

Jiří Vlček

JEDNODUCHÁ ELEKTROTECHNIKA

základní zapojení

odpor

kapacita

indukčnost

magnetismus

střídavý proud

polovodiče

silnoproud

autoelektronika

zesilovače

zdroje

logické obvody

OBSAH

1. Proudové pole	1
2. Elektrostatické pole	11
3. Magnetizmus	15
4. Střídavý proud	20
5. Polovodiče	29
6. Průchod proudu kapalinou a plynem	35
7. Měření	37
8. Silnoproud	38
9. Autoelektronika	49
10. Zesilovače	63
11. Napájecí zdroje	68
12. Číslicová technika	71

Úvod

Tato publikace je určená žákům SOU a SOŠ, pro které slaboproudá elektronika není hlavním studijním oborem a kteří se ji učí pouze stručně. Jedná se hlavně o obory Silnoproud, Autoelektrikář a Automechanik. Tím zároveň doplňuje moji učebnici Středoškolská fyzika. Je vhodná i pro žáky základních škol, kteří se s tímto oborem chtějí alespoň stručně seznámit. Obsahuje celou řadu praktických informací, které jsou důležité i pro neoborníky a které patří k všeobecnému vzdělání každého člověka.

Hlavní důraz je kladen na praktické využití získaných poznatků, které zde většinou předkládám bez hlubšího zdůvodnění. Závěrečné kapitoly popisují praktické použití základních znalostí v silnoproudé elektronice a autoelektronice, a jsou doplněny základy slaboproudé techniky.

1 Proudové pole

1.1 Základní pojmy

Elektrický proud je dán uspořádaným pohybem elektrických nábojů v určitém směru. Elektrický proud značíme písmenem **I**, jednotkou je **ampér (A)**. Definujeme jej pomocí silových účinků proudového pole. Ampér je základní jednotka v soustavě SI. Pomocí něj definujeme další elektrické veličiny.

$$I = Q/t \quad [A, C, s]$$

Proud 1 A představuje náboj jednoho coulombu, který projde vodičem za 1 sekundu. Elektrický náboj značíme Q a udáváme jej v coulombech (C).

V každém atomu existuje kladný náboj – **proton** a záporný náboj – **elektron**. Náboj nelze od částice oddělit. Nejmenší velikost má náboj elektronu. Označujeme jej $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. ($1 \text{ C} = 6,242 \cdot 10^{18}$ elektronů). Hmotnost elektronu $m_e = 9,11 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$. Vidíme, že náboj jednoho elektronu je velmi malý, menší než si dovedeme představit. Účinky elektrického proudu (obrovského množství elektronů pohybujících se stejným směrem) jsou dobře patrné a všichni je známe (svítící žárovka, točící se motor, atd).

Elektrický náboj se udává často v **ampérhodinách (Ah)**. $1 \text{ Ah} = 3\,600 \text{ As} = 3\,600 \text{ C}$. Touto veličinou se udává např. náboj (nepřesně kapacita) baterie.

Příčinou elektrického proudu je zdroj elektrické energie, který vytváří **elektrické napětí**. Značíme jej **U** a udáváme jej ve **voltech (V)**. **Mezi dvěma body je napětí 1 V, pokud k přenesení náboje 1 C mezi nimi musíme vykonat práci 1 J.**

$$U = A/Q \quad [V, J, C]$$

Proudová hustota $J = I/S$, udává se v ampérech na m^2 (častěji v A/mm^2). Aby se vodič průchodem proudem příliš nezahřival, nemá být proudová hustota obvykle vyšší než $4 A/mm^2$ (platí pro měď nebo hliník).

