

5. Elektrický proud v látkách

5.1 Dočasný elektrický proud

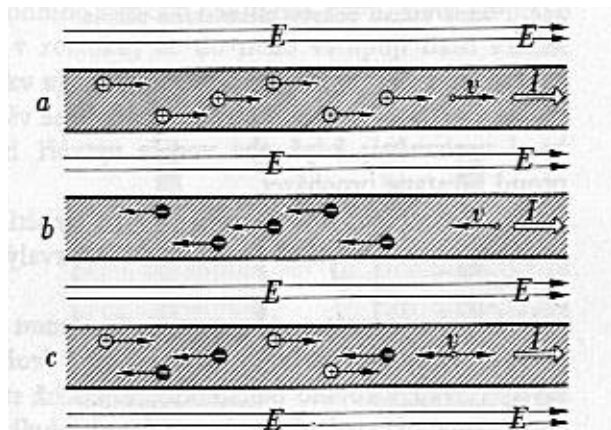
Nachází-li se vodič v homogenním elektrickém poli vzniká usměrněný pohyb volných částic s nábojem – vytváří se elektrický proud.

Existují dva druhy náboje:

obr. a – kladné částice se pohybují ve směru intenzity elektrického pole

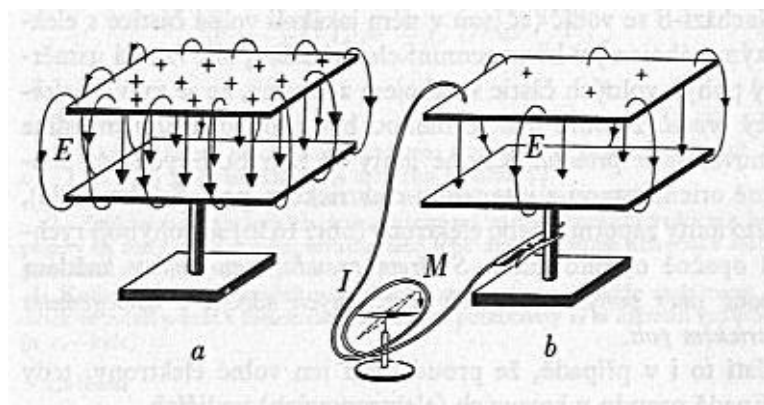
obr. b – záporné částice se pohybují v opačném směru než kladné částice

Směrem elektrického proudu rozumíme směr pohybu kladných elektrických nábojů v homogenním elektrickém poli (obr. c). Tento směr se nazývá dohodnutý směr proudu.



Elektronový vodič

Elektrický proud vzniká i v případě, že proud tvoří pouze volné elektrony (kovový vodič).



Podmínky pro vznik a trvání elektrického proudu?

Obr. a) Na obrázku vidíme nabitý kondenzátor. Jeho energii stanovíme na $W = \frac{1}{2} \cdot Q \cdot U$.

Horní deska je nabitá kladně, dolní desku uzemníme, a proto má záporný náboj. Při malé vzdálenosti se utváří elektrická dvojvrstva s napětím U . Mezi

nesouhlasně nabitými deskami je homogenní elektrické pole i intenzitě E .

Obr. b) Spojíme-li obě desky vodičem, bude elektrické pole v důsledku spádu napětí (v směru E) i podél spojovacího vodiče.

Elektrické pole urychluje volné elektrony a vzniká ve spojovacím vodiči elektrický proud. Mezi body A a B, které jsou spojeny vodičem, teče elektrický proud pouze tehdy, je-li mezi nimi spád potenciálů. Pohybem nábojů se napětí mezi deskami vyrovnává. Vyrovná se a proud přestane procházet.

Nabitý kondenzátor má energii vyjádřenou vztahem $W = \frac{1}{2} \cdot Q \cdot U$. Tato energie se mění v jinou formu. Tvoří-li spojovací vodič závity, v jejich středu je magnetka, pozorujeme při spojení desek vodičem výchylku magnetky. Pohybující se elektrické náboje se projevují magnetickým polem.

Název elektrický proud pro usměrněný pohyb částic s elektrickým nábojem podél uzavřeného vodivého obvodu. Název proud značí i veličinu I .

