon

Zdanlivý výkon S je matematicky určený zo súčinu efektívnych hodnôt napätia a prúdu záťaže, bez ohľadu na charakter záťaže.

$$S = U \cdot I \quad (\text{VA, V, A}), \text{ jednotkou je } \mathbf{VA} \text{ (voltampér)}.$$

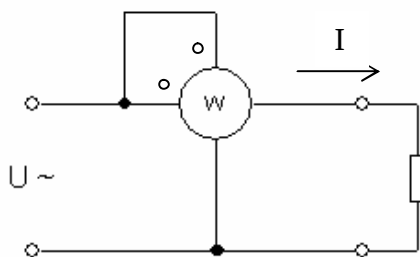
Vzťah jednotlivých výkonov vyjadruje obrázok:



Obrázok 80

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad P = S \cdot \cos\varphi, \quad Q = S \cdot \sin\varphi, \quad j = \arctg \frac{Q}{P}$$

Veľkosť výkonov sa meria meračmi výkonu - wattmetrami. Činný výkon sa meria podľa nasledujúcej schémy.



Obrázok 81

Množstvo el. energie sa meria elektromerom. U odberateľov sa meria iba činná energia – za tú sa platí. Energetické závody merajú pre svoju potrebu aj jalový výkon, aby vedeli kompenzovať jalové prúdy a tým straty energie na vedeniach.

Energiu možno „ukladať“ aj do polí. Napr.:

Energia el. poľa kondenzátora je:
Energia mag. poľa cievky je:

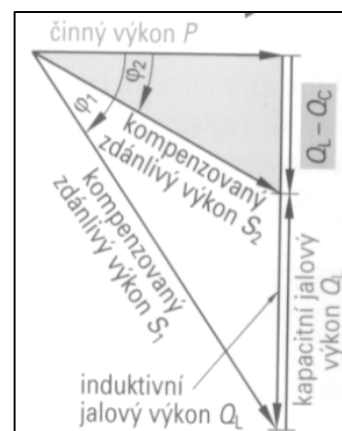
$$A = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2, \\ A = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2,$$

kde C je kapacita kondenzátora.
kde L je indukčnosť cievky.

10.4. Účinník a jeho kompenzácia

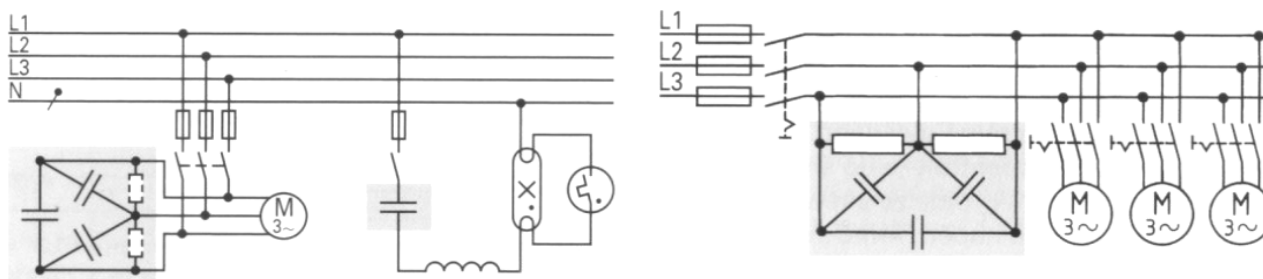
Pod pojmom kompenzácia rozumieme vyrovňovanie induktívneho jalového výkonu kapacitným jalovým výkonom. Kompenzácia jalového výkonu znižuje zaťažovanie generátorov a prenosových sietí. Pri kompenzácií sa snažia dosiahnuť **účinník $\cos\varphi = 0,95_{\text{IND}}$** .

Pri kompenzácií sa zmenší podiel jalového výkonu v sieti o jalový výkon kompenzačného kondenzátora alebo iného kompenzačného zariadenia. Kompenzáciou jalového výkonu sa zmenší fázový posun φ medzi činným výkonom P a zdánlivým výkonom S a tým sa zväčší účinník $\cos\varphi$. Pri kompenzácií blížiacей sa stavu $\cos\varphi = 1$ dochádza k výmene časti jalového výkonu medzi spotrebičom a kompenzačným zariadením.



Obrázok 82

Najjednoduchší spôsob kompenzácia je umiestniť kompenzačný kondenzátor priamo na spotrebič. Pri odpájaní spotrebiča je nutné vybiť kondenzátor na bezpečné napätie, čo sa realizuje vybíjaním cez rezistor, alebo priamo cez vinutie motora.



Paralelná kompenzácia

Sériová kompenzácia

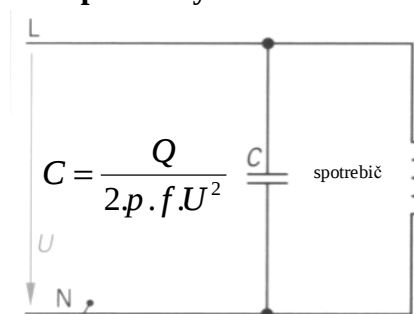
Obrázok 83

Skupinová kompenzácia

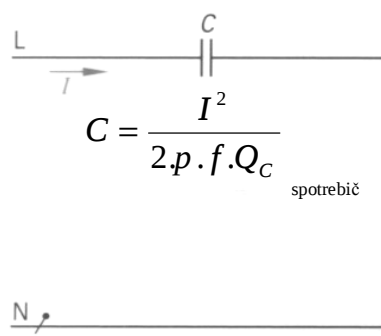
Pri sériovej kompenzácií nie je možné kompenzovať účinník priamo na $\cos\varphi = 1$, pretože by došlo k rezonancii medzi indukčnosťou vinutia motora a kapacitou kompenzačného kondenzátora a napätie na reaktanciách pri rezonancii by mohlo poškodiť zariadenie.

Skupinová kompenzácia je vhodná pre malé prevádzky, kde skupina spotrebičov má spoločné kompenzačné zariadenie, ktoré je pripojené na sieťový prívod až za ovládacím stykačom.

Výpočet kompenzačných kondenzátorov:



Paralelná kompenzácia



Obrázok 84

Sériová kompenzácia

$$\text{Kapacitný jalový výkon} \quad Q_C = P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) \quad \tan\varphi_1 = \frac{Q_L}{P} \quad \tan\varphi_2 = \frac{Q_L - Q_C}{P}$$

P - činný výkon, Q_L - indukčný jalový výkon, Q_C - kapacitný jalový výkon, φ_1 - uhol nekompenzovaného fázového posunu, φ_2 - uhol kompenzovaného fázového posunu

Pr.1. Obvodom, ktorý je pripojený na zdroj striedavého napätia 20V prechádza prúd 5A. Účinník $\cos\varphi = 0,5$. Určte zdanlivý, činný a jalový výkon.

$$\cos\varphi = 0,5, \varphi = 60^\circ, \sin\varphi = 0,86$$

$$\text{Zdanlivý výkon} \quad S = U \cdot I = 20 \cdot 5 = 100 \text{ VA}$$

$$\text{Činný výkon} \quad P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = 20 \cdot 5 \cdot 0,5 = 50 \text{ W}$$

$$\text{Jalový výkon} \quad Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi = 20 \cdot 5 \cdot 0,86 = 86 \text{ var}$$

Pr.2. Jednofázový motor na napätie 230V a činnom výkone 1,5 kW odoberá prúd 8A. Vypočítajte zdanlivý a jalový výkon, účinník, činnú a jalovú zložku prúdu.

$$\text{Zdanlivý výkon} \quad S = U \cdot I = 230 \cdot 8 = 1,84 \text{ kVA}$$

$$\text{Jalový výkon} \quad Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{(1,84 \cdot 10^3)^2 - (1,5 \cdot 10^3)^2} = 1065,64 \text{ var}$$

$$\text{Účinník} \quad \cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{1,84 \cdot 10^3} = 0,815 \quad \varphi = 35,39^\circ, \sin\varphi = 0,579$$

$$\text{Zložky prúdu} \quad I_c = I \cdot \cos\varphi = 8 \cdot 0,815 = 6,52 \text{ A} \quad I_j = I \cdot \sin\varphi = 8 \cdot 0,579 = 4,632 \text{ A}$$

Pr.3. Žiarivka 58W na napätie 230V, 50 Hz a tlmivka so stratovým výkonom 12W majú spolu účinník $\cos\varphi_1 = 0,48$. Paralelná kompenzácia by mala zmeniť účinník na $\cos\varphi_2 = 0,9$. Vypočítajte potrebný kapacitný jalový výkon kondenzátora, odber prúdu zo siete po kompenzácií a kapacitu kompenzačného kondenzátora.

Jalový výkon kondenzátora

$$Q_C = P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) \quad \begin{array}{lll} \cos\varphi_1 = 0,48 & \varphi_1 = 61,3^\circ & \tan\varphi_1 = 1,82 \\ \cos\varphi_2 = 0,9 & \varphi_2 = 25,8^\circ & \tan\varphi_2 = 0,48 \end{array}$$

$$Q_C = (58 + 12)(1,82 - 0,48) = 93,8 \text{ var}$$

Odber prúdu po kompenzácií

$$I_1 = \frac{P}{U \cdot \cos\varphi_1} = \frac{70}{230 \cdot 0,48} = 0,63 \text{ A} \quad I_2 = \frac{P}{U \cdot \cos\varphi_2} = \frac{70}{230 \cdot 0,9} = 0,34 \text{ A}$$

Kompenzačný kondenzátor

$$C = \frac{Q}{2\pi \cdot f \cdot U^2} = \frac{93,8}{2\pi \cdot 50 \cdot 230^2} = 5,65 \text{ mF}$$

11. Prechodné javy

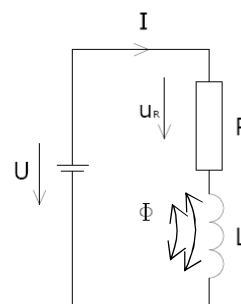
Príčinou prechodných javov sú prvky, ktoré sú schopné akumulovať energiu. Týmito prvkami sú cievka a kondenzátor. Prechodné javy teda vznikajú na prvkoch L a C pri:

- pripojení, pričom prúd nenadobudne okamžite konečnú veľkosť, pretože je potrebný čas na vytvorenie elektrostatického (elektromagnetického) poľa.
- odpojení, kedy je potrebný čas na zánik tohto poľa.

11.1. Prechodné javy v R-L obvode

Ustálený stav – cievka je dlhšiu dobu pripojená na zdroj a obvodom preteká konštantný prúd I . Celé napätie zdroja sa prenáša na odpor a vzniká na ňom úbytok $U_R = I \cdot R$. Konštantný prúd tečúci obvodom vytvorí na cievke

konštantný mag. tok $\Phi = \frac{L \cdot I}{N}$ a napätie na cievke je nulové.



Obrázok 85

Ak sa v obvode zmení prúd, zmení sa aj mag. tok na cievke a na cievke sa naindukujú napätie

$$u_L = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Pripojenie cievky na zdroj

- v okamihu pripojenia ($t = 0$) nepreteká obvodom prúd, čiže úbytok napätia na odpore nevzniká $u_R = 0$.
- v okamihu pripojenia cievka spotrebuje el. energiu na vytvorenie mag. poľa (mag. toku Φ) a celé napätie zdroja sa objaví na cievke, kde sa napätie z nuly zmení na $u_L \rightarrow u_L = U$.
- prúd začne rásť, ovplyvňuje ho veľkosť odporu R , tj. napätie na rezistore u_R sa zväčšuje a zároveň napätie na cievke u_L klesá. Zväčšovanie prúdu sa vplyvom odporu spomaľuje, preto sa zmenšuje aj napätie na cievke.
- prechodný jav trvá len ten krátky čas, pri ktorom sa mení napätie na cievke z $u_L = U$ na $u_L = 0$.

V prechodnom jave je prúd v obvode menší, ako prúd, ktorý by vznikol podľa Ohmovho zákona, lebo zdroj vynaloží prácu pri premáhaní indukovaného napätia, ktoré vzniká na cievke pri vzraste prúdu.

$$U = u_R + u_L \quad U = R \cdot i + \frac{L \Delta i}{\Delta t} \quad \frac{U}{R} = i + \frac{L}{R} \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad I = i + t \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad t = \frac{L}{R} \text{ (s)}$$

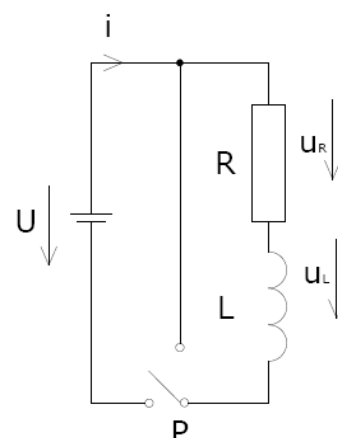
τ – časová konštanta

$$i = I - t \frac{\Delta i}{\Delta t} \rightarrow i = I \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

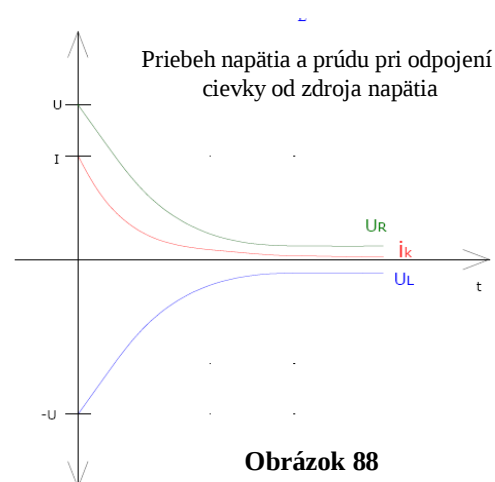
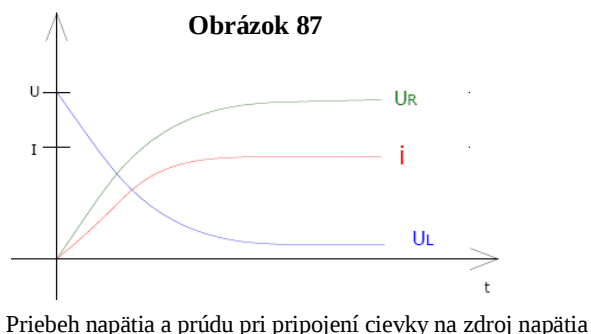
V čase $t = \tau$ prúd i dosiahne 63,2 % svojej ustálenej hodnoty, ak $t = 3\tau$ dôjde k ukončeniu prechodného javu.

$$u_R = i \cdot R = I \cdot R \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) = U \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

$$u_L = U - u_R = U - \left[U \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \right] = U - U + U \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) = U e^{-\frac{t}{\tau}}$$



Obrázok 86



Odpojenie cievky od zdroja

- skratovaním cievky zdroja - skratový prúd i_k je vlastne prechodný jav pri vypnutí

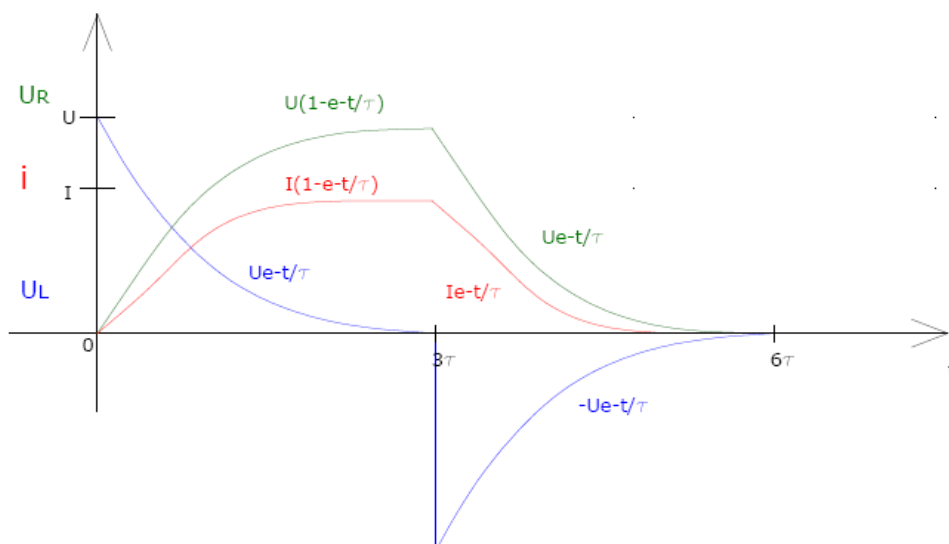
$$I = I \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) + i_k \quad i_k = I - I \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) = I - I + I e^{-\frac{t}{\tau}} \quad i_k = I e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$u_R = i_k \cdot R = \left[I - I \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \right] \cdot R = I \cdot R - I \cdot R \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad u_R = U \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

- pri skrate je napätie nulové:

$$0 = u_R + u_L \quad u_L = -u. \quad u_L = -U \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

V cievke sa mag. tok znižuje, preto je polarita napätia na cievke u_L opačná ako pri pripájaní obvodu na zdroj napätia.