Příklad: Vodičem prochází proud $0,5 A$. Vypočítejte jeho minimální průměr, pokud nesmí být překročena proudová hustota $4 A/mm^2$. Nejprve musíme vypočítat jeho průřez

$$S = I/J = 0,5/4 = 0,125 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Ze znalosti průřezu potom podle známého vzorce (výpočet plochy kruhu) vypočítáme průměr, který jsme (na rozdíl od poloměru) schopni změřit posuvným měřítkem nebo mikrometrem.

$$S = \pi d^2/4 \quad d = \sqrt{4S/\pi} = 0,4 \text{ mm}$$

Výsledek zaokrouhlíme nahoru na nejbližší vyráběnou hodnotu vyráběného vodiče.

U páskového vodiče vypočítáme jeho průřez z příčných rozměrů jako součin šířky a tloušťky ($S = a \cdot b$, výpočet plochy obdélníku), viz *obr. 1.1d*.

Intenzita elektrického pole E udává, jak se mění napětí v závislosti na délce vodiče **I**, udává spád napětí. Jednotkou je volt na metr.

$$E = U/l \quad [V/m]$$

1.2 Ohmův zákon – elektrický odpor

Elektrický odpor se značí **R** vyjadřuje vlastnosti prostředí, kterým prochází elektrický proud. **Každý vodič má elektrický odpor**. Součástíka, jejíž základní vlastností je odpor, se nazývá **rezistor** (hovorově též odpor, není ale správné).

Jednotkou elektrického odporu jsou ohmy (kiloohmy $k\Omega$, megaohmy $M\Omega$).

$$1 \text{ k}\Omega = 1 \text{ 000 } \Omega \quad 1 \text{ M}\Omega = 1000 \text{ k}\Omega = 1 \text{ 000 000 } \Omega$$

Vodič má odpor 1 ohm, jestliže na něm při proudu 1 A naměříme úbytek napětí 1 V. Toto vyjadřuje Ohmův zákon:

$$R = U/I \quad [\Omega, V, A] \quad U = R \cdot I \quad I = U/R$$

Tento zákon je základem elektroniky, je nezbytné si jej zapamatovat a umět do něj dosadit. K tomu nám poslouží *obr. 1.1b*. Veličinu, kterou chceme spočítat, zakryjeme a tím získáme potřebný tvar Ohmova zákona.

O platnosti Ohmova zákona se můžeme přesvědčit jednoduchým pokusem:

Připojíme rezistor k regulovanému zdroji napětí, pro měření proudu zapojíme ampérmetr **A** (do série s rezistorem), pro měření napětí voltmetr **V** (paralelně s rezistorem). Postupně zvyšujeme napětí zdroje, do tabulky zapíšeme naměřené hodnoty proudu a napětí. Naměřené hodnoty graficky znázorníme.

Závislost proudu na napětí (voltampérová – VA charakteristika) je přímka, která prochází počátkem souřadnic. Říkáme, že **závislost napětí a proudu je lineární**, rezistor je tedy **lineární součástka**. Obvod složený pouze z lineárních součástek se nazývá **lineární obvod**. Nahradíme-li původní rezistor R_1 jiným (v tomto případě menším) rezistorem R_2 získáme jinou přímku. Pro každý rezistor bude platit, že poměr napětí a proudu je vždy konstantní (VA charakteristika je přímka, *obr 1.1a*).

Do Ohmova zákona dosazujeme odpor v ohmech, napětí ve voltech a proud v ampérech, což jsou základní jednotky. Někdy je ale jednodušší dosazovat napětí ve voltech, proud v miliampérech a odpor v kiloohmech. Přesvědčte se o tom na následujících příkladech. Při výpočtu oběma způsoby musíme dospět ke stejnému výsledku.