Proud určuje velikost elektrického náboje, procházejícího průřezem vodiče za jednotku času.

$$\text{Je tedy: } I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}.$$

$$\text{Jednotka: } [I] = \frac{1 \cdot C}{1 \cdot s} = 1C \cdot s^{-1} = 1A$$

Definice jednoho A:

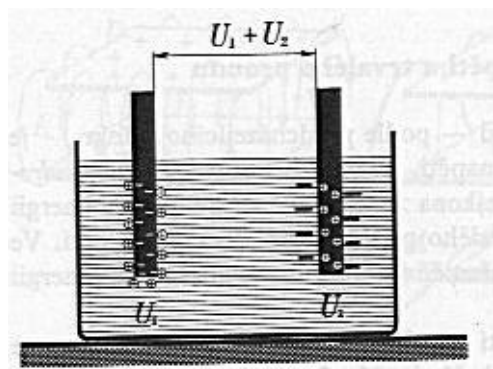
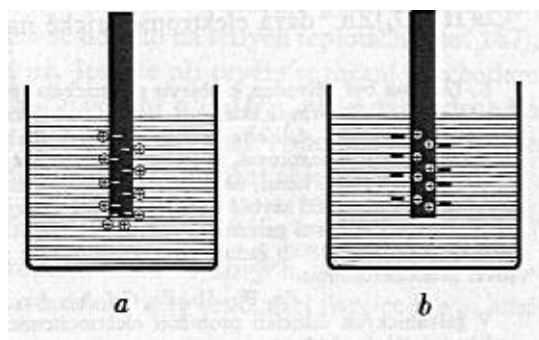
1 ampér je proud, který při stálém průtoku dvěma rovnoběžnými přímými velmi dlouhými vodiči zanedbatelného kruhového průřezu, umístěnými ve vakuu ve vzdálenosti 1 m od sebe, vyvolá mezi vodiči sílu $2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ na jeden metr délky.

5.2 Zdroje stálého napětí a trvalého proudu

Ke vzniku trvalého proudu je třeba dvojvrstvy stálého napětí - **zdroj stálého napětí**. energii potřebnou k udržení trvalého proudu nahrazuje zdroj trvalého napětí. Ve zdroji stálého napětí se přeměňuje jiná forma energie na energii elektrickou.

Vytvoření stálého napětí

Vytváření stálého napětí souvisí s tím, že látky jsou složeny ze soustav elektricky nabitých částic. Př: atomová mřížka kovů je tvořena ionty kovů, mezi nimiž se pohybují volné elektrony. Ponoříme-li kov do vodního roztoku soli téhož kovu, stává se podle koncentrace iontů v roztoku, že do něho vstupují další kladné ionty, nebo se z něho vylučují. Tím se roztok nabíjí v prvním případě kladně (obr. a) a v druhém případě je to opačně (obr. b). Protože kladné ionty a elektrony se navzájem přitahují, udržují se oba náboje na rozhraní kovu a roztoku. Tvoří dvojvrstvu, které přísluší určité napětí.



Ponoříme-li do roztoku dvě tyče z různých kovů, na kterých vznikají opačné dvojvrstvy stálého napětí U_1 a U_2 , naměříme mezi oběma póly napětí $U_1 + U_2$. Toto napětí se nazývá **elektromotorické** (viz. Obrázek).

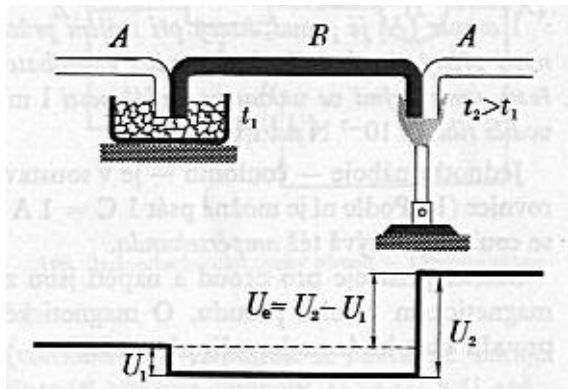
Spojením pólů vzniká elektrický proud. Náboje na dvojvrstvách se obnovují novým vstupem (vylučováním) iontů do roztoku, a tím se udržuje stálé napětí, přičemž elektrická energie se získává přeměnou energie chemické, uvolněné při reakci kovu a roztoku. Kombinace vodičů $^+Cu(H_2SO_4)Zn^-$ dává elektromotorické napětí 1 V – Voltův článek.