Pribeh napätia a prúdu pri pripojení cievky na zdroj napätia a následné po odpojení od zdroja napätia

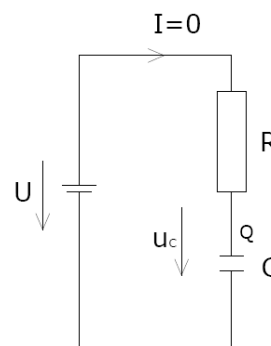
Odpájanie indukčnej záťaže spôsobuje z dôvodu existencie prechodových javov vznik oblúku medzi kontaktmi vypínača a následné ich opalovanie, čo zvyšuje prechodový odpor a skracuje životnosť kontaktov.

11.2. Prechodné javy v R-C obvode

Ustálený stav:

v technickom kondenzátore pripojenom na zdroj napätia sa nahromadí náboj $Q = C \cdot U$

- $U = \text{konšt.}$, $Q = \text{konšt.}$ a prúd v obvode $I = 0$.
- prúd obvodom nepreteká, čiže sa na odpore nevytvorí úbytok napätia u_R .
- takže napätie zdroja je celé na kondenzátore, je rovnako veľké, ale opačne orientované: $U = u_C$.



Obrázok 90

Ak sa v obvode z akéhokoľvek dôvodu zmenia elektrické pomery,

mení sa aj náboj na kondenzátore q a mení sa aj $\Delta u_C = \frac{\Delta q}{C}$. Zmena náboja

vyvolá prúd, ktorý preteká obvodom pokiaľ sa pomery neustália.

Pripojenie kondenzátora na zdroj

- v okamihu pripojenia ($t = 0$) sa kondenzátor správa ako skrat a celé napätie zdroja sa preniesie na odpor a prúd sa zmení z nulovej hodnoty na $I = U/R$. $t = 0, I = U/R, u_R = U, u_C = 0$.
- kondenzátor sa začne nabíjať a úmerne s veľkosťou náboja vzrastá na ňom napätie.
- napätie na kondenzátore rastie a zákonite napätie na odpore klesá, lebo súčet týchto napätí udáva hodnotu napätia zdroja $u_R + u_C = U$.
- napätie na kondenzátore u_C stúpa, nabíjací prúd klesá z hodnoty I na nulu a následne zanikne.
- celé napätie zdroja sa preniesie na svorky kondenzátora $u_C = U$ a prechodný jav končí

$$U = u_R + u_C$$

$$U = R \cdot i + \frac{q}{C}$$

$$\frac{U}{R} = i + \frac{q}{RC}$$

$$i = \frac{U}{R} - \frac{q}{RC}$$

$$i = I - \frac{q}{RC}$$

$$i = I - q \frac{1}{RC}$$

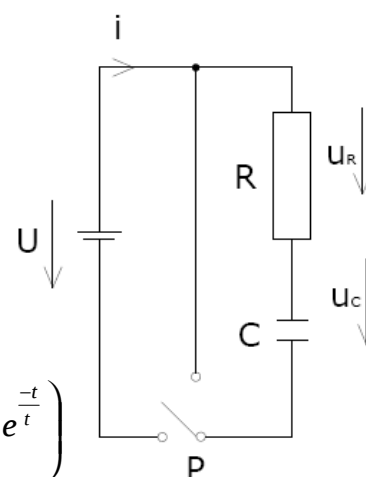
$$i = I \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$t = R \cdot C$$

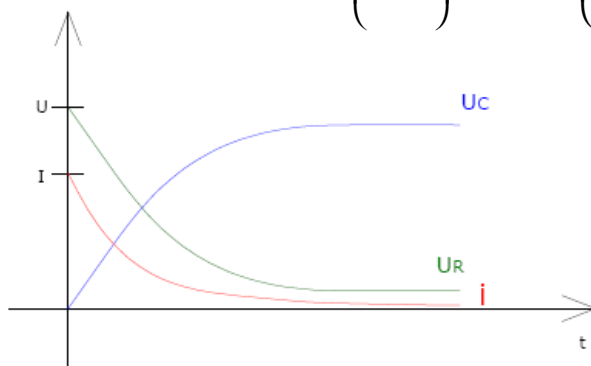
τ – časová konštanta

V čase $t = \tau$ poklesne prúd i na 36,8 % svojej hodnoty, ak $t = 3\tau$ dôjde k ukončeniu prechodného javu

$$u_R = i \cdot R = I R \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = U \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad u_C = U - u_R = U - \left(U e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad u_C = U \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$



Obrázok 91



Priebeh napätia a prúdu po pripojení kondenzátora na zdroj napätia

Obrázok 92

Odpojenie kondenzátora od zdroja

- keď sa kondenzátor nabil, prúd zanikol, ale kondenzátor ostáva nabitý aj po odpojení od zdroja.
- náboj privedený na elektródy kondenzátora pôsobí na pôvodne neutrálne dielektrikum tak, že ho spolarizuje. Energia spotrebovaná na polarizáciu dielektrika ostane v spolarizovanom dielektriku nahromadená vo forme elektrostatického poľa. Nabitý kondenzátor je teda zdrojom energie.
- ak svorky kondenzátora spojíme vodičom, vznikne jednoduchý obvod, ktorým tečie vybíjací prúd opačného smeru ako nabíjací.
- energia nahromadená v dielektriku sa mení na elektrickú prácu (na odpore sa prejaví tepelná energia)

$$W_e = \frac{1}{2} C \cdot U^2 \quad \text{energia potrebná na vytvorenie poľa}$$

$$W = R \cdot I^2 t \quad \text{tepelná energia}$$

- vybíjací prúd má opačný smer ako nabíjací

$$i = -I e^{-\frac{t}{\tau}}$$

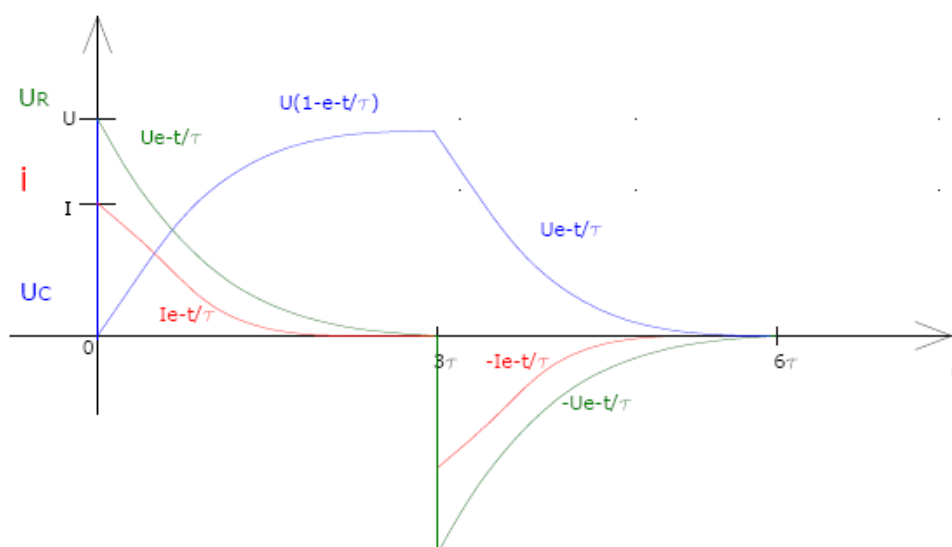
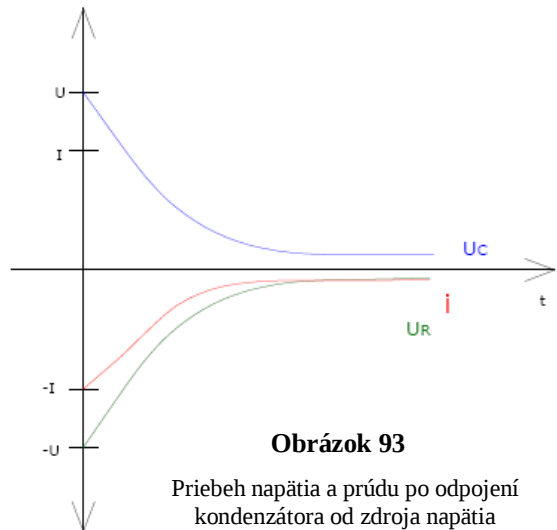
- napätie na rezistore klesá z maximálnej hodnoty na nulovú:

$$u_R = i \cdot R = -I e^{-\frac{t}{\tau}} \cdot R = -I \cdot R e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$u_R = -U e^{-\frac{t}{\tau}}$$

- pri odpojení od zdroja je napätie zdroja nulové:

$$0 = u_R + u_C \quad -u_C = u_R \quad u_C = U e^{-\frac{t}{\tau}}$$



Kontrolné otázky:

1. Nakresli časový priebeh napätia a prúdu na činnom odpore, ideálnej cievke a kondenzátore v striedavom obvode.
2. Nakresli závislosť X_L (X_C) od indukčnosti (kapacity) a frekvencie.
3. Nakresli R-L, R-C, R-L-C a vyznač u_R , u_L , u_C . Urči impedanciu obvodu.
4. Nakresli závislosť impedancie R-L, R-C obvodu od zmien frekvencie.
5. Nakresli R-L-C a zostav fázorový diagram.
6. Nakresli $R \parallel L \parallel C$ a zostav fázorový diagram, vyznač prúdy na jednotlivých prvkoch.
7. Nakresli fázorový diagram rezonančného obvodu R-L-C.
8. Nakresli rezonančnú krivku prúdov R-L-C pre $R=0$, $R=R'$, $R>R'$.
9. Charakterizuj paralelnú rezonanciu. Nakresli rezonančnú krivku impedancie paralelného obvodu $(R-L) \parallel C$.
10. Nakresli fázorové zobrazenie výkonov a napíš vzťahy pre činný, jalový a zdanlivý výkon.
11. Charakterizuj účinník pre činný výkon.
12. Nakresli fázorové zobrazenie napätia a prúdu pred kompenzáciou a po kompenzácií účinníka.
13. Popíš prechodné javy v R-L obvode.
14. Popíš prechodné javy v R-C obvode.
15. Nakresli časový priebeh napätia a prúdu pri pripojení (odpojení) cievky (kondenzátora).

Pr.1. Stanovte prúd, ktorým sa nabíja kondenzátor $C = 1\mu F$ cez rezistor $R = 200\Omega$ po pripojení na jednosmerný zdroj s napätím $10V$ v čase $t = 5\tau$.

$$i = I \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{U}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{10}{200} \cdot \frac{1}{e^5} = \frac{1}{20} \cdot \frac{1}{148,33} = 0,0003368A$$

Pr.2. Určte odpor rezistora, ktorým sa nabíjal kondenzátor o kapacite $247\mu F$ zo zdroja $150V$. Napätí na odpore pokleslo z $55V$ na $20V$ za $10ms$.

$$(1) \quad t = t_1 - t_2 \quad (2) \quad u_{1R} = U \cdot e^{-\frac{t_1}{RC}} \quad (3) \quad u_{2R} = U \cdot e^{-\frac{t_2}{RC}} \quad t = R \cdot C$$

Z rovnice (2) určíme t_1 $t_1 = t \cdot 2,3 \log \frac{U}{u_{1R}}$ Z rovnice (3) určíme t_2 $t_2 = t \cdot 2,3 \log \frac{U}{u_{2R}}$

$$t_1 - t_2 = t \cdot 2,3 \left(\log \frac{U}{u_{1R}} - \log \frac{U}{u_{2R}} \right) \quad t = R \cdot C \cdot \log \frac{u_{2R}}{u_{1R}}$$

$$R = \frac{t}{C \cdot 2,3 \log \frac{u_{2R}}{u_{1R}}} = \frac{10^{-1}}{2,47 \cdot 10^{-4} \cdot 2,3 \cdot 0,43933} = 400\Omega$$

Pr.3. Určte napätie zdroja, ak indukčnosť cievky 100 mH , činný odpor cievky 400Ω a obvodom prechádza prúd $4mA$ za $0,5 \text{ ms}$ od pripojenia na zdroj.

$$i = I_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), \text{ po vyjadrení}$$

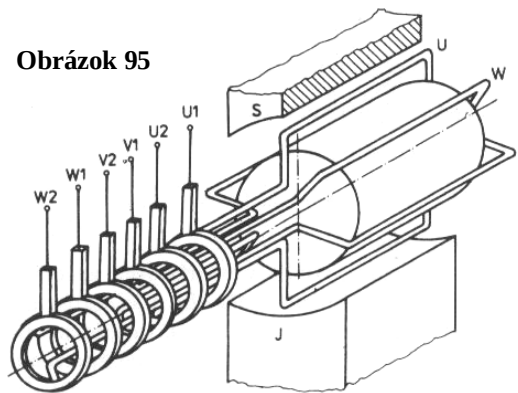
$$U = \frac{R \cdot i}{1 - e^{-\frac{t}{\tau}}} = \frac{400 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{1 - e^{-0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 400,0,1}} = 1,85V$$

12. Trojfázová sústava

Trojfázová sústava má 3 rovnako veľké napätia sínusového priebehu, ktorých časové priebehy sú navzájom posunuté o 120° t.j. o $1/3$ periódy.

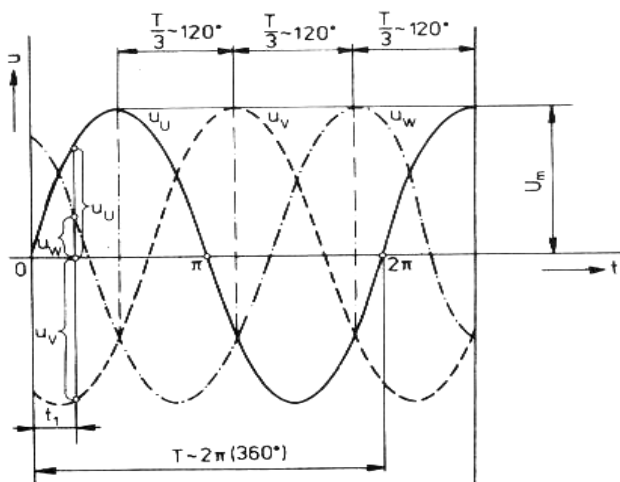
Vzniká v trojfázovom generátore: Rotor generátora sa otáča v magnetickom poli, pričom priestorové rozloženie magnetického poľa po obvodu rotora je sínusové. Na rotore sú uložené **vinutia troch fáz U, V, W**. Cievky týchto fáz sú navzájom pootočené o 120° . Konce vinutí $U1, U2, V1, V2, W1, W2$ sú vyvedené na krúžky, po ktorých kľžu kefy. Ak sa rotor otáča, indukujú sa v jednotlivých fázach okamžité napätia u_i . Pretože všetky tri cievky jednotlivých fáz sú mechanicky zviazané a spoločne sa otáčajú v jednom rotore, líšia sa len fázovým posunom.

Obrázok 95



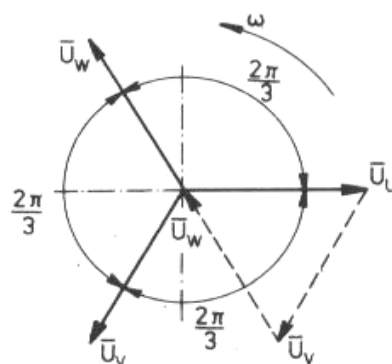
Pre okamžité hodnoty napätia jednotlivých fáz platia vzťahy:

$$u_U = U_m \cdot \sin \omega t \quad u_V = U_m \cdot \sin \left[\omega t - \frac{2\pi}{3} \right] \quad u_W = U_m \cdot \sin \left[\omega t - \frac{4\pi}{3} \right]$$



Časový diagram napätí

Obrázok 96



Fázorový diagram napätí

Uvedeným rovniciam zodpovedá fázorový diagram, z ktorého vyplýva, že súčet fázorov U_U, U_V, U_W sa rovná nule:

$$U_U + U_V + U_W = 0.$$

Súčet okamžitých hodnôt napätí všetkých troch fáz sa v každom okamžiku rovná nule.