Příklad: Na rezistoru 2 k Ω jsme naměřili napětí 8 V. Jaký jím teče proud?

$$I = U/R = 8 \text{ V} / 2 \text{ k}\Omega = 4 \text{ mA} \quad (8 \text{ V} / 2000 \Omega = 0,004 \text{ A} = 4 \text{ mA})$$

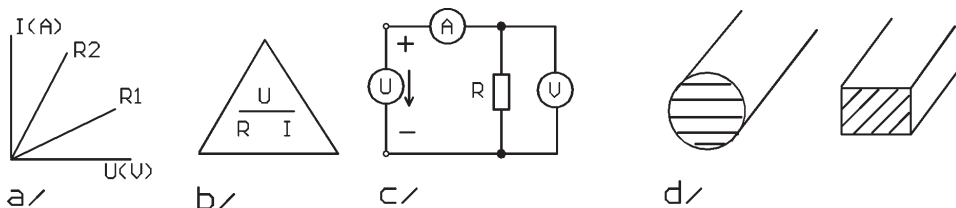
Vidíme, že obvod nemusíme rozpojovat a měřit proud, stačí jej z Ohmova zákona vypočítat.

Příklad: Rezistorem 1,5 k Ω teče proud 2 mA. Jaký je na něm úbytek napětí?

$$U = R \cdot I = 1,5 \text{ k}\Omega \cdot 2 \text{ mA} = 3 \text{ V} \quad (U = 1500 \Omega \cdot 0,002 \text{ A} = 3 \text{ V})$$

Příklad: Vodičem teče proud 10 A, úbytek napětí je na něm je 2 V. Jaký je jeho odpor?

$$R = U/I = 2 \text{ V} / 10 \text{ A} = 0,2 \Omega$$



Obrázek č. 1.1

- a) voltampérová charakteristika rezistorů (závislost proudu na napětí, $R_2 < R_1$)
- b) pomůcka pro zapamatování Ohmova zákona (veličinu, kterou počítáme zakryjeme)
- c) ověření Ohmova zákona (V = voltmetr, A = ampérmetr)
- d) průřez kruhového a páskového vodiče (vyšrafováno)

1.3 Odpor vodiče

Vodiče jsou nejčastěji kovy, u kterých je vazba mezi jádrem atomu a elektrony velmi slabá a elektrony se mezi jádry atomů mohou volně pohybovat a stávat se nositeli elektrického proudu.

Elektrický odpor je charakteristickou vlastností každého vodiče.

Odpor vodiče je přímo úměrný jeho délce, nepřímě úměrný jeho průřezu. **Vlastnosti materiálu popisuje veličina měrný odpor ζ (rezistivita), která se číselně rovná odporu vodiče 1 m dlouhého o průřezu 1 m².**

$$\text{Odpor vodiče } R = \zeta \cdot l/S \quad (\Omega, \Omega \cdot \text{m}, \text{m}, \text{m}^2).$$

V praxi se udává měrný odpor jako odpor vodiče dlouhého 1 m o průřezu 1 mm² ($\Omega \cdot \text{mm}^2 \text{m}^{-1}$).

Převrácenou hodnotou elektrického odporu je **vodivost**. Značí se **G**, jednotka **siemens (S)**.

$$G = 1/R = I/U \text{ [S, A, V]}$$

Převrácenou hodnotou měrného odporu je měrná vodivost γ . Platí $\mathbf{J} = \gamma \cdot \mathbf{E}$.

Teplotní závislost odporu

Měrný odpor se udává při teplotě 20 °C. S rostoucí teplotou jeho hodnota u kovů roste (tepelný pohyb atomů překáží pohybu volných elektronů). U nevodičů a polovodičů se naopak s rostoucí teplotou zvyšuje pravděpodobnost roztržení vazby mezi ionty nebo uvolnění elektronů. Tím se odpor snižuje.

1.4 Druhy vodičů

Nejllepšími vodiči jsou **stříbro**, **měď** a **hliník**. Nejpožívanější je měď. Stříbro je příliš drahé. Hliník je sice levnější než měď, snadno se ale láme, vlivem tlaku se deformuje (uvolnění kontaktů na svorkovnicích a velmi těžko se pájí).

Měrný odpor mědi je 0,0178 $\Omega \cdot \text{mm}^2 \text{m}^{-1}$.

Měrný odpor hliníku je 0,0285 $\Omega \cdot \text{mm}^2 \text{m}^{-1}$.