Napětí tohoto článku klesá v důsledku polarizace elektrod, využití v oloveném akumulátoru. Volta sestavil prvky v řadu Zn, Pb, Sb, Fe, Cu, Ag, Au, Pt (C). Člen stojící napravo má kladné napětí proti předcházejícímu.

Termočlánek

Ke vzniku napětí může vést styk kovových vodičů. Při styku různých kovů přecházejí elektrony rozhraním z jednoho kovu do druhého i opačně. Protože koncentrace elektronů je v obou kovech různá, přejde jedním směrem jiný počet elektronů než druhým směrem. Kov,

do kterého přešlo více elektronů, nabíjí se záporně, mezi kovy vzniká napětí, které další přechod elektronů ztěžuje. Přechod opačným směrem toto napětí ulehčuje, takže mezi oběma kovy se vytvoří rovnovážný stav při tzv. stykovém napětí. Oběma směry prochází pak za stejnou dobu stejný počet elektronů. Tento rovnovážný stav se poruší při zvýšení teploty rozhraní kovů a vytvoří se při jiném stykovém napětí mezi kovy, odpovídajícím dané teplotě, tzv. **termoelektrickém napětí**. Tento jev objevil T. J. Seebeck.



Zdroj termoelektrického napětí se realizuje pomocí dvou rozhraní kovů A a B, které se udržují na stálých teplotách (viz. obrázek) - $t_1 < t_2$. Jestliže při prvním rozhraní přechodem z kovu A do B potenciál poklesne o $(-\Delta U_1)$, zatímco na druhém rozhraní přechodem z kovu B do A zase vystoupí o (ΔU_2) , bude mezi oběma stykovými místy elektromotorické napětí U_e .

Bude to vypadat takto: $U_e = \Delta U_2 - (-\Delta U_1) = k(t_2 - t_1)$.

Je to závislé na teplotním rozdílu obou stykových míst vodičů. Konstanta úměrnosti k je termoelektrický součinitel dvojice kovů, jeho jednotkou je $V \cdot K^{-1}$.

V termočláncích používáme kombinaci těchto kovů: Cu – Fe, Antimon – Bismut

Spojíme-li póly galvanického článku nebo termočláncu vodivě vznikne v obvodu stálý proud, pokud se zachová stále elektromotorické napětí článku.

Po objevu stálého proudu dokázal Oersted (1820) magnetické pole kolem přímého vodiče.

5.2 Ohmův zákon

Jak to vypadá s proudem v obvodu?

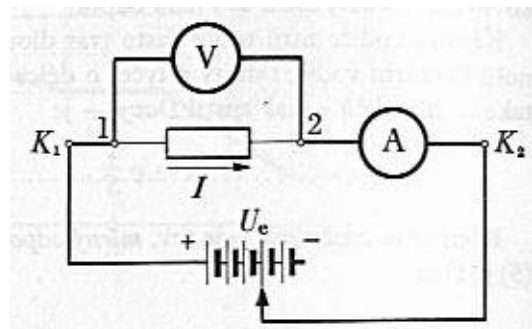
Spojme zdroje napětí homogenním kovovým vodičem (drát stálého průřezu). Ve vodiči vznikne stálý proud I , neměníme-li elektromotorické napětí zdroje U_e . Proud se nemůže měnit ani od místa k místu ve vodiči, neboť to by znamenalo hromadění nebo zředování nabitých částic v určitém úseku, což by mělo za následek změnu poklesu potenciálu. To znamená, že měřič proudu – ampérmetr – může být zařazen do jednoduchého elektrického obvodu na kterémkoli místě.

Uvažujeme jednoduchý elektrický obvod, ve kterém jsou zařazeny zdroje napětí tak, že napětí je možno měnit. V obvodu je zapojen ampérmetr a mezi body 1 a 2 voltmetr. Zapojíme-li postupně zdroje napětí tak, že měřič napětí ukazuje hodnoty $U, 2U, 3U$, ampérmetr udává hodnoty $I, 2I, 3I$. Vymění-li vodič mezi body 1, 2 za jiný, dostaneme podobný.