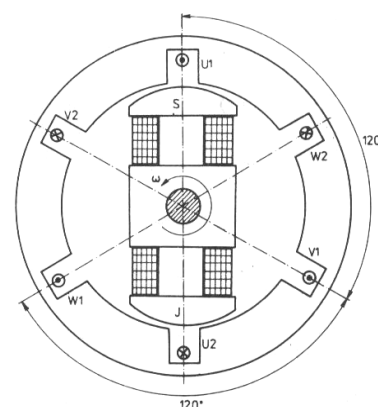
$$u_U + u_V + u_W = 0$$

12.1. Skutočné prevedenie generátora 3-fázovej sústavy

Vinutie troch fáz je uložené nepohyblivo v drážkach statora, pričom jednotlivé fázy sú priestorovo navzájom posunuté o 120° . V dutine statora sa otáča elektromagnet, budený jednosmerným prúdom. Generátory poháňané vodnými turbínami majú veľký počet pólov

a preto sú ich otáčky nižšie. $n = \frac{60 \cdot f}{p}$ (s^{-1}).

f – frekvencia siete, p – počet pólových dvojíc.



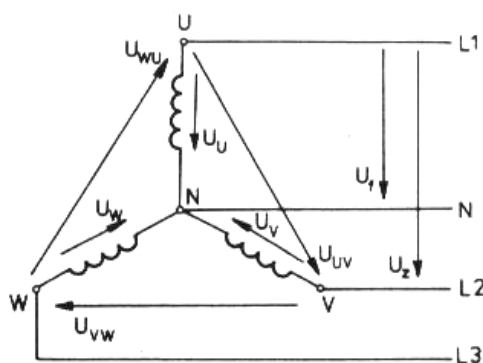
Obrázok 97

Výhody viacfázovej sústavy:

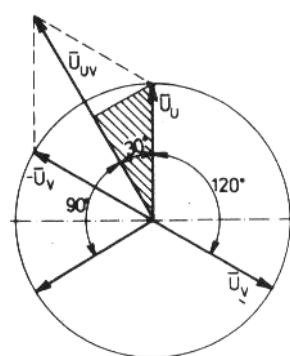
- generátor viacfázovej sústavy je konštrukčne jednoduchší a lacnejší.
- ušetrenie vodičov spojením jedného konca fázových vinutí do uzlového bodu.
- vzájomným spojením fázových vinutí môžeme získať viac druhov napätí alebo zväčšiť veľkosť odoberaného prúdu.
- magnetické pole trojfázovej sústavy vytvára otáčavé mag. pole, ktoré umožňuje používať konštrukčne jednoduché indukčné motory.
- na trojfázovú sieť možno pripojiť jednofázové a trojfázové spotrebiče na dva druhy napätí s rôznymi veľkosťami.
- dnešné siete sú trojfázové, lebo umožňujú hospodárny prenos energie.

12.2. Zapojenie trojfázovej sústavy do hviezdy

Zapojenie do hviezdy vznikne, ak spojíme konce vinutia fáz U_2, V_2, W_2 do uzla (nulového bodu). Začiatky fáz U_1, V_1, W_1 sú vyvedené pomocou troch fázových vodičov $L1, L2, L3$. Uzol je vyvedený pomocou stredného (nulového) vodiča N . Vzniká 4-vodičová sústava.



Zapojenie do hviezdy – štvorvodičové usporiadanie



Obrázok 98

Fázorový diagram

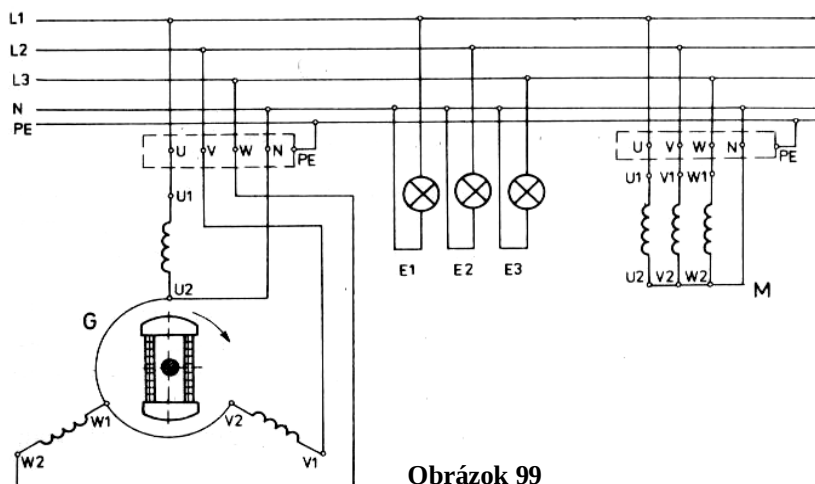
Medzi uzlovým bodom N a svorkami jednotlivých fáz U, V, W nameriame **fázové napätie** U_U, U_V, U_W . Medzi jednotlivými fázami nameriame **zdrúžené napätia** U_{UV}, U_{VW}, U_{UW} .

$$U_f = U_U = U_V = U_W$$

$$U_z = U_{UV} = U_{VW} = U_{UW}$$

Pre zdrúžené napätie platí: $U_z = \sqrt{3} \cdot U_f = 1,73 \cdot U_f$

Pri zapojení do hviezdy dodáva trojfázový zdroj 2 druhy napätí: napätie fázové U_f a napätie zdrúžené U_z .

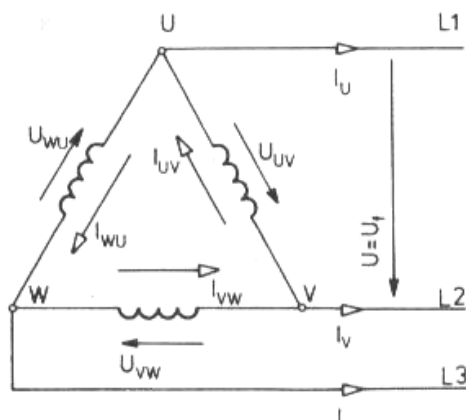


Obrázok 99

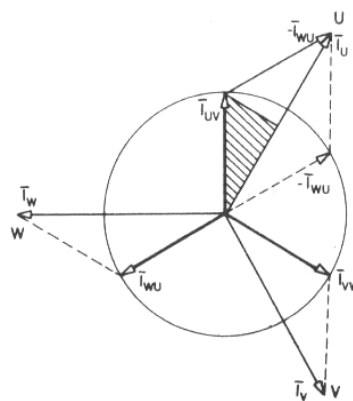
Pripojenie spotrebičov na generátor 3-fázového prúdu prostredníctvom 3-fázovej siete so stredným a ochranným vodičom .

12.3. Zapojenie trojfázovej sústavy do trojuholníka

Ak spojíme koniec každej fázy vždy so začiatkom nasledujúcej fázy, dostaneme zapojenie do trojuholníka. Zapojenie do trojuholníka tvorí 3-vodičovú sústavu. Pri tomto zapojení máme len jeden druh napätia t.j. fázové napätie sa rovná napätiu združenému $U_f = U_z$.



Zapojenie do trojuholníka



Obrázok 100

Fázorový diagram prúdov

Fázové vodiče $L1$, $L2$ a $L3$ sú pripojené na svorky generátora U , V , W , ktoré spájajú vždy dve fázy. Prúd, ktorý preteká fázovými vodičmi I_U , I_V , I_W je **združený prúd**.

$$I_z = \sqrt{3} \cdot I_f = 1,73 I_f$$

12.4. Zat'azenia v trojfázových sústavách

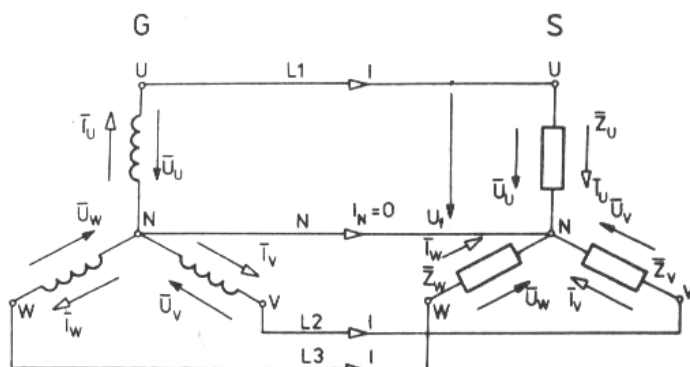
12.4.1. Zapojenie do hviezdy - súmerné zat'azenie

Súmerné trojfázové zat'azenie s 3-vodičovým alebo 4-vodičovým zapojením je rovnaké, lebo medzi uzlovým bodom zdroja a uzlovým bodom spotrebiča nie je napätie a preto nulovým vodičom nepreteká prúd. Vzniká napr. pripojením 3-fázových motorov.

Trojfázový spotrebič vyvolá súmerné zat'azenie generátora. Prúdy vo všetkých fázach generátora sú rovnaké. Prúdy tvoria súmernú sústavu a ich vektorový súčet sa rovná nule.

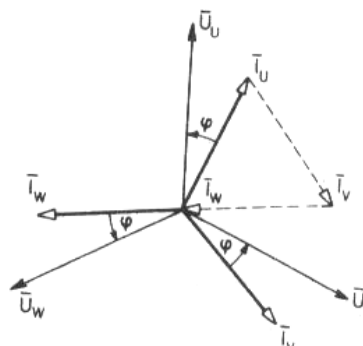
$$I_U + I_V + I_W = 0$$

Stredným vodičom netečie žiadny prúd $I_N = 0$.



Súmerné zat'azenie 3-fázovej sústavy

Obrázok 101

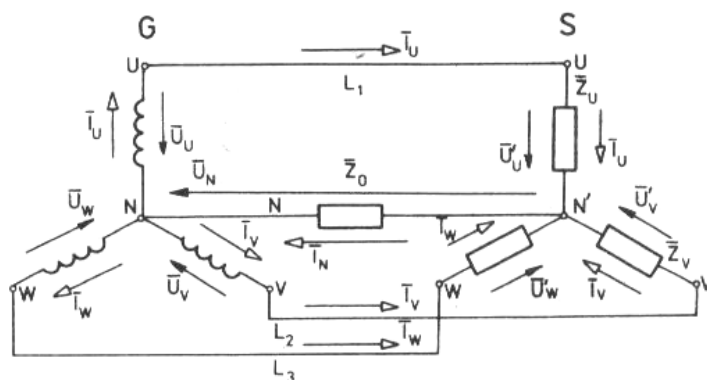


Fázorový diagram súmerného zat'azenia

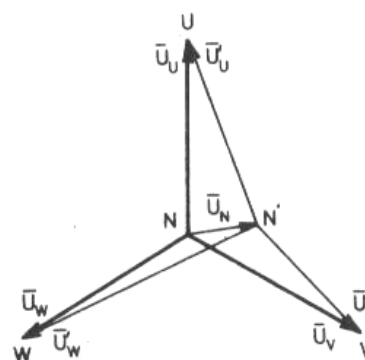
3-fázový spotrebič nemusí byť pripojený s 3-fázovým zdrojom spojený 4-vodičovou sieťou, stačí len 3-vodičová sieť. Tento systém sa používa na diaľkový prenos energie pri vysokom a veľmi vysokom napätí. V bežných rozvodných sieťach sa robí 4-vodičový rozvod, pre prípad porušenia symetrie pri poruche (prerušenie jednej fázy, skrat v jednej fáze spotrebiča)

12.4.2. Zapojenie do hviezd - nesúmerné zaťaženie

Nie vždy je možné, aby bolo zaťaženie súmerné. Následkom nesymetrie spotrebiča vznikne medzi nulovým bodom súmerného generátora N a nulovým bodom nesúmerného spotrebiča N' napätie U_N . Napätie na jednej alebo dvoch fázach spotrebiča sa zväčší, na zostávajúcej fáze zase zmenší. Vzniká nesymetria napätí. Tento stav nesymetrie siete je nežiaduci jav, preto sa snažíme zaťažovať 3-fázovú sieť rovnomerne. **Pri nesúmernom zaťažení tečie stredným vodičom prúd I_N .** Stredný vodič sa nesmie pri nesúmernom zaťažení prerušiť. Ak stredný vodič používame súčasne aj na ochranu proti úrazom el. prúdom, označujeme ho PEN. V tomto prípade ho nesmieme nikdy prerušiť, prípadne zaradiť do jeho obvodu poistku alebo spínač.



Nesúmerné zaťaženie 3-fázovej sústavy



Obrázok 102

Diagram napätí obvodu

12.5. Výkon v trojfázovej sústave

Ak bude 3-fázová sústava súmerne zaťažená, bude celkový výkon sústavy daný súčinom počtu fáz a výkonu jednej fázy.

Činný výkon $P = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \cos j = \frac{3 \cdot U}{\sqrt{3}} I \cos j = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos j \quad (\text{W})$

Jalový výkon $Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin j \quad (\text{var})$

Zdanlivý výkon $S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (\text{VA})$

12.6. Práca trojfázového prúdu

Činná elektrická práca trojfázového prúdu $A = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot t \cdot \cos j$

Jalová elektrická práca trojfázového prúdu $A_j = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot t \cdot \sin j$

Zdanlivá elektrická práca trojfázového prúdu $A_z = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot t$

Jednotky elektrickej práce

- pre činnú prácu (A) = 1 joule = J = 1 wattsekunda = 1 Ws
- pre jalovú prácu (A_j) = 1 varsekunda = 1 var.s
- pre zdanlivú prácu (A_z) = 1 voltampérsekunda = 1 VAs

Zdanlivá elektrická práca a zdanlivý výkon je potrebný pri návrhu a výpočte elektrických strojov. Elektrická práca sa meria činnými a jalovými elektromermi.

Kontrolné otázky:

1. Popíš výhody viacfázových sústav.
2. Nakresli časový a fázorový diagram napätí.
3. Nakresli zapojenie generátora 3-fázového prúdu zapojeného do hviezdy a trojuholníka.
4. Vymenuj a nakresli jednotlivé druhy zaťaženia 3-fázovej sústavy.
5. Napíš vzťah pre činný výkon 3-fázovej súmerne zaťaženej sústavy.
6. Napíš vzťah pre jalový a zdanlivý výkon 3-fázovej sústavy.
7. Charakterizuj elektrickú prácu v 3-fázovej sústave.

Pr.1. Určte odpor vinutia jednej fázy trojfázového generátora, zapojeného do hviezdy, ak je jeho združené napätie 320V a sieťový prúd 5A.

$$U_f = \frac{U_z}{\sqrt{3}} = \frac{320}{\sqrt{3}} = 185V \quad I_f = I_z = 5A \quad R_f = \frac{U_f}{I_f} = \frac{185}{5} = 37\Omega$$

Pr.2. Aký veľký je odpor vinutia v jednej fáze trojfázového spotrebiča, zapojeného do trojuholníka, na napätie 3 x 400V, ak prechádza prírodnými vodičmi prúd 6A? Ako sa zmení napätie a prúd, ak prepojíme vinutie z trojuholníka do hviezdy?

Trojuholník

$$U_f = U_z = 400V \quad I_f = \frac{I_z}{\sqrt{3}} = \frac{6}{\sqrt{3}} = 3,47A \quad R_f = \frac{U_f}{I_f} = \frac{400}{3,47} = 115,3\Omega$$

Hviezda

$$U_f = \frac{U_z}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 230V \quad I_f = \frac{U_f}{R_f} = \frac{230}{115,3} = 1,99A$$

Pr.3. Určte činný, jalový a zdanlivý výkon trojfázového generátora, ktorý dodáva pri združenom napätí 400V prúd 160A. Ide o súmerné zaťaženie pri účinníku $\cos\varphi = 0,6$.

$$\cos\varphi = 0,6 \quad \sin\varphi = 0,8$$

$$\text{Činný výkon} \quad P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos j = 1,73 \cdot 400 \cdot 160 \cdot 0,6 = 66,4kW$$

$$\text{Jalový výkon} \quad Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin j = 1,73 \cdot 400 \cdot 160 \cdot 0,8 = 88,6kvar$$

$$\text{Zdanlivý výkon} \quad S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = 1,73 \cdot 400 \cdot 160 = 110,7kVA$$

Pr.4. Aký veľký sieťový a fázový prúd odoberá trojfázový elektromotor v zapojení do trojuholníka zo siete 3x400V, ak jeho výkon je $P_2=15kW$, účinnosť 90% a účinník $\cos\varphi=0,8$?