Železo je horší vodič než měď a hliník, má lepší mechanické vlastnosti (tvrdost, pevnost v tahu. Jádra některých silnoproudých kabelů se proto vyrábějí ze železa. Karosérie automobilu slouží jako společný vodič záporného napětí – kostra.

Zlato se používá k povrchové úpravě kvalitních konektorů (vrstva tloušťky zhruba 5 mm).

Existují speciální slitiny (**konstantan**, **manganin**) a s minimálním teplotním součinitelem odporu.

Příklad: Jak velký odpor má měděný vodič délky 15 m o průměru 0,1 mm? Jaký úbytek napětí na něm vznikne, protéká-li jím proud 0,1 A?

$$S = \pi d^2/4 = 3,14 \cdot 0,1^2/4 = 0,00785 \text{ mm}^2$$

$$R = \zeta \cdot l/S = 0,0178 \cdot 15/0,00785 = 34 \text{ } \Omega$$

$$U = R \cdot I = 34 \cdot 0,1 = 3,4 \text{ V}$$

Vidíme, že příliš malý průměr vodiče ve srovnání s protékajícím proudem není vhodný (ve výše uvedeném případě 12,73 A/mm²). Vzniká na něm velký úbytek napětí, vodič se zahřívá a může se přepálit (viz dále).

Pro srovnání vypočítáme stejný příklad pro $d = 0,4 \text{ mm}$.

$$S = 0,125 \text{ mm}^2, R = 2,1 \text{ } \Omega. \text{ Zvětšením průměru 4krát se odpor vodiče zmenšil 16krát.}$$

Příklad: Jaký musí být průměr měděného vodiče, který je dlouhý 2 m, aby na něm při proudu 4 A byl úbytek napětí 0,5 V?

$$R = U/I = 0,5/4 = 0,125 \text{ } \Omega$$

$$S = \zeta /R = 0,0178 \cdot 2/0,125 = 0,285 \text{ mm}^2$$

$$d = \sqrt{(4S/\pi)} = \sqrt{0,3628} = 0,6 \text{ mm}$$

1.5 Práce, výkon a tepelné účinky elektrického proudu

Z definice napětí (práce potřebná k přenesení náboje) můžeme snadno odvodit vztah mezi výkonem, proudem a napětím (Joule-Lencův zákon)

$$A = Q \cdot U = I \cdot t \cdot U \quad P \cdot t = I \cdot t \cdot U \quad \mathbf{P = I \cdot U [W, A, V]}$$

Tímto vzorcem je možné také definovat napětí: 1 volt je napětí, při němž se na vodiči proudem 1 A vyvine výkon 1 W.

Elektrická práce, kterou vykoná stejnosměrný proud mezi dvěma místy v proudovém obvodu za určitou dobu je dána napětím U mezi těmito místy, proudem I a dobou t, po kterou tento proud obvodem prochází.

Elektrický proud, který obvodem prochází je vlastně pohybem elektrických nábojů, který koná práci. Práce se mění v teplo.

Ztrátový výkon na vodiči nebo na rezistoru můžeme po dosazení do Ohmova zákona vypočítat ze vztahů:

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

Výkon můžeme vypočítat z kteréhokoliv z výše uvedených vzorců, vždy dostaneme stejné výsledky.

Při výpočtu používáme kterýkoliv z těchto vzorců.

Příklad: Vypočítejte ztrátový výkon na rezistoru, na kterém je napětí 20 V a kterým teče proud 0,1 A, všemi způsoby, ověřte shodnost výsledků.

$$P = U \cdot I = 20 \cdot 0,1 = 2 \text{ W} \quad R = U/I = 20/0,1 = 200 \Omega$$

$$P = U^2/R = 20^2/200 = 400/200 = 2 \text{ W}$$

$$P = R \cdot I^2 = 200 \cdot 0,1^2 = 200 \cdot 0,01 = 2 \text{ W}$$

Na každém vodiči vzniká průchodem elektrického proudu úbytek napětí, který je příčinou tepelných ztrát. Vodič se průchodem proudu zahřívá. Nosiče náboje – (nejčastěji volné elektrony kovů) narážejí na jádra atomů a způsobují jejich pohyb – teplo. Tepelné účinky elektrického proudu jistě všichni známe (žárovka, motor, kabely, elektronické přístroje).