Závěr:

Výsledek můžeme vyložit tak, že proud je přímo úměrný napětí, anebo že poměr napětí a proudu je stálá veličina (vyslovil Ohm 1826 – určil experimentálně).

Z toho plyne Ohmův zákon: $R = \frac{U}{I}$.



Kdy platí?

- 1) Platí při stálé teplotě.
- 2) Dále platí pro část obvodu, která neobsahuje zdroj napětí.

Veličina R se nazývá elektrický odpor.

Definice elektrického odporu:

Elektrický odpor vodiče vypočítáme jako poměr napětí mezi konci vodiče a proudem, který jím prochází.

$$\text{Základní jednotka: } [R] = \frac{1V}{1A} = 1\Omega$$

Definice 1 ohmu:

Jeden ohm je odpor vodiče, jímž protéká stálý proud jeden ampér při napětí jeden volt mezi jeho koncovými body.

Varianty Ohmova zákona:

$$\text{Další varianty: } I = \frac{U}{R}, U = RI$$

Obecné varianty Ohmova zákona

Závislost na teplotě:

Bohužel v praxi teplota vodiče není stálá a díky tomu se mění i odpor. Kovové vodiče mají velmi často tvar dlouhých válců či hranolů (dráty, tyče), které mají délku l a průřez S . Odpor takových vodičů (zjistil Dawy) je $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$

ρ - je měrný odpor – nověji používaný termín rezistivita. Její jednotka je $\Omega \cdot m$.

Honoty měrných odporů některých vodičů je v MFCHT či na webu <http://www.converter.cz/tabulky/merny-odpor.htm>.

Látky s velkým měrným elektrickým odporem (nikelin, konstantan, chromnikl) se používají na výrobu odporových materiálů.

Další vztah charakterizuje závislost elektrického odporu na teplotě, má tvar $R = R_0(1 + \alpha \Delta t)$.

R – je el. odpor při teplotě t , R_0 elektrický odpor vodiče při teplotě t_0 , Δt je teplotní rozdíl, α je teplotní součinitel odporu.

Elektrický odpor i měrný odpor roste přibližně lineárně se stoupající teplotou. Viz. elektrická rozvodná síť, proto se tam pouští relativně malé proudy při vysokém napětí.

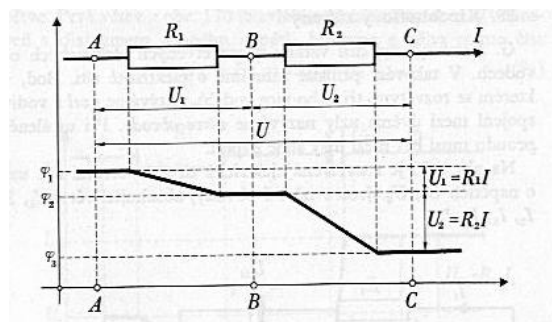
Odpory spojené za sebou (sériově)

Odvodíme odpor R soustavy dvou vodičů o odporech R_1 a R_2 spojených za sebou. Protože oběma vodiči prochází též proud I , jsou úbytky napětí na nich $U_1 = R_1 \cdot I$ a $U_2 = R_2 \cdot I$. Celkový odpor R soustavy se určí z celkového úbytku napětí $U = R \cdot I$, kde $U = U_1 + U_2$.

Po dosazení máme $R \cdot I = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I$, odkud

$$R = R_1 + R_2.$$

Definice: Odpor soustavy dvou za sebou spojených vodičů se rovná součtu jejich odporů.

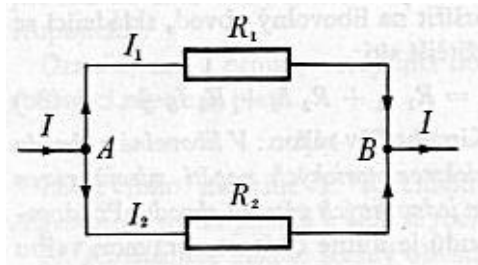


Odpory spojené vedle sebe (paralelně)

Jaký výsledný odpor R představuje soustava vodičů o odporech R_1 a R_2 zapojených paralelně? Mezi body A a B je napětí U na každém rezistoru.