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{15}{0,9} = 16,67kW$$

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos j = 1,73 \cdot 400 \cdot 160 \cdot 0,6 = 66,4kW \quad \text{z toho pre } I_z \text{ platí:}$$

$$I_z = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos j} = \frac{16,67 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 3800 \cdot 0,8} = \frac{16,67 \cdot 10^3}{5,26 \cdot 10^2} = 31,7A$$

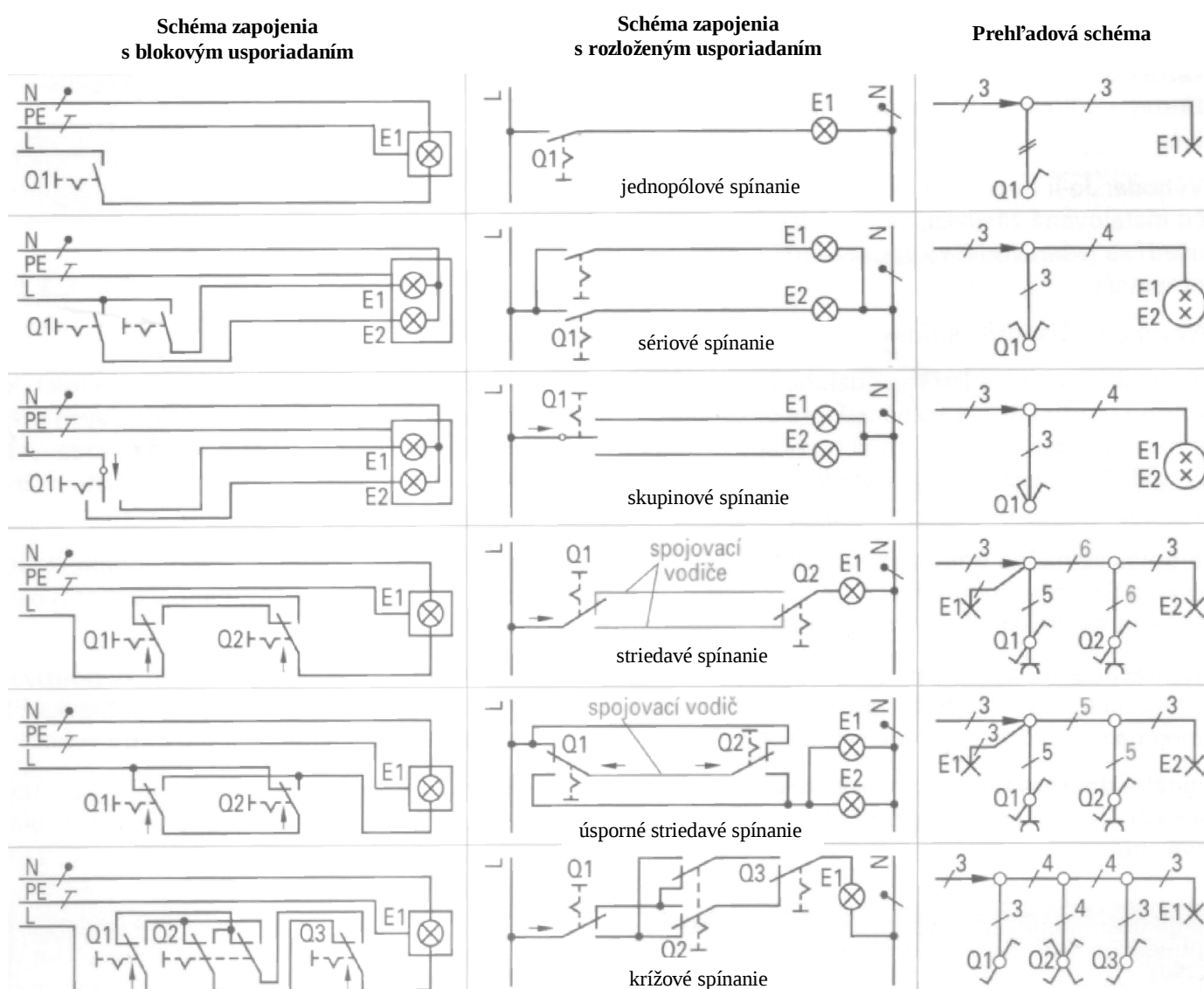
$$I_f = \frac{I_z}{\sqrt{3}} = \frac{31,7}{\sqrt{3}} = 18,32A$$

13. Elektrické prístroje

13.1. Funkcia spínacích a prepínacích prístrojov

Spínacie (prepínacie) prístroje slúžia na dočasné pripojenie spotrebiča na zdroj napätia. Základ tvorí pevný a pohyblivý kontakt. Na pohyblivý kontakt sa prenáša sila pomocnej pružiny, ktorá zabezpečuje skokovú zmenu polohy a tým zabraňuje vzniku elektrického oblúka, resp. jeho roztrhnutie. Spínacie prístroje pre veľké prúdy sú vybavené zhášacími komorami na účinné potlačenie elektrického oblúka. Dotyková plocha pevného a pohyblivého kontaktu má zabezpečiť malý prechodový odpor, odolnosť voči oxidácii, odolnosť voči opal'ovaniu el. oblúkom, má zabrániť ich zlepeniu pri pôsobení nadprúdu. Každý spínací prístroj je konštruovaný na určité nominálne napätie a prúd.

13.2. Kombinácie jednopólových domových spínačov



Obrázok 103

Jednopolové spínanie: Ak má byť spotrebič ovládaný z jedného miesta, používa sa jednopolové ovládanie. Fázový vodič sa musí viesť cez vypínač a v prípade svietidla musí viesť na kontakt päťice žiarovky. Nulový vodič je vedený priamo.

Sériové spínanie: Ak majú byť z jedného miesta ovládané nezávisle na sebe dve skupiny žiaroviek (spotrebičov), použije sa sériové spínanie pomocou dvojitého sériového spínača.

Skupinové spínanie: K alternatívnemu zapínaniu jedného zo dvoch spotrebičov sa používa skupinový prepínač.

Striedavé spínanie: Umožňuje ovládanie spotrebiča z dvoch miest. K tomuto účelu sa použijú dva striedavé prepínače.

Úsporné striedavé spínanie: Ovládanie spotrebiča z dvoch rôznych miest, ale zapojenie vyžaduje len jeden spojovací vodič. Toto zapojenie sa nedá rozšíriť na krížové spínanie.

Krížové spínanie: Umožňuje spínanie spotrebiča z troch alebo viacerých miest.

13.3. Stykače

Stykač je spínací prístroj s jedinou kľudovou polohou, a to v rozpojenom stave. V pozícii zopnutia nemá mechanickú aretáciu a musí byť pod prúdom – nearetovaný elektromagnetický spínač. Rozlišujeme výkonové a riadiace stykače.

Výkonové stykače majú tri hlavné prúdové kontakty a sú vybavené riadiacimi (pomocnými) kontaktmi. Hlavné prúdové kontakty pripájajú fázové vodiče ku spotrebiču. Sú v oddelených spínacích komorách, ktoré sú vybavené zariadením na zhášanie elektrického oblúku. Riadiace kontakty nemajú zhášacie zariadenie a môžu sa používať len na spínanie malých prúdov riadiacich a informačných signálov.

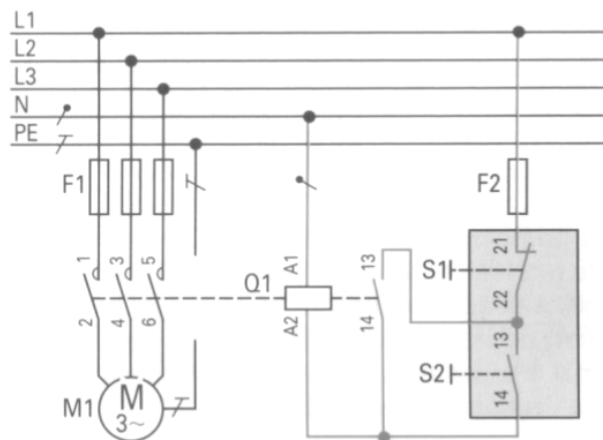
Označovanie kontaktov:

Hlavné prúdové kontakty sa označujú jednomiestnymi číslami. Ku svorkám s nepárnymi číslami sa pripojuje sieť 1/L1, 3/L2, 5/L3 a ku svorkám s párnymi číslami sa pripojuje spotrebič 2/T1, 4/T2, 6/T3.

Riadiace kontakty sa označujú dvojmiestnymi číslami. Na prvom mieste je poradové číslo, na druhom mieste je funkčná číslica. (1-2 riadiaci rozpínací kontakt, napr. Q1:21-22, 3-4 riadiaci spínací kontakt, napr. Q1: 13-14)

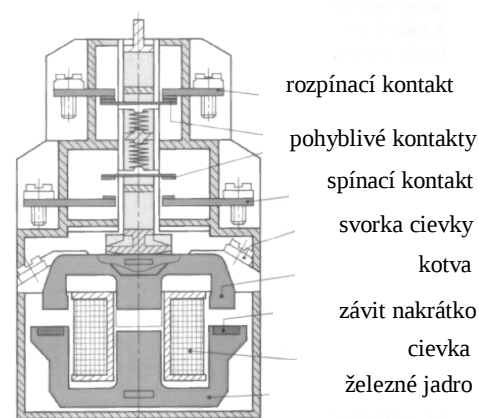
Identifikačné číslo stykača udáva druh a počet riadiacich kontaktov. (31 – tri spínacie, jeden rozpínací kontakt, 22 – dva spínacie, dva rozpínacie kontakty).

Pridržovací kontakt je spínací kontakt zapojený paralelne k zapínaciemu tlačidlu.



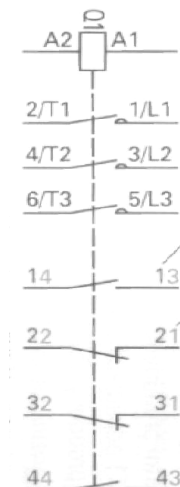
Obrázok 105

Ovládanie stykača s pridržiacim kontaktom



Rez stykačom

Obrázok 104

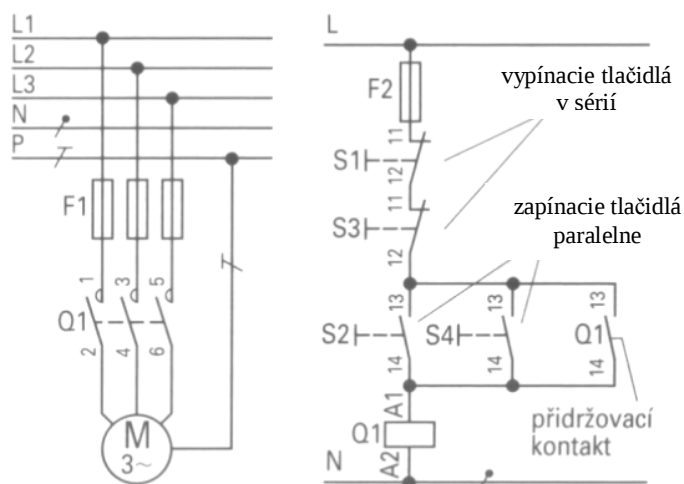


Označovanie kontaktov

Obrázok 106

Ovládanie z dvoch miest.

V zapojení stykača s aretovanou polohou zopnutia pri ovládaní z dvoch miest sú všetky vypínacie tlačidlá zapojené v sérii a všetky zapínacie tlačidlá zapojené paralelne.

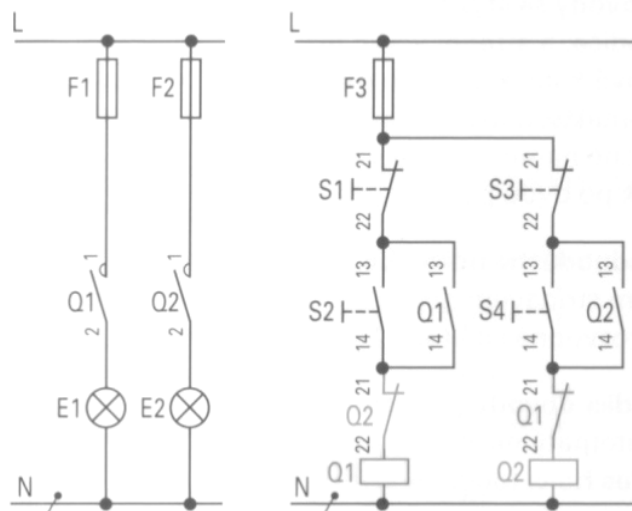


Ovládanie stykača z dvoch rôznych miest

Obrázok 107

Blokovanie - ak je zapnutý jeden stykač, nie je možné zapnúť druhý.

Popis činnosti: Ovládacej cievke Q1 prvého stykača sa predradí pomocný rozpínací kontakt Q2 druhého stykača a cievke Q2 druhého stykača pomocný rozpínací kontakt Q1 prvého stykača.



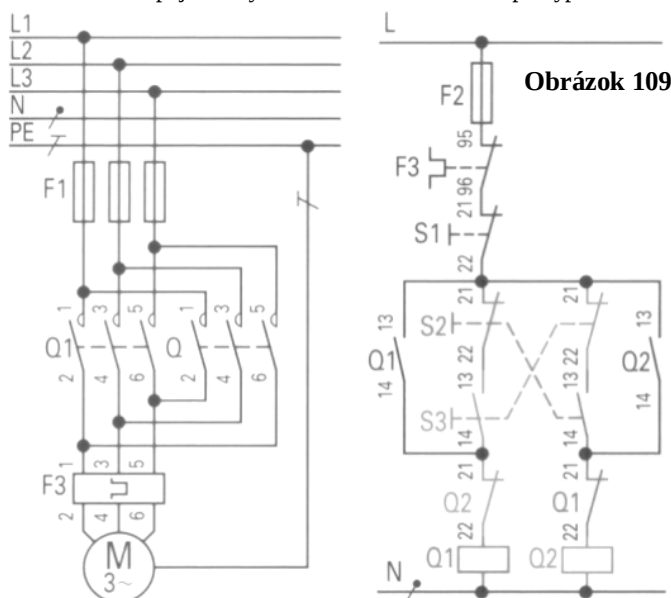
Obrázok 108

Vzájomné blokovanie osvetľovacích obvodov

Reverzné zapojenie stykačov (pre reverzáciu otáčok asynchrónneho motora). Smer otáčania trojfázového asynchrónneho motora sa zmení vzájomným prehodením dvoch fázových vodičov na svorkovnici. Pretože súčasné prepnutie oboch stykačov by mohlo viesť ku skratu medzi fázami, majú riadiace obvody vzájomné blokovanie.

Popis činnosti: Pri prepínaní smeru otáčania pomocou vypnutia jedného smeru, premostia pridržovacie kontakty Q1: 13-14 a Q2: 13-14 tlačidlá S2 a S3. Motor sa až po odpojení (tlačidlom S1) môže pripojiť na prívod s poradím fáz pre opačný smer otáčania.

Reverzné zapojenie stykačov - reverzácia otáčok po vypnutí

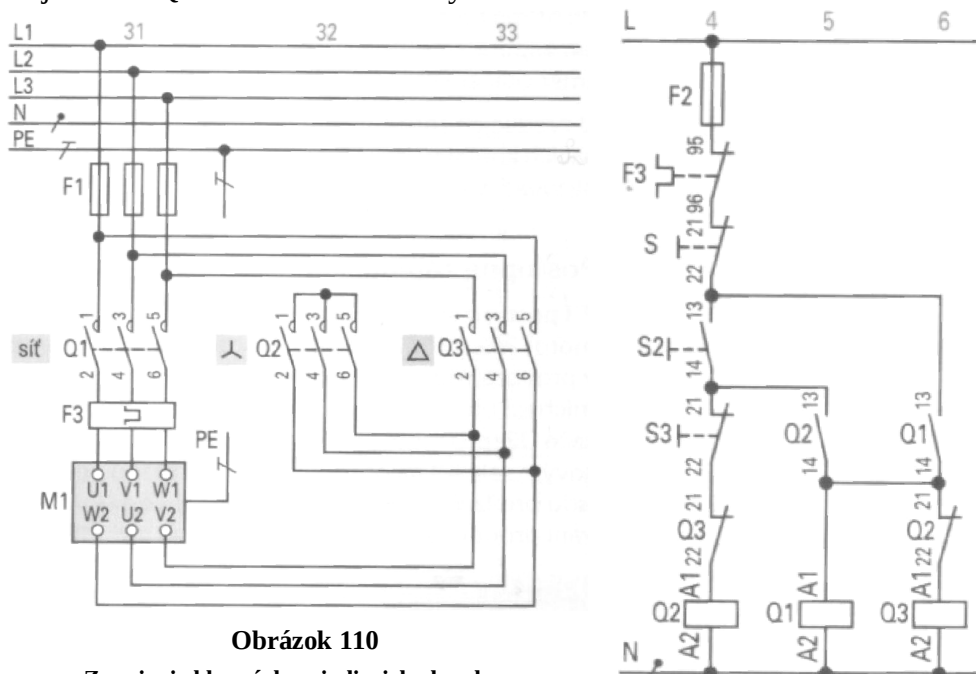


Obrázok 109

Prepínanie hviezda – trojuholník

Prepínanie zapojenia hviezda – trojuholník satorového vinutia asynchrónneho motora je postupným zapínaním. Rozbeh motora v zapojení do hviezdy znižuje rozbehový prúd motora. K prepínaniu hviezda – trojuholník sú potrebné tri stykače.