Tyto ztráty jsou tím větší, čím větší je proud a čím tenčí je vodič. Vodiče, kterými teče velký proud (jednotky nebo desítky ampér), musí být dostatečně silné. Jinak by se přehřívaly, poškozovala by se jejich izolace a mohly by se i přerušit nebo zkratovat.

Je-li vodič poškozen nebo je-li špatně připojen ke svorkovnici (zoxidované nebo znečištěné kontakty), vzniká v takovém místě **přechodový odpor**. Na něm vznikají velké tepelné ztráty, odpor se zvětšuje, kontakty se opalují a v poškozeném místě se obvod nakonec přeruší.

Při daném odporu vodiče jsou tepelné ztráty na vodiči úměrné druhé mocnině procházejícího proudu. Při přenosu elektrické energie na velkou vzdálenost používáme vysokých napětí a tím i malých proudů, abychom tyto ztráty snížili na minimum (viz dále).

Tloušťku vodičů, které přenášejí informace (proud řádu miliampér) volíme zhruba 0,2 mm (s ohledem na mechanické požadavky). Oteplení takových vodičů je zanedbatelné.

Elektrickou práci udáváme buď v **joulech** – čti džaul (1 joule = práce spotřebiče o výkonu 1 W vykonaná za 1 sekundu, 1 J = 1 Ws - wattsekunda) nebo v **kilowatthodinách**.

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J} \quad (3 \text{ 600 kWh} = 3 \text{ 600 000 Ws})$$

V elektrických zařízeních (motor, transformátor, generátor) dochází k přeměně energie z jedné formy na druhou. Využití energie není nikdy stoprocentní, část energie se vždy ztrácí ve formě tepla. Definujeme:

Příkon P_1 energie přiváděná do spotřebiče

Výkon P_2 práce vykonávaná spotřebičem

Účinnost η udává, kolik procent se využije užitečným způsobem

$$\eta = 100 \% \cdot P_2/P_1 \quad [\%, \text{ W}, \text{ W}]$$

Účinnost motoru udává, kolik procent přiváděné elektrické energie se změně v mechanickou práci (zbytek se změně v teplo).

Účinnost transformátoru udává, kolik procent energie se přetransformuje z primárního do sekundárního vinutí (viz dále). Zbytek energie se změně v teplo.

Účinnost vařiče udává, kolik procent tepelné energie se využije (zbytek se rozptýlí).

Příklad: Topnou spirálou vařiče prochází při napětí 220 V proud 2,5 A. Jakou práci vykoná elektrický proud za 40 minut? Jaký je příkon vařiče?

$$P = U \cdot I = 220 \cdot 2,5 = 550 \text{ W} \text{ – příkon vařiče}$$

$$A = P \cdot t = 550 \text{ W} \cdot 40 \text{ min} \cdot 60 \text{ sec} = 1 \text{ 320 000 J}$$

$$1 \text{ 320 000} / 3 \text{ 600 000} = 0,367 \text{ kWh}$$

Příklad: Motor odebírá při napětí 230 V proud 1,2 A. Jaký je jeho výkon, pokud účinnost je 90 %.

$$P_1 \text{ (příkon)} = U \cdot I = 230 \cdot 1,2 = 276 \text{ W}$$

$$P_2 \text{ (výkon)} = P_1 \cdot \eta = 276 \cdot 0,9 = 248,4 \text{ W}$$

Příklad: Na rezistoru 100 Ω jsme naměřili úbytek napětí 5 V. Jak velký proud jím teče a jak velký je ztrátový výkon?

$$I = U/R = 5/100 = 0,05 \text{ A} = 50 \text{ mA}$$

$$P = U^2/R = 5^2/100 = 0,25 \text{ W} \text{ nebo } P = U \cdot I = 5 \cdot 0,05 = 0,25 \text{ W}$$