Vyslovme tyto věty:

- 1) V uzlech se nesmí hromadit elektrický náboj.
- 2) To vyžaduje, aby součet proudů z uzlu vystupujících se rovnal proudům vstupujícím.



Podle věty jedna prochází rezistorem R_1 proud I_1 , rezistorem R_2 proud I_2 .

Podle věty dvě platí $I = I_1 + I_2$. Nemáme zde zdroj, využijeme Ohmův zákon, pro jednotlivé proudy dostaneme: $I_1 = \frac{U}{R_1}, I_2 = \frac{U}{R_2}$.

Mezi body A, B je proud I , prochází jím proud $I = \frac{U}{R}$.

Dosadíme do původní rovnice a dostaneme: $\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$.

Výsledný vztah pro odpor rezistorů zapojených paralelně: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.

Elektrická vodivost

Zavedeme elektrickou vodivost: $G = \frac{1}{R}$. Jednotka: $[G] = \frac{1}{\Omega} = \Omega^{-1} = 1S$ (Siemens)

Definice Siemensu:

Siemens je vodivost vodiče s odporem 1Ω .

Ohmův zákon můžeme psát ve tvaru: $I = G \cdot U$.

5.3 Kirchhoffovy zákony

G. Kirchhoff vyjádřil vztahy v rozvětvených elektrických obvodech. V takovém případě mluvíme o elektrické síti.

Bod, ve kterém se rozvětvují tři nebo více vodičů – **uzel**.

Vodivé spojení mezi uzly – **větev** – musí obsahovat rezistor, zdroj obsahovat nemusí

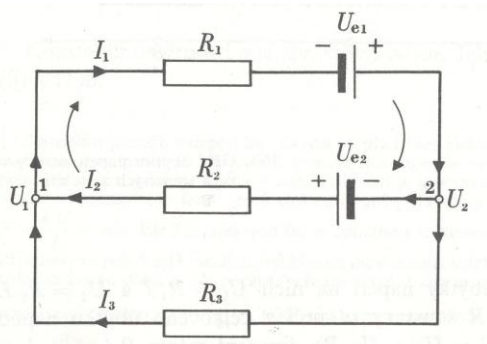
Mezi uzly je vždy stálé napětí.

Kirchhoff zavedl dva zákony. První je důsledkem zákona zachování el. náboje, druhý je zevšeobecněním ohmova zákona pro uzavřený obvod.

1. Kirchhoffův zákon:

V uzlech se nesmí hromadit elektrický náboj. Součet proudů do uzlu vstupujících se rovná součtu proudů z uzlu vystupujících.

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_n = 0$$

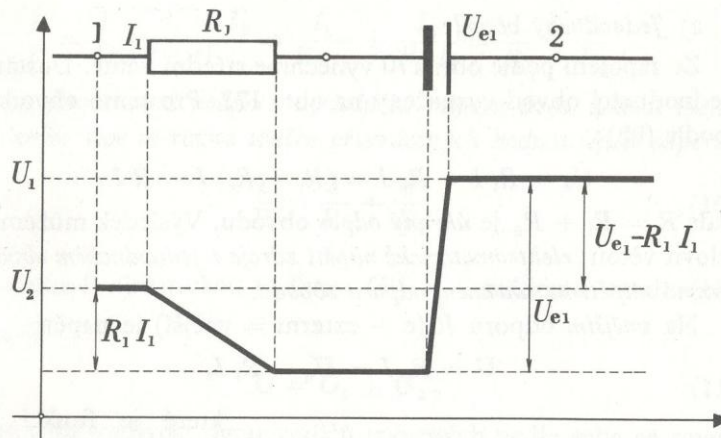


2. Kirchhoffův zákon:

Odvození:

Obvod rozdělíme na větve:

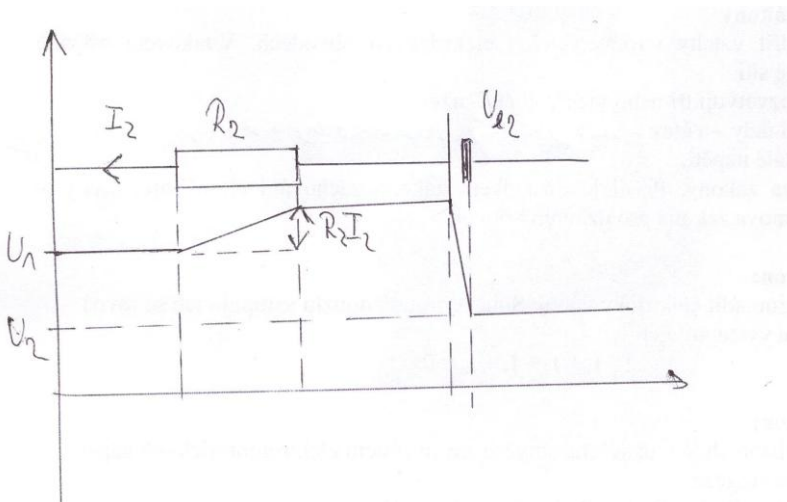
1. větev



Průběh napětí ve větvi:

$$U_2 - U_1 = U_{e1} - R_1 \cdot I_1$$

2. větev



$$U_1 - U_2 = U_{e2} - R_2 \cdot I_2$$

Obě výsledné rovnice

sečteme:

$$0 = (U_{e1} + U_{e2}) - (R_1 \cdot I_1 + R_2 \cdot I_2)$$

$$U_{e1} + U_{e2} = R_1 \cdot I_1 + R_2 \cdot I_2$$

Závěr:

2. Kirchhoffův zákon:

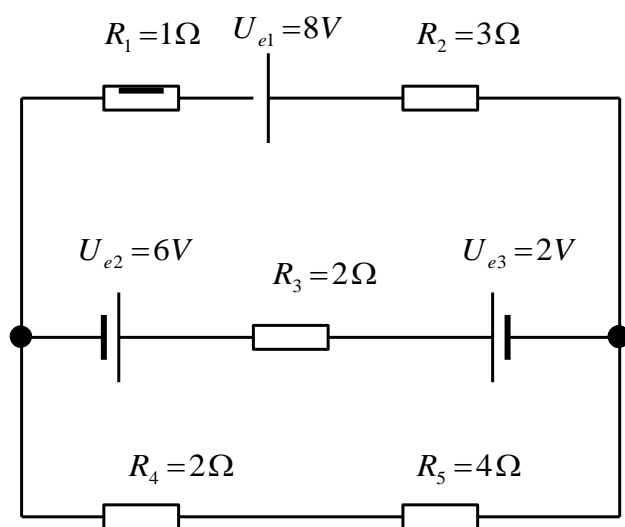
Součet napětí na rezistorech je v uzavřené smyčce roven součtu elektromotorických napětí zdrojů zapojených ve smyčce.

A obecně platí: $R_1 I_1 + R_2 I_2 + R_3 I_3 + R_n I_n = U_{e1} + U_{e2} + U_{en}$

Podle následujícího postupu budeme vždy postupovat:

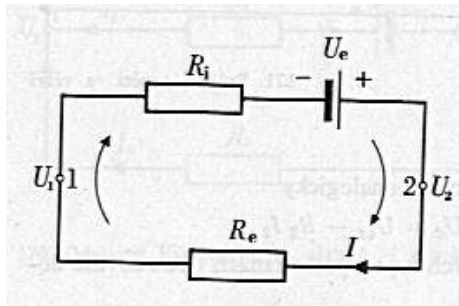
- Nejprve zvolíme označení a směry proudů v jednotlivých větvích bez ohledu na to, že skutečné směry zatím neznáme.
- Při sestavování rovnice pro proudy použitím 1. Kirchhoffova zákona bereme (podle dohody) proudy jejichž směr je vyznačený do uzlu s kladným znaménkem a proudy s opačně vyznačeným směrem se záporným znaménkem.
- Při sestavování rovnice na základě 2. Kirchhoffova zákona vybereme v síti uzavřenou smyčku a zvolíme v ní směr postupu. Elektromotorická napětí orientovaná souhlasně se směrem obíhání a napětí na rezistorech, kde zvolený směr proudu souhlasí se směrem obíhání, píšeme s kladným znaménkem, ostatní se znaménkem záporným.