Popis činnosti: Pri stlačení tlačidla S2 zopne stykač – hviezda Q2 (prúdová vetva 4) a zapne tak svoj spínací kontakt 13-14 (prúdová vetva 5). Tým sa zapne sieťový stykač Q1. Rozpínací kontakt 21-22 stykača Q2 (prúdová vetva 6) zabráni súčasnému zopnutiu stykača – trojuholník Q3. Spínací kontakt 13-14 stykača Q1 drží v tejto zopnutej pozícii pod napätím sieťový stykač Q1 a stykač – hviezda Q2. Akonáhle dosiahne motor menovité otáčky, zopne sa tlačidlo S3. To preruší prúdový obvod budenia stykača – hviezda Q2, ktorý odpadne a vo svojej kľudovej polohe zopne svoj rozpínací kontakt Q2: 21-22, čím pripojí stykač – trojuholník Q3 na napätie. Rozpínací kontakt Q3: 21-22 odblokuje stykač Q2 proti zopnutiu pri súčasnom zopnutí stykača – trojuholník Q3. Tlačidlom S sa celý riadiaci obvod odpojí.



Obrázok 110

Zapojenie hlavných a riadiacich obvodov pre prepínanie hviezda - trojuholník

Označenie prístrojov:

- F1 trojpólová motorová poistka
- F2 poistka ovládacieho obvodu
- F3 teplotné nadprúdové relé
- Q1 sieťový stykač
- Q2 stykač – hviezda
- Q3 stykač – trojuholník
- M1 trojfázový motor
- S tlačidlo vypnutia
- S2 tlačidlo rozbehu
- S3 tlačidlo zapojenia do trojuholníka

Tabuľka kontaktov:

- H: hlavný prúdový kont.
- S: spínací riadiaci kont.
- R: rozpínací riadiaci kont.

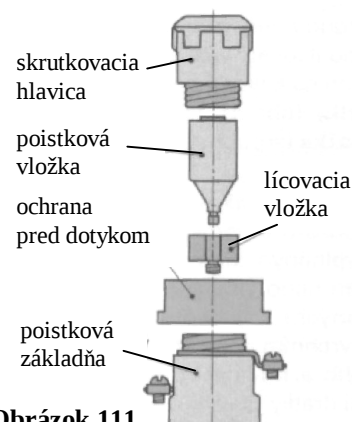
H	S	R	H	S	R	H	S	R
32	5	6	31	6		33		4
32			31			33		
32			31			33		

13.4. Ochrana elektrických vedení a spotřebičů

13.4.1. Tavné poistky

Prechodom veľkého prúdu obvodom sa tento zahrieva a môže vzniknúť požiar. Príčinou veľkého prúdu môže byť preťaženie alebo skrat na spotrebiči alebo vedení. Poistky obsahujú drôt malého prierezu, ktorý sa prechodom veľkého prúdu pretaví. Prúdový obvod sa preruší a zabráni sa tak možnému požiaru.

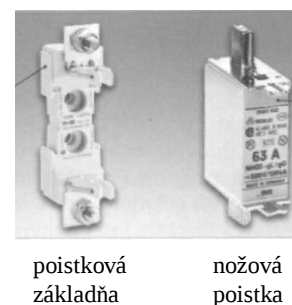
Systém tavnej poistky sa skladá z poistkovej základne, lícovacej vložky, tavnej poistky a skrutkovanej hlavice. Lícovacia vložka zabráňuje použitiu poistkových vložiek pre väčší menovitý prúd. Sú vyrábané pre prúdy od 2 do 100 A, pre napätia jednosmerné do 690 V, pre striedavé napätia do 440 V.



Obrázok 111

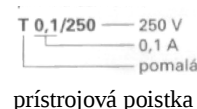
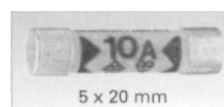
Nožové tavné poistky

Sú vyrábané pre nízko napäťové systémy s veľkým výkonom, vyrábajú sa v 6 rôznych veľkostiach pre menovité prúdy od 2 do 1250 A. Ich výmenu smie realizovať len kvalifikovaná osoba pomocou špeciálneho držiaku.



Prístrojové poistky

Používajú sa k ochrane elektrotechnických zariadení. Sú konštruované väčšinou pre napätie 250 V a pre prúdy od 0,032 A do 20 A. Rozlišujeme poistky super rýchle FF, rýchle F, stredne pomalé M, pomalé T a super pomalé TT.



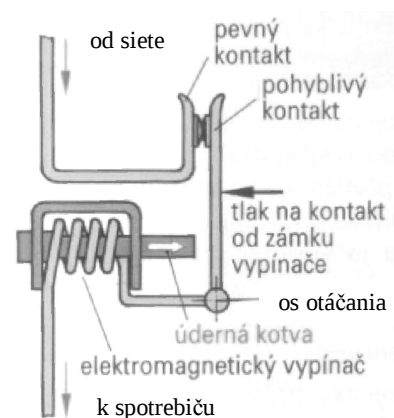
Obrázok 112

13.4.2. Istič

Istič - ochranný vypínač odpojí spotrebič alebo časť zariadenia samočinne od siete ak dôjde k preťaženiu alebo k prieniku nebezpečného dotykového napätia s následným skratom. Istič má vstavaný zapínací zámok s nezávislým vypínaním, t.j. istič nie je možné zapnúť, pokiaľ trvá porucha.

Istič s tepelnou spúšťou odpájajú s oneskorením. Tepelná spúšť obsahuje bimetalový pásik, ktorý zahrieva vodič ktorým prechádza prúd do spotrebiča. Zohriatím sa pásik deformuje, čo aktivuje spúšť, ktorá rozpojí kontakty ističa. Chránia zariadenie a vedenie len proti preťaženiu, nie voči skratu

Istič s elektromagnetickou spúšťou. Ak prechádza cievkou elektromagnetickej spúšte dostatočne veľký prúd, vtiahne cievka kotvu a bez oneskorenia uvoľní zámok vypínača, čím dôjde k odpojeniu spotrebiča. Elektromagnetické ističe sú rýchle a chránia zariadenie a vedenie voči skratu.



Princíp ističa s elmag. spúšťou

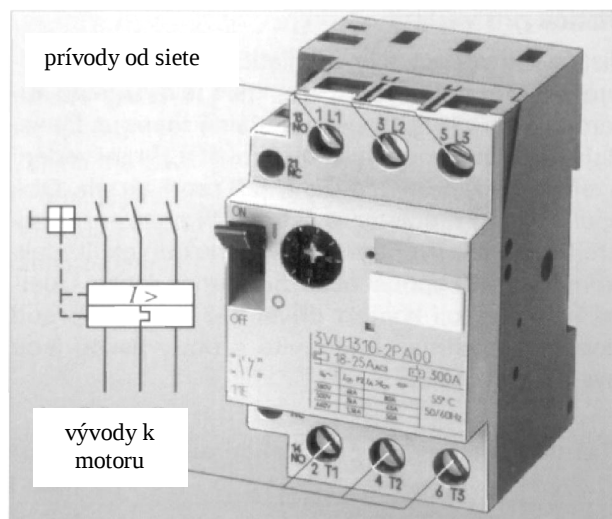
Obrázok 113

13.4.3. Motorové ističe

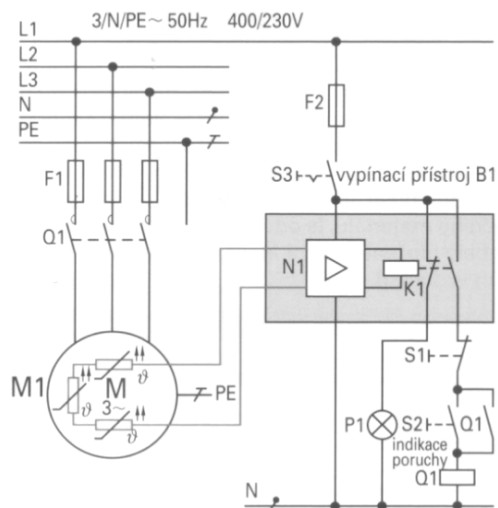
Motorové ističe sú vypínače k viacpólovému zapínaniu motorov a ich ochrane proti zničeniu pri ich zabrzdzení, alebo pri výpadku jednej fázy v trojfázovej sieti. Majú tepelnú spúšť k ochrane vinutia motora (ochrana pre preťažením) a väčšinou aj elektromagnetickú spúšť (ochrana voči skratu). Tepelná spúšť je nastavená na menovitý prúd motora. Sú vybavené nezávislým vypínaním.

Tepelná ochrana motora

Pomocou zapojenia s termistormi dôjde k odpojeniu motora, ak teplota vinutia prekročila prípustnú hodnotu (pri poruche chladenia, zadretie ložiska). Tepelná ochrana sa skladá z termistorových snímačov a vypínacieho prístroja.



Motorový istič



Obrázok 114

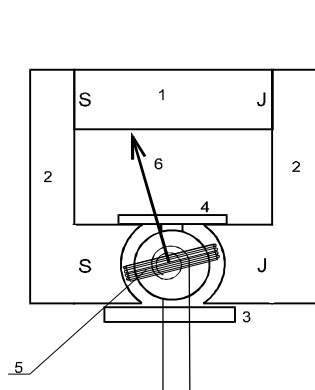
Tepelná ochrana motora

Kontrolné otázky

1. Vysvetli funkciu spínacích a prepínacích prístrojov.
2. Nakresli schému zapojenia jedнопólového, sériového, skupinového, striedavého a krížového spínania.
3. Vysvetli pojem stykač, hlavné prúdové kontakty a riadiace kontakty. Vysvetli spôsob ich označovania.
4. Vysvetli princíp činnosti zapojenia so stykačmi: ovládanie z dvoch miest, blokovanie, reverzné zapojenie stykačov, prepínanie hviezda - trojuholník
5. Vysvetli princíp činnosti tavnej poistky, ističa a tepelnej ochrany motora.

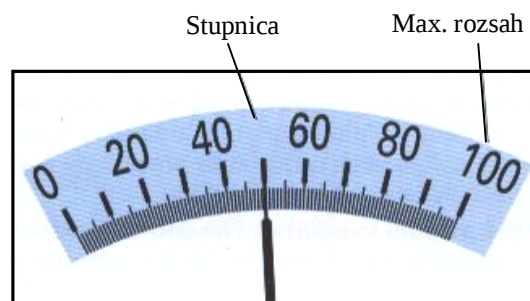
14. Základné termíny z techniky meracích prístrojov

14.1. Hlavné časti magneto–elektrického meracieho prístroja a jeho stupnica



Obrázok 116

1-permanentný magnet, 2 – polový nadstavec, 3- magnetický bočník, 4 – nemagnetický držiak, 5 – cievka, 6 - ručička



Obrázok 115

Konštanta meracieho prístroja k udáva počet jednotiek meranej veličiny pripadajúcej na jeden dielik stupnice.

$$k = \frac{\text{Rozsah}}{\text{Počet dielikov}}$$

Účel meracieho prístroja: odčítanie hodnoty: $A = k \cdot a$

$$\text{nastavenie hodnoty: } a = \frac{A}{k}$$

A – meraná veličina, k – konštanta meracieho prístroja, a – výchylka ručičky meracieho prístroja

Príklad: Vypočítajte nameranú hodnotu napätia ak rozsah meracieho prístroja je 10 V, stupnica má 100 dielikov a výchylka ručičky je 50. (obrázok 115)

$$k = \frac{10 \text{ V}}{100} = 0,1 \text{ V/D} \quad U = k \cdot a = 0,1 \text{ V/D} \cdot 50 \text{ D} = 5 \text{ V}$$

Citlivosť meracieho prístroja c udáva počet dielikov pripadajúcich na jednotku meranej veličiny

$$c = \frac{1}{k}$$

Príklad: Vypočítajte citlivosť meracieho prístroja z predchádzajúceho príkladu.

$$k = 0,1 \text{ V/D} \quad c = \frac{1}{k} = \frac{1}{0,1} = 10 \text{ D/V}$$

Presnosť meracieho prístroja

Presnosť meracieho prístroja udáva dovolenú chybu merania. Presnosť meracieho prístroja úzko súvisí s triedou presnosti prístroja. Poznáme sedem tried presnosti:

0,1 – mimoriadne presné, 0,2 – veľmi presné, 0,5 – presné, 1 – montážne a laboratórne, 1,5 – presné prenosné, 2,5 – rozvádzačové, 5 – pomocné

Príklad: Rozsah meracieho prístroja je 240 V a trieda presnosti je 1. Aká je tolerancia?

$$\frac{240 \cdot 1}{100} = \pm 2,4 \text{ V}$$

14.2. Chyba meracieho prístroja

Pri výpočte chyby (tolerancie) sa zohľadňuje len chyba ukazovateľa. Chyba ukazovateľa F sa nazýva prípustná absolútna chyba a je daná triedou presnosti p meracieho prístroja. Pri $p=1,5$ sa môže správna hodnota líšiť od nameranej hodnoty M maximálne o 1,5 % rozsahu E , na ktorom sa realizuje meranie. Trieda presnosti prístroja je uvedená na prístroji.

Absolútna chyba: $F = \frac{p \cdot E}{100}$ p – trieda presnosti, E – horná medza rozsahu

Relatívna chyba: $f = \frac{F \cdot 100\%}{M}$ F – absolútna chyba, M – nameraná hodnota

Horná medza skutočnej hodnoty w_H : $w_H = M + F$

Dolná medza skutočnej hodnoty: w_D $w_D = M - F$

Poznámka. Relatívna chyba f je pri nameranej hodnote uprostred stupnice dvojnásobná, ako pri meraní hodnoty na konci stupnice. Z tohto dôvodu je treba **voliť merací rozsah tak, aby meraná hodnota ležala čo najbližšie horného konca stupnice**.

Príklad:

Vypočítajte pre prístroj s uvedenou stupnicou, uvedenou hodnotou rozsahu a znázornenou nameranou hodnotou konštantu stupnice, nameranú hodnotu, dolnú a hornú medzu skutočnej hodnoty.

Nameraná hodnota

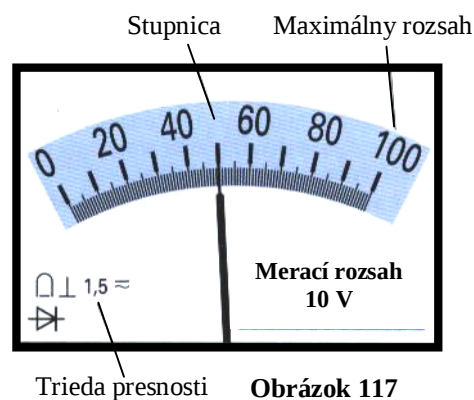
$$k = \frac{10 \text{ V}}{100} = 0,1 \text{ V/D} \quad U = k \cdot a = 0,1 \cdot 50 = 5 \text{ V}$$

Absolútna chyba $F = \frac{p \cdot E}{100} = \frac{1,5 \cdot 10 \text{ V}}{100} = 0,15 \text{ V}$

Relatívna chyba $f = \frac{F \cdot 100\%}{M} = \frac{0,15 \cdot 100\%}{5 \text{ V}} = 3\%$

Horná medza skutočnej hodnoty $w_H = M + F = 5 \text{ V} + 0,15 \text{ V} = 5,15 \text{ V}$

Dolná medza skutočnej hodnoty $w_D = M - F = 5 \text{ V} - 0,15 \text{ V} = 4,85 \text{ V}$



Obrázok 117

Vnútorý odpor meracieho prístroja

Postup pri určení vnútorného odporu voltmetra.