Příklad: Rezistor má hodnotu 4,7 Ω a maximální dovolené výkonové zatížení 0,2 W. Jak velký proud jím může protékat a pak velké napětí na něm může trvale být?

$$U = \sqrt{PR} = \sqrt{0,2 \cdot 4,7} = \sqrt{0,94} = 0,97 \text{ V}$$

$$I = \sqrt{P/R} = \sqrt{0,2/4,7} = \sqrt{0,04255} = 0,206 \text{ A}$$

Pokud ohříváme vodu elektrickým proudem, přemění se práce elektrického proudu v teplo Q. Platí vztah:

$$Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1),$$

kde **m** je hmotnost vody,

c měrné teplo vody = 4,18 $\cdot 10^3$ J/kg \cdot K

t_1 počáteční teplota vody

t_2 konečná teplota vody

Příklad: Kolik energie (tepla) potřebujeme k ohřátí 20 l vody z 10 na 40 °C?

$$Q = 20 \cdot 4,18 \cdot 10^3 \cdot (40 - 10) = 2,508 \cdot 10^6 \text{ J} = 0,7 \text{ kWh} \quad (: 3,6 \cdot 10^6)$$

Jak dlouho se bude tato voda ohřívát příkonem 2 kW?

$$A = Q = P \cdot t \quad t = Q/P = 0,7/2 = 0,35 \text{ hod} = 21 \text{ min}$$

Jaký je k tomu potřeba proud při napětí 230 V?

$$P = U \cdot I \quad I = P/U = 2000/230 = 8,7 \text{ A}$$

Účinnost ohřevu uvažujeme 100 %. Vidíme, že ohřev vody je činnost energeticky a tedy i finančně náročná. Elektrická topení, pračky, myčky a vařiče proto vyžadují velký proud, na který musí být dimenzovány přírodní vodiče a jističe.

1.6 Řešení jednoduchých obvodů s rezistor

Používáme Ohmův zákon a Kirhoffovy zákony.

1. KIRHOFFŮV ZÁKON – algebraický součet proudů do uzlu vstupujících se rovná součtu proudů z uzlu vystupujících. Uzel je místo, kde se stýkají 2 nebo více vodičů. Tento zákon je v podstatě zákonem zachování elektrického náboje. (Elektrický náboj ve vodiči nemůže vzniknout ani zaniknout.) Znaménkem, které proudům přiřadíme, rozlišujeme proudy do uzlu vstupující (např. +) a proudy z uzlu vystupující (např. -).

Jako příklad si odvodíme vzorec pro **PARALELNÍ ŘAZENÍ REZISTORŮ**.

Pro uzel A v obr. 1.2 a platí:

$I = I_1 + I_2$ – do tohoto vztahu dosadíme:

$$I_1 = U/R_1 \quad I_2 = U/R_2 \quad R = U/I$$

$$U/R = U/R_1 + U/R_2$$

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2$$

častěji uvádíme ve tvaru $R = (R_1 R_2)/(R_1 + R_2)$

Pro více rezistorů paralelně platí pouze vztah $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4$, který dále neupravujeme.

Příklad: Jaký je výsledný odpor paralelního spojení dvou rezistorů o hodnotách 1 kΩ?

$$R = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = 1/2 \text{ (k}\Omega\text{)} = 500 \Omega$$

Zapamatujte si, že odpor paralelního spojení dvou stejných rezistorů se rovná polovině hodnoty tohoto rezistoru.

Přidáme-li k rezistoru paralelně jiný, jeho odpor se vždy zmenší.

Příklad: O kolik procent se sníží odpor, přidáme-li k rezistoru 4,7 kΩ rezistor 47 kΩ?