Praktický příklad (Vzorové řešení)



5.4 Použití Kirchhoffových zákonů

a) jednoduchý obvod



Každý reálný zdroj má svůj vnitřní odpor, který se označuje R_i .

Zavedeme úhrnný odpor R a ten vypočteme: $R = R_i + R_e$, kde R_e – je vnější odpor

Výpočet jednotlivých napětí:

elektromotorické: $U_e = R_i I + R_e I = R I$

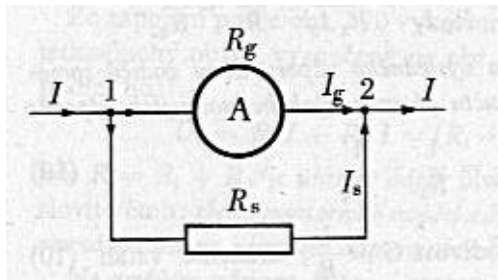
napětí na vnějším odporu: $U = R_e I = U_e - R_i I$

Pozor – Životní praxe:

Jestliže v obvodu bude zařazen jenom zdroj (spojení na krátko), dojde ke zkratu, vnější odpor je téměř nulový, proto napětí je maximální a proud bude maximální $I_{\max} = \frac{U_e}{R_i}$.

Odběr velkých proudů poškozuje každý zdroj. V bezpečnostních předpisech se na tuto okolnostech pamatuje. Proto každý výrobce i uživatel elektrických zdrojů je musí dodržovat. Do elektrických obvodů se zařazují různé jističe a pojistky, které zdroj odpojí, je-li proud v odvodu větší než povolená hodnota. Tím se současně chrání i spotřebič. V technické praxi se používají rovněž ochranné a omezovací rezistory.

b) zvětšení rozsahu ampérmetru



Ampérmetr slouží k měření proudu.

Druhy: elektrodynamické, feromagnetické, digitální. Bohužel lze použít pro měření menších proudů.

Měření větších proudů:

K ampérmetru se připojí bočník (shunt) a označíme ho R_s (viz. obrázek). V jedné větvi je měřič proudu (ampérmetr) o odporu R_g a v druhé větvi odpor R_s (zvaný shunt).

Vyjádríme si celkový proud I : $I = I_g + I_s$

Víme, že napětí je v celém obvodu stejné U (paralelní spojení): $R_g I_g = R_s I_s$

Z toho vyjádříme I_s : $I_s = I_g \cdot \frac{R_g}{R_s}$

Celkový proud I : $I = I_g + I_s = I_g + I_g \cdot \frac{R_g}{R_s} = I_g \left(1 + \frac{R_g}{R_s} \right)$.

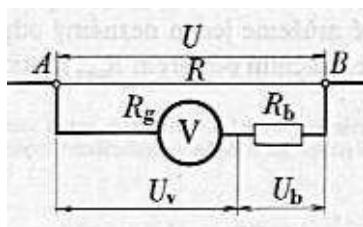
Hodnotu odporu shuntu (bočníku) zvolíme výhodně tak, aby nerozvětvený proud, který měříme, byl celočíselným násobkem proudu I_g .

Použití:

Při přepínání proudových rozsahů u ampérmetru.

5.5 Měření napětí a odporu

5.5.1 Měření napětí



Připojíme-li k dvěma bodům vedení ampérmetr s odporem R_g , je proud I_g procházející přístrojem přímo úměrný napětí U mezi

body: $U = R_g \cdot I_g$. Ampérmetr může být použit jako měřič napětí – **voltmetr**.

Paralelním připojením voltmetru k úseku vedení AB změní se původní hodnota odporu mezi body A a B, a tím i proud.

Aby bylo možné i při velkém odporu přístroje R_g měřit malé napětí U , musí být malé I_g , čili měřicí přístroj musí být citlivý, vhodný k měření slabých proudů (galvanometr). Protože přístroj zpravidla nemá potřebný odpor, zapojíme s ním do série tzv. předřadný odpor R_b (balast). Podle velikosti balastů můžeme libovolně měnit rozsah měření.

Měřené napětí U se rozdělí v poměru odporů R_b a R_g na balast a na přístroj. Má-li přístroj na stupnici vyznačené napětí U_v mezi svorkami, potom $\frac{U}{U_v} = \frac{(R_b + R_g)}{R_g}$ z čehož plyne výsledný

$$\text{vztah: } U = U_v \left(1 + \frac{R_b}{R_g} \right).$$

5.5.2 Měření odporu

Pro měření odporů je několik metod.