Vnútorý odpor sa udáva v Ω/V . Napr.: 500 Ω/V , 1 000 Ω/V , 5 000 Ω/V , 10 000 Ω/V . Čím je väčší vnútorný odpor voltmetra, tým menší prúd ním preteká.

$$R_v = \frac{X \Omega \cdot \text{Rozsah}}{1 \text{ V}}$$

Postupy pri určení vnútorného odporu ampérmetra

Vnútorý odpor ampérmetra vypočítame zo vzťahu: $R_A = \frac{\Delta U_A}{I}$, alebo vnútorný odpor R_A je uvedený priamo na meracom prístroji

Spotreba meracieho prístroja

Spotrebu voltmetra vypočítame zo vzťahu: $\Delta P_V = \frac{U^2}{R_V}$

Príklad: Vypočítajte spotrebu voltmetra, ak $U = 600V$ a $R_V = 20k\Omega \cdot V^{-1}$.

$$\Delta P_V = \frac{U^2}{R_V} = \frac{600^2}{20\,000} = 18W$$

Spotrebu ampérmetra vypočítame zo vzťahu: $\Delta P_A = I^2 \cdot R_A$

Príklad: Vypočítajte spotrebu ampérmetra, ak $I = 60mA$ a $R_A = 20\Omega$

$$\Delta P_A = I^2 \cdot R_A = 0,06^2 \cdot 20 = 0,072W$$

14.3. Značky meracieho prístroja

A) Poloha



vodorovná



zvislá



naklonená pod uhlom

B) Systém



magneto–elektrický



magneto–elektrický s usmernením



magneto–elektrický pomerový



elektromagnetický



elektrodynamický



elektrostatický



vybračný



indukčný



tepelný s drôtom

C) Druh prúdu



jednosmerný



striedavý

D) Trieda presnosti

0,1 až 5

E) Skúšobné napätie



2 kV prierazné

14.4. Digitálne meracie prístroje

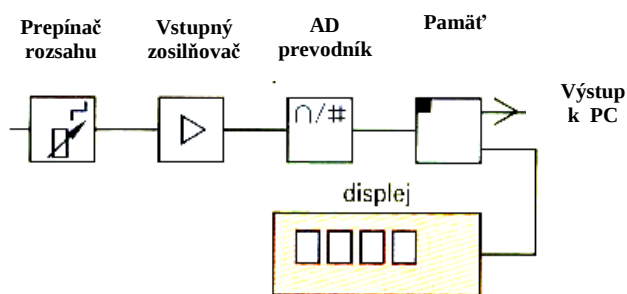
Digitálne multimetre prevádzajú analógové hodnoty meraných veličín do číslicovej podoby. Obsahujú **vstupný merací zosilňovač** s veľkým vstupným odporom, ktorý by mal byť pre meranie jednosmerných napätí najmenej $10\text{M}\Omega$. Ďalej **digitálno – analógový (AD) prevodník**, ktorý spracováva len napätie. Pre meranie prúdu je treba merací prevodník, ktorý je tvorený presnými odpormi, na ktorých vytvára meraný prúd úbytok napätia. Pre meranie odporu potrebujeme okrem odporového deliča ešte presný zdroj napätia, ktorý na meranom odpore vytvára merateľný prúd.

Typický AD prevodník prevádza meranie napätia na meranie času pomocou čítača impulzov. Merané napätie je opakovane porovnávané na komparátore s napätím pílovitého priebehu. Pri nulovom napätí porovnávacieho pílovitého napätia sa začína počítanie časových impulzov a končí, ak rastúce pílovité napätie dosiahne úrovne meraného napätia. Počet impulzov potom odpovedá meranému napätiu.

Zobrazovacia jednotka (displej) zobrazuje číslce 0 až 9 pomocou 7 segmentového (A), 14 segmentového (B) alebo maticového displeja (C). Ak displej pre prvé číslo umožňuje zobrazovať len jednotku, hovoríme len o polmiestnom displeji.

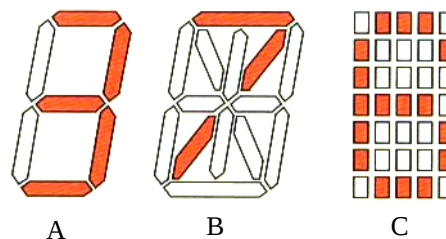
3-miestny display : čísla:000 až 999

3½-miestny displej: čísla: 000 až 1999



Hlavné časti digitálneho meracieho prístroja

Typy zobrazovacích jednotiek



Obrázok 118

14.5. Chyba digitálneho meracieho prístroja.

Základná chyba prístroja je daná triedou presnosti k , určujúca relatívnu chybu nameranej hodnoty. K tejto chybe sa pripočíta chyba určená chybou (rozlíšiteľnosťou) meracieho prístroja I a možnou odchýlkou (neistotou) číslice na poslednom mieste z .

Chyba digitálneho meracieho prístroja
$$F = \frac{p \cdot M}{100} + z \cdot l$$

F – prípustná absolútna chyba, M – meraná hodnota zobrazená na displeji, p – trieda presnosti (0,1-5%), z – odchýlka číslice na poslednom mieste (± 1 až ± 5), l – rozlíšiteľnosť digitálneho displeja

Príklad: Digitálny voltmeter s 3½ miestnym displejom, v triede presnosti 0,2 a prípustnou odchýlkou na poslednom mieste $z = \pm 3$ digity (jednotky) ukazuje napätie 100,0V. Aké je rozlíšenie a prípustná absolútna chyba F ?

Vzhľadom k zobrazenej hodnote 100,0V je rozlíšenie $l = 0,1\text{ V}$

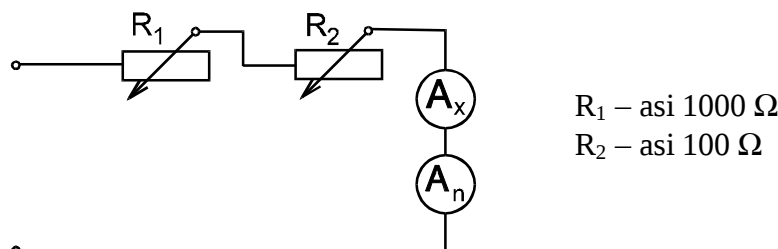
$$\text{Absolútna chyba } F = \frac{p \cdot M}{100} + z \cdot l = \frac{0,2 \cdot 100,0\text{V}}{100} + 3 \cdot 0,1\text{V} = 0,5\text{V}$$

15. Návod na merania

15.1. Regulácia prúdu - kontrola ampérmetra

Úloha: Prekontrolujte merací prístroj na danom rozsahu a meraním zistite, či vyhovuje udávanej triede presnosti.

Schéma zapojenia 1:



Na presnú reguláciu prúdu sa používa zapojenie s dvomi premenlivými odporami, pričom $R_1 = 10 R_2$. Po dodržaní tejto podmienky R_1 slúži na hrubú reguláciu prúdu a R_2 na jemnú reguláciu prúdu.

Tabuľka 1:

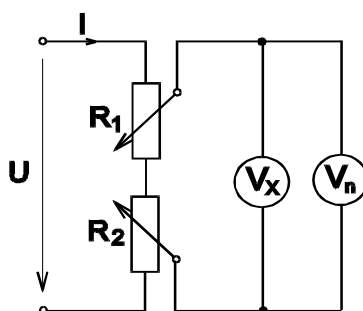
Č. m.	A_x			A_n			DI [mA]	Da [d]
	a_x [d]	k_x	I_x [mA]	a_n [d]	k_n	I_n [mA]		

$$\Delta I = I_x - I_n \quad \Delta a = \frac{\Delta I}{k_x} \quad I = [a_x - (\pm \Delta a)] k_x$$

15.2. Regulácia napätia - kontrola voltmetra

Úloha: Prekontrolujte merací prístroj na danom rozsahu a meraním zistite, či vyhovuje udávanej triede presnosti.

Schéma zapojenia 2:



Na presnú reguláciu napätia sa používa zapojenie s dvomi potenciometrami, pričom $R_1 = 10 R_2$. Po dodržaní tejto podmienky R_1 slúži na hrubú reguláciu napätia a R_2 na jemnú reguláciu napätia.

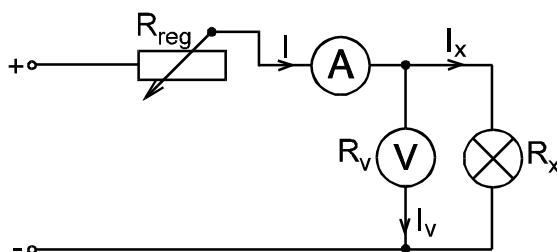
Tabuľka 2:

Č. m.	V_x			V_n			DU [V]	Da [d]
	a_x [d]	k_x	U_x [V]	a_n [d]	k_n	U_n [V]		

$$\Delta U = U_x - U_n \quad \Delta a = \frac{\Delta U}{k_x} \quad U = [a_x - (\pm \Delta a)] k_x$$

15.3. Meranie malých odporov voltampérovou metódou (Ohmova metóda – voltmeter je za ampérmetrom)

Schéma zapojenia 3:



Voltmeter v tomto zapojení udáva skutočnú hodnotu napätia na meranom odpore R_X .

$$U_V = U_X$$

Prúd udávaný ampérmetrom sa skladá zo súčtu prúdu pretekajúceho meraným odporom a prúdu pretekajúceho voltmetrom.

$$I_A = I_X + I_V$$

Hodnota meraného odporu je

$$R_X = \frac{U_X}{I_X} = \frac{U_X}{I_A - I_V} = \frac{U_X}{I_A - \frac{U_V}{R_V}}$$

Toto zapojenie je vhodné pre meranie menších odporov v rozsahu od $1\ \Omega$ do $1\ \text{k}\Omega$, nakoľko v týchto prípadoch býva vnútorný odpor voltmetra $R_V \gg R_X$ a chyby metódy sú zanedbateľné. Výhodou metódy je, že odpor voltmetra je uvedený na štítku stupnice. Pre výpočet korekcie ho netreba merať a dopúšťať sa ďalšej chyby. Metóda je vhodná aj na meranie nelineárnych odporov.

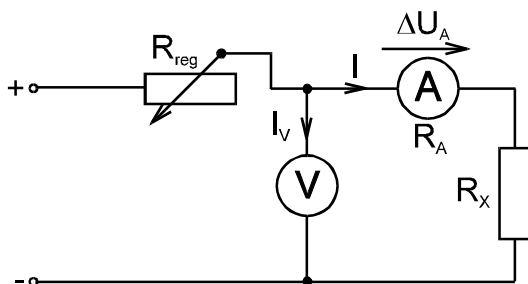
Tabuľka 3:

Č.m.	$U\ [\text{V}]$	$I\ [\text{mA}]$	$R_V\ [\text{k}\Omega]$	$I_V\ [\text{mA}]$	$R_X\ [\Omega]$	$P_X\ [\text{W}]$

$$P_X = U \cdot (I - I_V)$$

15.4. Meranie veľkých odporov voltampérovou metódou (Ohmova metóda – voltmeter je pred ampérmetrom)

Schéma zapojenia 4:



Napätie udávané voltmetrom je súčtom úbytku napätia na meranom odpore U_X a na vnútornom odpore ampérmetra R_A .

$$U_V = U_X + U_A.$$

Ampérmeter v tomto zapojení udáva skutočnú hodnotu prúdu pretekajúceho meraným odporom.

$$I_A = I_X$$

Hodnota meraného odporu je

$$R_X = \frac{U_X}{I_X} = \frac{U_V - U_A}{I_X} = \frac{U_V}{I_A} - R_A$$

Toto zapojenie je vhodné pre meranie väčších odporov v rozsahu od 1 kΩ do 1 MΩ, kde $R_A \ll R_X$.

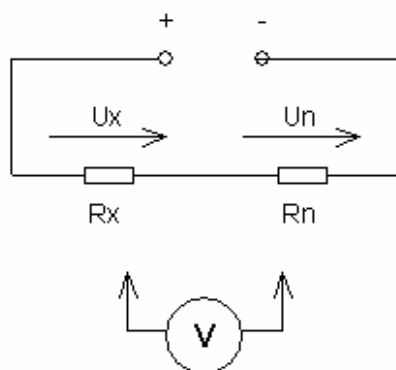
Tabuľka 4:

Č.m.	$U [V]$	$I [mA]$	$R_A [W]$	$R_X [kW]$	$P_X [W]$

$$P_X = (U - I \cdot R_A) \cdot I$$

15.5. Meranie odporov porovnávaním napätia – meranie malých odporov

Schéma zapojenia 5:



Napätie na rezistoroch v sériovom zapojení sa rozdelí v pomere ich odporov.

$$\frac{R_X}{R_N} = \frac{U_X}{U_N} \Rightarrow R_X = R_N \cdot \frac{U_X}{U_N}$$

R_N je odpor známej veľkosti, R_X je odpor neznámej veľkosti. Napätie U_X a U_N odmeriame voltmetrom. Ak meriame napätia U_X a U_N na tom istom rozsahu, teda s tou istou konštantou, potom platí:

$$R_X = R_N \cdot \frac{U_X}{U_N} = R_N \cdot \frac{K_V \cdot a_X}{K_V \cdot a_N} = R_N \cdot \frac{a_X}{a_N}$$

Táto metóda je vhodná len pre malé odpory (oveľa menšie ako odpor voltmetra), inak sa pripojením voltmetra poruší rozdelenie napätí.

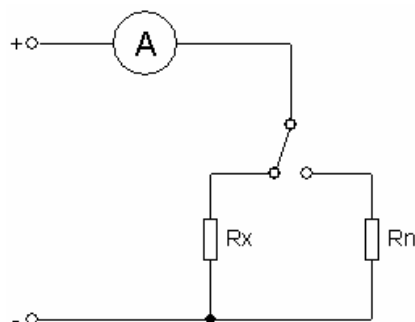
Ak použijeme namiesto normálu R_N odporovú dekádu, môžeme postupovať tak, že meníme R_N tak dlho, až $U_X = U_N$. Potom je zrejmé, že $R_X = R_N$, tj. neznámy odpor odčítame z dekády. V tomto prípade je metóda vhodná aj pre väčšie odpory. Tento variant porovnávej metódy sa nazýva substitučná metóda.

Tabuľka 5:

Č.m.	$R_N [\Omega]$	$U_N [V]$	$U_X [V]$	$R_X [W]$	$R_X [W]$ odmerané

15.6. Meranie odporov porovnávaním prúdu – meranie veľkých odporov

Schéma zapojenia 6:



Zo zapojenia vidno, že neznámy rezistor R_X aj odporový normál R_N sú zapojené postupne na to isté napätie. Prúdy na rezistoroch sa rozdelia v pomere ich odporov.

$$R_X \cdot I_X = R_N \cdot I_N \Rightarrow R_X = R_N \cdot \frac{I_N}{I_X}$$

R_N je odpor známej veľkosti, R_X je odpor neznámej veľkosti. Napätie U_X a U_N odmeriame voltmetrom.

Ak meriame prúdy I_X a I_N na tom istom rozsahu, teda s tou istou konštantou, potom platí:

$$R_X = R_N \cdot \frac{I_N}{I_X} = R_N \cdot \frac{K_V \cdot a_N}{K_V \cdot a_X} = R_N \cdot \frac{a_N}{a_X}$$

Táto metóda je vhodná len pre veľké odpory pretože vo vzorci sa neuvažuje odpor ampérmetra a teda $R_X \gg R_A$ a $R_N \gg R_A$.

Ak použijeme namiesto normálu R_N odporovú dekádu, môžeme postupovať tak, že meníme R_N tak dlho, až $I_X = I_N$. Potom je zrejmé, že $R_X = R_N$, tj. neznámy odpor odčítame z dekády. V tomto prípade je metóda vhodná aj pre väčšie odpory. Tento variant porovnávacej metódy sa nazýva substitučná metóda.