$R = 4,7 \cdot 47 / (4,7 + 47) = 4,273 \text{ k}\Omega = 90,9 \%$ původní hodnoty. Pro přibližný odhad (abyste při experimentování nemuseli pořád brát do ruky kalkulačku) doporučuji předpokládat, že přidání paralelního rezistoru $10\times$ (100×) většího sníží odpor daného rezistoru o 10 (1) %.

Příklad: Ke zdroji napětí +12 V (palubní síť automobilu) jsou paralelně připojeny rezistory (světla, vyhřívání zadního skla, apod) $R_1 = 2 \Omega$ a $R_2 = 4 \Omega$. Jaký jimi poteče výsledný proud?

Z Ohmova zákona vypočítáme jednotlivé proudy.

$$I_1 = U / R_1 = 12 / 2 = 6 \text{ A}$$

$$I_2 = U / R_2 = 12 / 4 = 3 \text{ A}$$

Výsledný proud bude podle 1. Kirchoffova zákona $I = I_1 + I_2 = 6 + 3 = 9 \text{ A}$.

Kontrola: Výsledný odpor R paralelního spojení R_1 a R_2 je $2 \cdot 4 / (2+4) = 8/6 = 1,33 \Omega$

Výsledný proud $I = U/R = 12 / 1,333 = 9 \text{ A}$. Oběma způsoby se musíme dostat ke stejnému výsledku.

Všimněte si, že **menším odporem teče větší proud, větším odporem menší proud**, pokud jsou připojeny ke stejnému zdroji napětí.

Paralelně jsou zapojeny všechny spotřebiče v domácnosti k síti 230 V/50 Hz nebo spotřebiče v automobilu k palubní síti vozidla. Výsledný odběr proudu je vždy součtem proudů všech zapnutých spotřebičů. Ty pracují nezávisle na sobě, jejich napájecí napětí se nesmí měnit při zapnutí nebo vypnutí dalšího spotřebiče.

2. KIRCHHOFFŮV ZÁKON – algebraický součet svorkových napětí zdrojů a všech úbytků napětí na spotřebičích v uzavřené smyčce se rovná 0 nule. Smyčka je uzavřená dráha v části obvodu. Tento zákon je zákonem zachování energie.

Zdůvodnění: Při průchodu náboje elektrickým polem vzniká práce. Napětí na každém spotřebiči je dáno prací potřebnou k přemístění náboje. Projde-li náboj po uzavřené dráze musí být tato práce nulová, náboj se vrátí do místa stejného potenciálu (potenciál je napětí vůči referenčnímu uzlu – zemi).

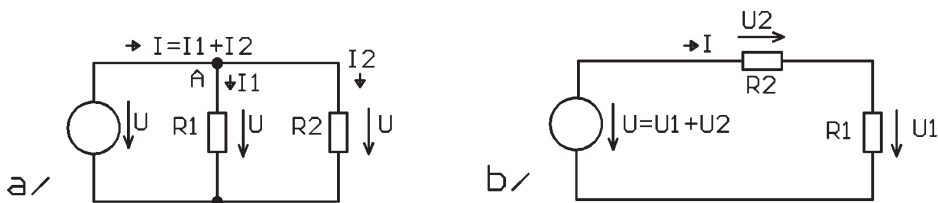
Jako příklad použití si odvodíme vzorec pro **SÉRIOVÉ ŘAZENÍ REZISTORŮ**.

$$U_1 + U_2 - U_o = 0 \quad R = \text{výsledný odpor}$$

$$R_1 I + R_2 I - U_o = 0$$

$$(R_1 + R_2) I = U_o \quad R = U_o / I \quad \mathbf{R = R_1 + R_2} \quad \text{všemi rezistory teče stejný proud}$$

Tento vztah platí pro libovolný počet rezistorů zapojených v sérii. Výsledný odpor je součtem všech odporů zapojených do série.