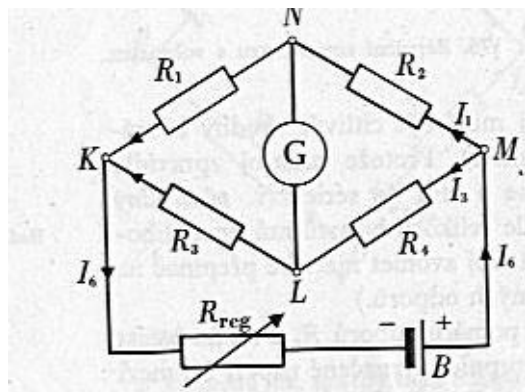
a) Přímá metoda

Při přímé metodě, o níž jsme již mluvili, se měří proud a napětí. Z těchto hodnot se pomocí Ohmova zákona vypočítá odpor.

b) substituční metoda

Stačí jen ampérmetr, kterým změříme proud. Pak neznámý odpor nahradíme stejně velkým známým odporem (dekádou, na které je možno odpor nastavovat), aby na měřicím přístroji byla stejná výchylka.

c) můstková metoda



Mají-li body L, N stejné potenciály, neprochází galvanometrem proud. Stane se to tehdy, je-li na vodičích od odporech R_1, R_3 stejný úbytek napětí (totéž platí pro odpory R_2, R_4). Potom platí rovnice $R_1 \cdot I_1 = R_3 \cdot I_3$, $R_2 \cdot I_1 = R_4 \cdot I_3$, protože proudy ve větvích od odporech R_1, R_2 jsou stejné a podobně i ve větvích odporech R_3, R_4 . Dělíme-li levou stranu první rovnice obou rovnic, dostaneme rovnost poměrů $R_1 : R_2 = R_3 : R_4$, z které můžeme jeden neznámý odpor vypočítat, známe-li ostatní tři.

Regulačním odporem R_{reg} nastavujeme vhodný proud. Při můstkové metodě dosahujeme změnami odporů toho, že galvanometrem neprotéká proud. Je to příklad tzv. nulové metody měření. Nulová metoda je přesnější než metoda výchylková.

5.5 Elektrická energie proudu

Prochází-li vodičem ustálený proud, je mezi dvěma průřezy vodiče stálé napětí U a za čas τ projde každým průřezem vodiče elektrický náboj $Q = I \tau$. Ve vodiči je elektrické silové pole a elektrické síly vykonají práci $W = Q \cdot U = U \cdot I \cdot \tau$.

Výkon proudu je dán: $P = \frac{W}{\tau} = \frac{U \cdot I \cdot \tau}{\tau} = UI$.

Měříme-li napětí ve voltech, proud v ampérech, čas v sekundách, vyjde práce v joulech a výkon ve wattech).

Dosazením z Ohmova zákona lze psát:

$$W = U \cdot I \cdot \tau = \frac{U^2 t}{R} = R \cdot I^2 \cdot \tau$$

$$P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = R \cdot I^2$$

Joulův zákon

Teplo, kterým se vodič při průchodu elektrického proudu zahřívá, se nazývá Joulovo teplo. Nedochází-li k jiným přeměnám elektrické energie (např. v energii mechanickou), je Joulovo teplo rovno práci elektrického proudu.

$$Q = U \cdot I \cdot \tau = \frac{U^2 t}{R} = R \cdot I^2 \cdot \tau$$

Pozor: Q vychází v Joulech je to teplo – ne náboj!!!!!!!

Účinnost spotřebiče

Účinnost spotřebiče je definována vztahem: $\eta = \frac{P}{P_0}$, kde P je výkon spotřebiče a P_0 je jeho

příkon.

Výkon spotřebiče je mírou práce, kterou spotřebič (např. elektromotor) vykoná za 1 s, popř. je mírou energie odevzdané spotřebičem uvažovanému tělesu za 1 s. (např. při ohřívání vody vařičem). Příkon spotřebiče P_0 je mírou elektrické energie odebrané spotřebičem ze zdroje napětí za 1 s.