Tabuľka 6:

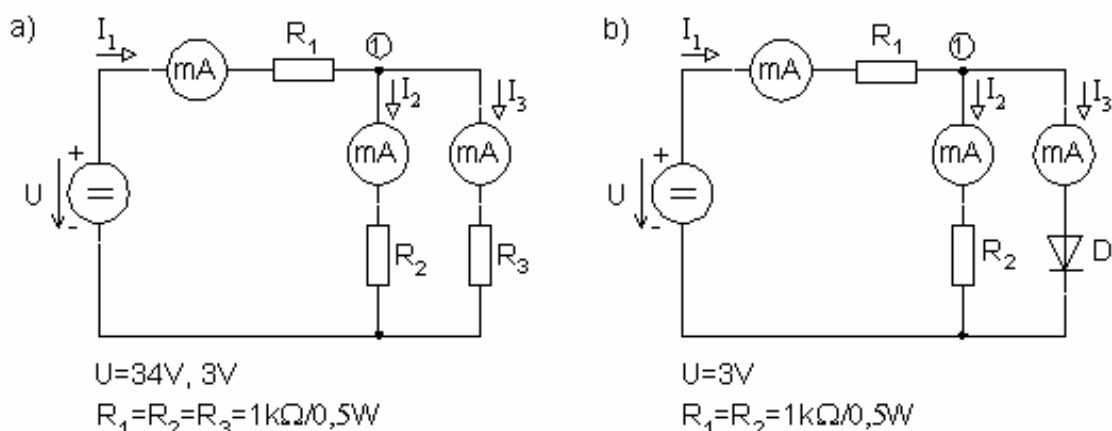
Č.m.	$R_n [k\Omega]$	$I_n [A]$	$I_x [A]$	$R_x [kW]$	$R_x [kW]$ odmerané

15.7. Paralelné zapojenie rezistorov – overovanie 1. Kirchhoffovho zákona

Úloha:

1. Zmerajte prúdy I_1 , I_2 , I_3 a overte platnosť 1. Kirchhoffovho zákona pre uzol 1 pre lineárny a) a nelineárny obvod b). Lineárny obvod odmerajte pri napätí 3 a 15 V, nelineárny len pri napätí 3 V.
2. Na základe merania určite platnosť zákona v lineárnych a nelineárnych obvodoch.
3. Odmerajte presne napätie zdroja a hodnotu jednotlivých rezistorov. Vypočítajte na základe odmeraných veličín prúdy v jednotlivých vetvách. Porovnajte namerané hodnoty s vypočítanými a zdôvodnite zistené rozdiely v hodnotách.

Schéma zapojenia 7:



Tabuľka 7:

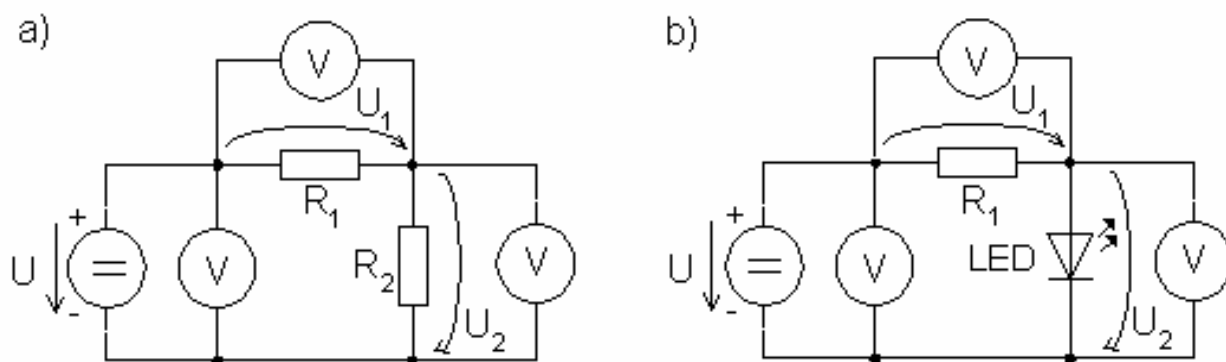
Č.m.	$U[V]$	$I_1 [A]$	$I_2 [A]$	$I_3 [A]$	$I_1 [A]$ vypočítané	$I_2 [A]$ vypočítané	$I_3 [A]$ vypočítané

15.8. Sériové zapojenie rezistorov – overovanie 2. Kirchhoffovho zákona

Úloha:

1. Na základe merania všetkých napätí v obvodoch a), b) overte platnosť 2. Kirchhoffovho zákona.
2. Na základe merania určite platnosť zákona v lineárnych a nelineárnych obvodoch.
3. Odmerajte presne napätie zdroja a hodnotu jednotlivých rezistorov. Vypočítajte na základe odmeraných veličín napätia na jednotlivých prvkoch. Porovnajte namerané hodnoty s vypočítanými a zdôvodnite zistené rozdiely v hodnotách.

Schéma zapojenia 8:



$$U=5V, R_1=R_2=100\Omega$$

Tabuľka 8:

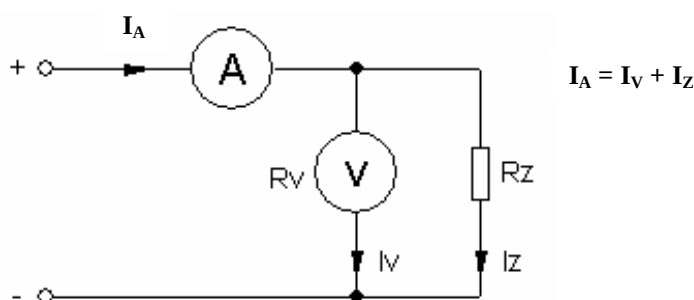
Č.m.	$U[V]$	$U_1[V]$	$U_2[V]$	$U_1[V]$ vypočítané	$U_2[V]$ vypočítané

Meranie jednosmerného výkonu

Výkon na záťaži R_Z v jednosmerných obvodoch sa určuje zo súčinu $P_Z = U_Z \cdot I_Z$, kde U_Z je napätie na záťaži a I_Z je prúd prechádzajúci záťažou. Pri výpočte jednosmerného výkonu vychádzame z údajov ampérmetra a voltmetra.

15.9. Meranie jednosmerného výkonu v obvode s veľkým prúdom a malým napätím

Schéma zapojenia 9:



Výkon vypočítaný z údajov meracích prístrojov je $P' = U_V \cdot I_A$, kde U_V je napätie, ktoré meria voltmeter a I_A je prúd tečúci ampérmetrom. Napätie udávané voltmetrom je totožné s napätím na záťaži U_Z . Ampérmeter však udáva prúd $I_A = I_Z + I_V$, t.j. súčet prúdov záťažou a voltmetrom. V tomto prípade bude pre výkon platiť:

$$P' = U_V(I_Z + I_V) = P_Z + P_V$$

Pri presnom určení výkonu záťaže treba od hodnoty P' odpočítať výkon spotrebovaný voltmetrom:

$$P_Z = P' - P_V = P' - \frac{U^2}{R_V}$$

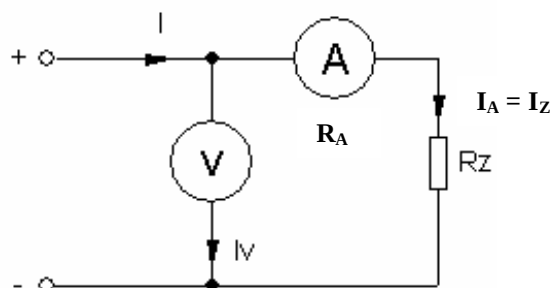
kde R_V je vnútorný odpor voltmetra (je udaný na stupnici prístroja, rádovo 10^3 až $10^4 \Omega$). Z uvedených vzťahov vyplýva, že chyba metódy je tým menšia, čím bude prúd záťažou I_Z väčší voči prúdu tečúceho voltmetrom I_V . To znamená, že toto zapojenie je vhodné pre záťaže s menším odporom, voltmeter by mal mať čo najväčší vnútorný odpor.

Tabuľka 9:

Č.m.	$U[V]$	$I[A]$	$P'[W]$	$P_V[W]$	$P_Z[W]$	$R_V[W]$

15.10. Meranie jednosmerného výkonu v obvode s malým prúdom a veľkým napätím

Schéma zapojenia 10:



Výkon vypočítaný z údajov meracích prístrojov je $P' = U_V \cdot I_A$, kde U_V je napätie, ktoré meria voltmetr a I_A je prúd tečúci ampérmetrom. Prúd prechádzajúci ampérmetrom I_A je zhodný s prúdom záťaže I_Z , avšak údaj voltmetra U_V udáva súčet napätí na záťaži a na svorkách ampérmetra. $U_V = U_Z + U_A$. Pre výkon v tomto zapojení platí:

$$P'' = (U_Z + U_A) I_Z = P_Z + P_A$$

Ak chceme presne stanoviť výkon záťaže P_Z , musíme od hodnoty P'' odpočítať výkon spotrebovaný ampérmetrom P_A a tým korigovať chybu metódy.

$$P_Z = P'' - P_A = P'' - R_A I_A^2$$

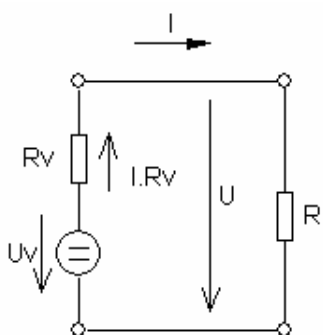
Kde R_A je odpor ampérmetra (zisťuje sa meraním a býva rádovo 10^{-1} až 10Ω). Ak nechceme korigovať chybu metódy, je toto zapojenie vhodné pre záťaže s veľkým odporom, t.j. chyba merania bude tým menšia, čím bude napätie na záťaži väčšie ako úbytok napätia na ampérmetri.

Tabuľka 10:

Č.m.	$U[V]$	$I[A]$	$P'[W]$	$P_A[W]$	$P_Z[W]$	$R_A[W]$

15.11. Meranie na jednosmernom napájacom zdroji

Úloha Meraním zistíte vnútorný odpor daného napájacieho zdroja.

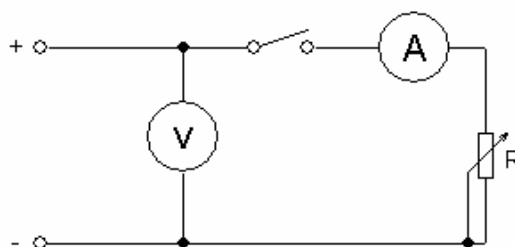


Každý reálny napäťový zdroj má vnútorný odpor, ktorý spôsobuje, že pri zaťažení reálneho zdroja dochádza na vnútornom odpore k úbytku napätia a tým k poklesu svorkového napätia. Pokles svorkového napätia je tým väčší, čím je hodnota vnútorného odporu väčšia.

Ak zaťažíme zdroj, začne obvodom pretekať prúd $I = \frac{U_V}{R + R_V}$

Na vnútornom odpore R_V sa vytvorí úbytok napätia $\Delta U = R_V \cdot I$.
Svorkové napätie zdroja: $U = U_V - \Delta U = U_V - R_V \cdot I$

Schéma zapojenia 11:



Pri meraní vnútorného odporu zdroja postupujeme nasledovne: Odmeriame napätie naprázdno U_0 na zdroji. Následne pripojíme záťaž R , odmeriame veľkosť prúdu I_R tečúceho záťažou R a odmeriame svorkové napätie U po pripojení záťaže. Vnútorný odpor vypočítame:

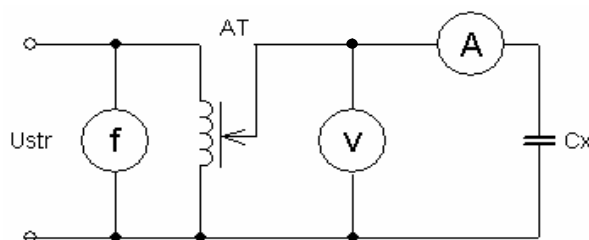
$$R_v = \frac{U_0 - U}{I_R}$$

Tabuľka 11:

Č.m.	$U_0 [V]$	$U [V]$	$I_R [A]$	$R_v [W]$

15.12. Meranie kapacity kondenzátora voltampérovou metódou

Schéma zapojenia 12:



Meraný kondenzátor je pripojený na zdroj známej frekvencie a zapojeným ampérmetrom a voltmetrom meriame prúd a napätie. Hodnotu prúdu udávaného ampérmetrom možno rozložiť na súčet prúdu prechádzajúceho vlastnou kapacitou I_C a prúdu tečúceho stratovým odporom I_R . Z fázorového diagramu náhradnej schémy reálneho kondenzátora je prúd I meraný ampérmetrom vyjadrený vzťahom: $I = \sqrt{I_C^2 + I_R^2}$

Po úprave dostávame:

$$I = I_C \sqrt{1 + \tan^2 \delta}$$

Ak má meraný kondenzátor malý stratový činiteľ ($\tan \delta < 10^{-2}$), môžeme vypočítať kapacitu približne zo vzťahu:

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

Táto metóda merania sa používa v prevádzkových meraniach, kde sa dosahuje presnosť 1 až 3%. Vplyv stratového činiteľa sa zanedbáva.

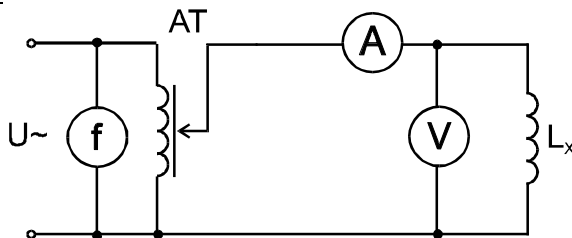
Táto metóda sa hodí na meranie väčších kapacít (μF a viac) kondenzátorov, u ktorých izolačný odpor dielektrika je dostatočne veľký.

Tabuľka 12:

$f = 50 \text{ Hz}$				
Č.m.	$U [V]$	$I [A]$	$C_x [\mu F]$	Poznámky

15.13. Meranie indukčnosti cievky bez Fe jadra

Schéma zapojenia 13:



Ak zmeriame napätie a prúd cievky s neznámou indukčnosťou v danom zapojení, môžeme určiť veľkosť jej impedancie. Aby bolo možné určiť jej indukčnosť, musíme poznať aj hodnotu odporu cievky R_L . Odpor R_L je pri nízkych frekvenciách prakticky zhodný s odporom s odporom meraným jednosmerným prúdom, takže ho môžeme odmerať ohmetrom. Potom indukčnosť cievky pri známej frekvencii určíme zo vzťahu:

$$L = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{U^2}{I^2} - R_L^2}$$

Táto metóda je vhodná pre meranie vlastnej indukčnosti vzduchových cievok pre nízke frekvencie. Presnosť merania je asi 5%. Nevýhodou metódy je nutnosť určenia odporu cievky R_L .

Tabuľka 13:

$f = 50 \text{ Hz}$; cievka: závitov, ϕmm, $I_{\max} = \dots\dots \text{ A}$, $R_{Cu} = \dots\dots \Omega$

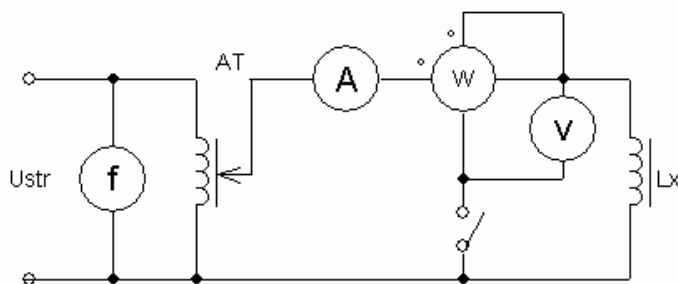
Č.m.	$U [\text{V}]$	$I [\text{A}]$	$Z [\Omega]$	$L_x [\text{H}]$	$\cos j$	$P_{Cu} [\text{W}]$	Poznámka(Q)

Priemer hodnôt $L_x =$

$$Z = \frac{U}{I} \quad L_x = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z^2 - R_{Cu}^2} \quad \cos j = \frac{R_{Cu}}{Z} \quad Q = \frac{\omega L_x}{R_{Cu}} \quad P_{Cu} = R_{Cu} \cdot I^2$$

15.14. Meranie indukčnosti cievky s Fe jadrom

Schéma zapojenia 14:



Okrem ampérmetra a voltmetra zapájame pri tejto metóde do obvodu aj wattmeter, ktorým meriame činný výkon P_L meranej technickej cievky. Z činného výkonu môžeme potom určiť stratový odpor cievky R_L . Pre výpočet indukčnosti platí:

$$L_x = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{U^2}{I^2} - R_L^2} \quad L_x = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{U^2}{I^2} - \left(\frac{P_L}{I^2}\right)^2} \quad \text{kde} \quad R_L = \frac{P_L}{I^2}$$

Táto metóda je vhodná na meranie cievok s feromagnetickým jadrom, ktorých indukčnosť závisí od veľkosti prúdu prechádzajúceho cievkou. Presnosť merania je asi 5%, možno ju zvýšiť

korekciou údajov ampérmetra a wattmetra. Výhodou metódy je skutočnosť, že odpor R_L sa nemusí určovať samostatným meraním.