Obrázek č.1.2

Odvození vzorce pro a) paralelní (dělič proudu)

b) sériové (dělič napětí) řazení rezistorů

1.7 Dělič napětí

Z obrázku sériového zapojení rezistorů 1.2b si odvodíme důležitý vztah pro dělič napětí

$$\begin{aligned}U_1 &= R_1 I & U_2 &= R_2 I & U &= (R_1 + R_2) \cdot I \\U_1/U &= R_1 I / (R_1 + R_2) I & I &= R_1 / (R_1 + R_2) \\U_1 &= U \cdot R_1 / (R_1 + R_2)\end{aligned}$$

Tento vzorec je vztážen k výše uvedenému obrázku. Kdybychom ve schématu zaměnili R_1 a R_2 , museli bychom napětí U_1 vypočítat podle vzorce $U_1 = U \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$. V praktických zapojeních se samozřejmě nesetkáváme pouze s rezistory R_1 a R_2 . Proto doporučuji si zapamatovat, že v čitateli je rezistor, na kterém chceme napětí vypočítat a ve jmenovateli je součet všech rezistorů v uzavřené proudové smyčce (nemusí být pouze 2).

Příklad: $U = 12 \text{ V}$, $R_1 = 100 \text{ } \Omega$, $R_2 = 1100 \text{ } \Omega$ (viz obr. 1.2b). Vypočítejte napětí U_1 a U_2 a výsledný proud tekoucí obvodem.

$$\begin{aligned}U_1 &= U \cdot R_1 / (R_1 + R_2) = 12 \cdot 100 / (100 + 1100) = 1 \text{ V} \\U_2 &= U \cdot R_2 / (R_1 + R_2) = 12 \cdot 1100 / (100 + 1100) = 11 \text{ V} \\I &= U / (R_1 + R_2) = 12 \text{ V} / 1200 \text{ } \Omega = 0,01 \text{ A} \text{ nebo } 12 \text{ V} / 1,2 \text{ k}\Omega = 10 \text{ mA}\end{aligned}$$

$$\text{Kontrola: Platí 2. Kirhoffův zákon} \quad U = U_1 + U_2 \quad 12 = 1 + 11$$

Na obou rezistorech platí Ohmův zákon:

$$\begin{aligned}U_1 &= R_1 \cdot I = 100 \cdot 0,01 = 1 \text{ V} \\U_2 &= R_2 \cdot I = 1100 \cdot 0,01 = 11 \text{ V}\end{aligned}$$

Tímto způsobem jsme schopni vypočítané výsledky sami zkontrolovat. Na první pohled je zřejmé, že **na větším rezistoru je větší úbytek napětí než na menším**.

Při sériovém zapojení teče všemi spotřebiči (odpory) stejný proud. Vypnutí nebo poškození jednoho spotřebiče vypne proud v celém obvodu (příklad použití – žárovky na vánočním stromku).

Se sériovým zapojením se setkáme např. v automobilu u světel (viz obr. 9.2). Žárovka se k napájecímu napětí připojuje přes přepínač (nebo kontakt relé, viz dále) a přes pojistku.

Je-li pojistka v pořádku, je její odpor minimální. Stejně na sepnutém spínači je nulový odpor. Na žárovce je plné napájecí napětí, žárovka svítí. ($R_2 = 0$, $U_1 = U_0$).

Je-li přerušená pojistka, je její odpor nekonečně velký a je na ní plné napájecí napětí. Obvodem neprochází proud, žárovka nesvítí. Na žárovce je nulové napětí. ($R_2 = \infty$, $U_2 = U_0$, $U_1 = 0$, $I = 0$).

Obdobně je-li přepínač (relé) rozepnutý je na něm plné napájecí napětí.

Pokud je některý vodič přerušený, je v místě přerušení plné napájecí napětí.

Pokud žárovka nesvítí a přitom je na ní plné napájecí napětí, je její vlákno přerušené ($R_1 = \infty$, $U_1 = U_0$, $I = 0$).

Pokud je v obvodu nedokonalý kontakt, projevuje se při větším proudu úbytkem napětí, ohříváním se, případně jiskřením.

Důkladné pochopení funkce děliče napětí nám umožní takové závady snadno a rychle najít.