Tabuľka 14:

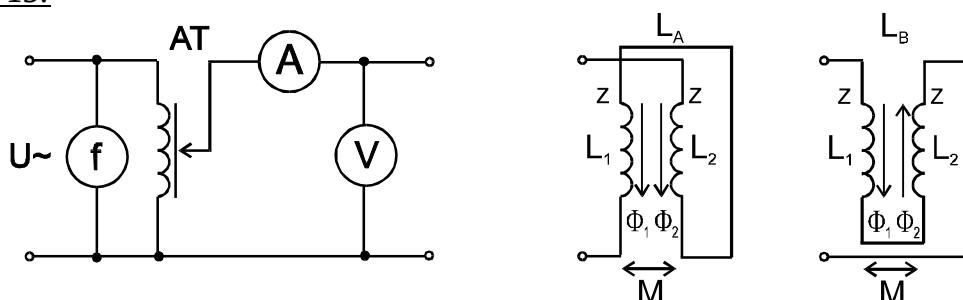
$f = 50 \text{ Hz}; R_{Cu} = \dots \Omega$

Č.m.	$U [V]$	$I [A]$	$Z [W]$	$L_x [H]$	$R_L [W]$	$P_L [W]$	$P_{Cu} [W]$	$P_{Fe} [W]$	$\cos j$

$$Z = \frac{U}{I} \quad L_x = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z^2 - \left(\frac{P_L}{I^2}\right)^2} \quad R_L = \frac{P_L}{I^2} \quad P_{Cu} = R_{Cu} \cdot I^2 \quad P_{Fe} = P_L - P_{Cu} \quad \cos j = \frac{R_L}{Z}$$

15.15. Meranie vzájomnej indukčnosti zapojením cievok do série

Schéma zapojenia 15:



- 1. cievka bez Fe jadra: $L = \dots H$, $R = \dots \Omega$, $\varnothing \dots mm$, $\dots$ závitov
- 2. cievka bez Fe jadra: $L = \dots H$, $R = \dots \Omega$, $\varnothing \dots mm$, $\dots$ závitov

Táto metóda sa hodí na meranie vzájomnej indukčnosti cievok bez Fe jadra, kde L_1 je približné L_2 . Vzájomná indukčnosť sa určí z merania indukčnosti cievok zapojených do série.

V prvom meraní spojíme indukčne viazané cievky súhlasne tak, aby sa ich magnetické polia sčítali a ich výsledná indukčnosť je daná vzťahom: $L_A = L_1 + L_2 + 2M$. V druhom meraní spojíme cievky nesúhlasne, aby sa ich magnetické polia odčítali a výsledná indukčnosť je daná vzťahom: $L_B = L_1 + L_2 - 2M$. Po úprave dostávame vzťah pre výpočet vzájomnej indukčnosti:

$$M = \frac{L_A - L_B}{4}$$

Tabuľka 15:

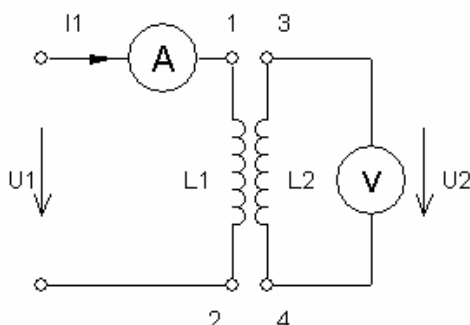
$f = 50 \text{ Hz}; R_{Cu1} = \dots \Omega, R_{Cu2} = \dots \Omega$

Č.m.	$U [V]$	$I [mA]$	$Z_A [W]$	$Z_B [W]$	$L_A [H]$	$L_B [H]$	$M [H]$

$$Z = \frac{U}{I} \quad L = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z^2 - R_{Cu}^2}$$

15.16. Meranie vzájomnej indukčnosti ampérmetrom a voltmetrom

Schéma zapojenia 16:



Primárnu cievku pripojíme na harmonické napätie u a ampérmetrom zmeriame prúd I_1 , ktorý ňou preteká. Na svorky sekundárnej cievky pripojíme voltmeter, ktorým zmeriame sekundárne napätie U_2 . Vzájomnú indukčnosť môžeme približne určiť zo vzťahu:

$$M = \frac{U_2}{w \cdot I_1}$$

Tabuľka 16:

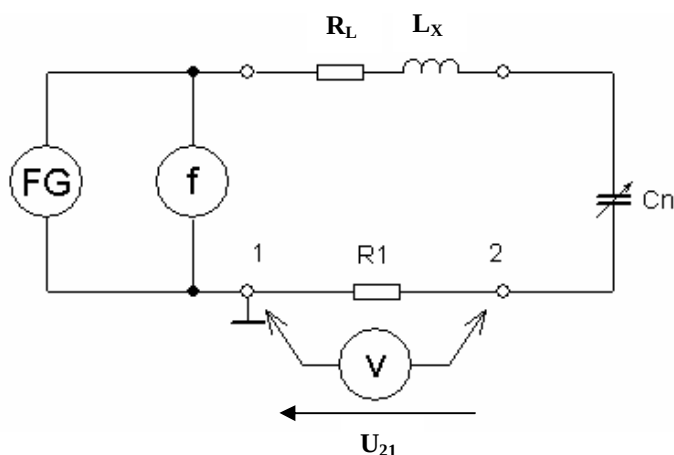
$f = \dots\dots \text{Hz}$

Č.m.	$U_2 [\text{V}]$	$I_1 [\text{A}]$	$M [\text{H}]$	Poznámky

15.17. Analýza sériového rezonančného obvodu pri zmene frekvencie

Úloha: Zmerajte rezonančnú krivku sériového rezonančného obvodu.

Schéma zapojenia 17:



Pre zvolenú hodnotu kapacity C vypočítame hodnotu rezonančnej frekvencie $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$.

Na kapacitnej dekáde nastavíme hodnotu kapacity C . Na generátore nastavíme vypočítanú hodnotu rezonančnej frekvencie f_r a predpísanú hodnotu výstupného napätia U . Multimetrom odmeriame napätie U_{21} na odporovom normále R_1 a určíme hodnotu prúdu $I = U_{21} / R_1$.

(Na meranie prúdu nepoužívame prúdový vstup multimetra, lebo jeho vnútorná impedancia môže ovplyvniť meraný obvod).

Postupne nastavujeme rôzne hodnoty frekvencie a meriame im odpovedajúce hodnoty prúdov. Frekvenciu volíme tak, aby sme odmerali po 5 hodnôt pod a nad rezonančnou frekvenciou a tak vystihli rezonančnú krivku obvodu. Pri každom meraní musí byť vstupné napätie konštantne.

Činiteľ kvality Q vypočítame zo vzťahu $Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$, kde $R = R_1 + R_L$. Od neho závisí pásmo priepustnosti rezonančného obvodu. Za pásmo priepustnosti rezonančného obvodu považujeme oblasť, v ktorej veľkosť pomerného prúdu neklesne pod $\frac{1}{\sqrt{2}}$ (pokles o 3dB). S rastúcou

hodnotou Q sa zužuje pásmo priepustnosti Δw . Šírku pásma priepustnosti určíme $\Delta w = w_r \frac{1}{Q}$

Tabuľka 17:

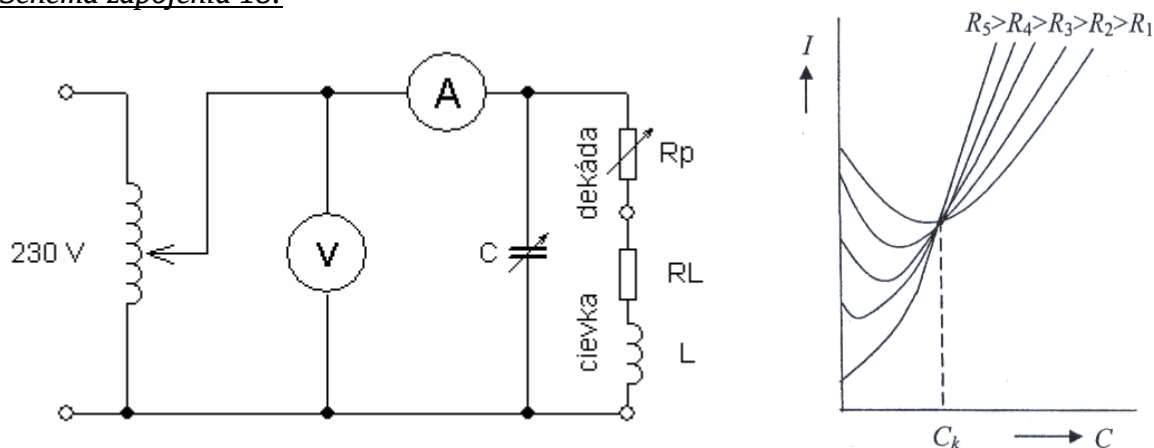
$f_r = \dots\dots \text{Hz}; U = \dots\dots \text{V}, C = \dots\dots \text{F}, R_L = \dots\dots \Omega, R_1 = \dots\dots \Omega$

Č.m.	$f [\text{kHz}]$	$U_{21} [\text{V}]$	$I [\text{mA}]$	Q

15.18. Analýza paralelného rezonančného obvodu pri zmene frekvencie

Úloha: Zmerajte závislosť celkového prúdu I od kapacity C pre rôzne hodnoty odporu R_p . Meranie uskutočnite pri konštantnej frekvencii.

Schéma zapojenia 18:



Skutočný rezonančný obvod sa líši od ideálneho tým, že pozostáva z technickej cievky a technického kondenzátora. Náhradným obvodom technickej cievky pre nízke kmitočty je zvyčajne sériové zapojenie ideálnej cievky s indukčnosťou L a ideálneho rezistora s odporom R_L , pričom R_L je činný odpor vinutia cievky – stratový odpor technickej cievky. Bežne vyrábané kondenzátory môžeme pri nízkych frekvenciách považovať za ideálne, ich stratový odpor môžeme zanedbať.

Sledujme vlastnosti paralelného rezonančného obvodu, t.j. rezonančnú kapacitu a rezonančný prúd v závislosti od stratového odporu R_L , pričom $R_L = R_L' + R_p$, kde R_L' je stratový odpor cievky a R_p prídavný regulovateľný ohmický odpor.

Pre komplexnú admitanciu paralelného rezonančného obvodu možno napísať:

$$Y = \frac{R_L}{R_L^2 + \omega^2 L^2} - j \left(\frac{L}{R_L^2 + \omega^2 L^2} - \omega C \right)$$

Ak použijeme podmienku paralelnej rezonancie $\text{Im}(Z) = 0$, dostaneme po úprave vzťah pre rezonančnú kapacitu

$$C_r = \frac{L}{R_L^2 + \omega^2 L^2}$$

Zo vzťahu vidno, že s rastúcim stratovým odporom R_L klesá hodnota rezonančnej kapacity. Z výrazu pre rezonančný prúd

$$I_r = \text{Re}(Y) \cdot U = \frac{R_L}{R_L^2 + \omega^2 L^2} U$$

vidieť, že s rastúcim odporom R_L klesá aj hodnota rezonančného prúdu.

Všetky krivky $I(C)$ pre rôzne hodnoty R_L sa pretínajú v jednom bode, t.j. pri určitej hodnote kapacity (tzv. kritickej, kde $C = C_k$) tečie obvodom pri ľubovoľnej hodnote stratového odporu R_L a danej indukčnosti cievky rovnaký prúd. Vid' graf.

Postup merania:

1. Pre zvolené hodnoty odporu dekády ($R_p = 0, 0,5, 1, 2, 3, 5 \text{ k}\Omega$) vypočítame hodnotu rezonančnej kapacity C_r , od ktorej následne navrhujeme ďalšie hodnoty kapacít pre zostrojenie priebehov $I(C)$.

2. Zapojíme merací obvod. Odpor R_L predstavuje v obvode premenný odpor R_P a stratový odpor použitej technickej cievky R_L' .
3. V priebehu merania udržiavame napätie U na konštantnej hodnote (napr. 50V). Pre zvolenú hodnotu odporu dekády meriame prúdy v závislosti od veľkosti nastavovanej kapacity dekády.
4. Graficky zobrazíme krivky $I(C)$ pre všetky hodnoty odporov do jedného grafu a zistíme kritickú kapacitu C_k .

Tabuľka 18:

$U = \dots\dots\dots V$, cievka: $R_L = \dots\dots\dots \Omega$, $L = \dots\dots\dots H$, $R_P = \dots\dots\dots \Omega$
 Vypočítaná hodnota $C_r = \dots\dots\dots \mu F$

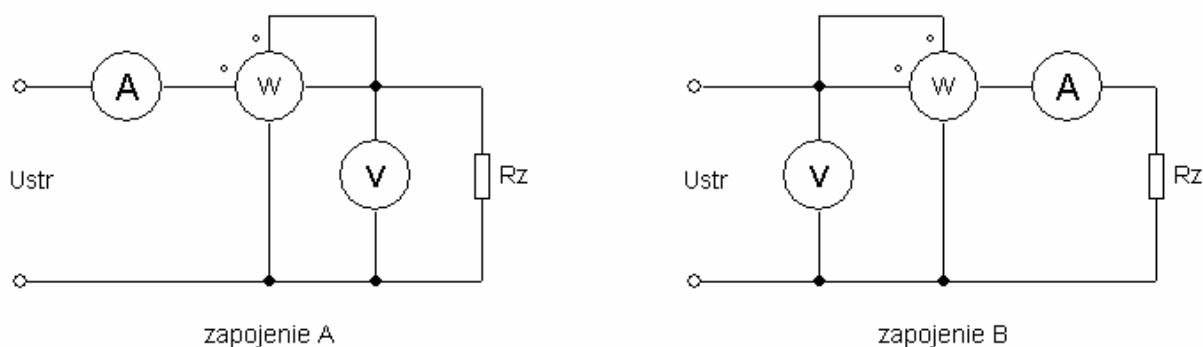
$C (\mu F)$	0,1	0,2	0,25	0,25	0,35	0,4	0,5	0,8	1	2
$I (mA)$										

15.19. Meranie jednofázového výkonu

Elektrodynamický wattmeter je najčastejšie používaný prístroj na meranie činného výkonu. Má samostatnú prúdovú a napäťovú cievku, väčšinou so samostatným prepínaním rozsahov. Pri ich zapájaní do meracieho obvodu treba dodržať označenie vstupných svoriek $\uparrow$, $\bullet$, aby wattmeter ukazoval kladnú hodnotu. Pri meraní elektrodynamickým wattmetrom je nutné kontrolovať zaťaženie prúdovej a napäťovej cievky. Výchylka prístroja nie je meradlom preťaženia jednotlivých cievok wattmetra, pretože je úmerná výrazu $U \cdot I \cdot \cos \varphi$.

Teda i pri malej výchylke wattmetra môže byť niektorá z cievok preťažená vplyvom malého účinníka. Preto sa do obvodu wattmetra zapája ešte ampérmeter a voltmeter, ktoré slúžia na kontrolu zaťaženia prúdovej a napäťovej cievky.

Konštantu wattmetra určíme: $k_W = \frac{U_n \cdot I_n}{\alpha_n}$, kde U_n , I_n sú rozsahy napätia a prúdu, α_n je počet dielikov stupnice wattmetra. Výkon meraný wattmetrom je $P = k_W \cdot \alpha$, kde α je výchylka ukazovateľa

Schéma zapojenia 19:

V zapojení A wattmeter udáva súčet výkonu záťaže P_z , spotreby voltmetra P_v a spotreby napäťovej cievky wattmetra P_n . Skutočná hodnota výkonu záťaže s korigovaním chyby metódy bude:

$$P_z = P' - P_n - P_v = P' - \frac{U_n^2}{R_n} - \frac{U_v^2}{R_v}$$

kde $U_v = U_z = U_n$ je napätie odčítame na voltmetri, R_v je vnútorný odpor voltmetra a R_n je odpor napäťovej cievky wattmetra (býva uvedený na štítku prístroja).

V zapojení B wattmeter udáva súčet výkonu záťaže P_z , spotrebu ampérmetra P_a a spotrebu prúdovej cievky wattmetra P_p . Skutočná hodnota meraného výkonu záťaže bude

$$P_z = P' - P_p - P_a = P' - R_p \cdot I_a^2 - R_a \cdot I_a^2$$

kde $I_a = I_p = I_z$ je prúd tečúci ampérmetrom, R_a je odpor ampérmetra a R_p odpor prúdovej cievky wattmetra (treba určiť meraním).

Z hľadiska určenia korekcie je vhodnejšie zapojenie A, pretože hodnoty R_n a R_v bývajú uvedené na štítkoch stupníc prístrojov.

Tabuľka 19:

$R_N = \dots\dots\dots\Omega$, $R_v = \dots\dots\dots\Omega$

Č.m.	$U [V]$	$I [A]$	$P [W]$	$P_v [W]$	$P_N [W]$	$P_z [W]$

Použitá literatúra:

- M. Tuma, T. Hajach, E. Šteliarová – Základy elektrotechniky I, II.
 A. Blahovec – Základy elektrotechniky v príkladoch a úlohách.
 J. Székely, K. Čápová, I. Dvořáková – Elektrické meranie.