



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Elektrický proud v pevných látkách

Ing. Stanislav Jakoubek

Přehled studijních materiálů

Číslo DUMu	Název DUMu
<u>III/2-3-3-09</u>	<u>Elektrický proud v kovových vodičích</u>
<u>III/2-3-3-10</u>	<u>Jednoduchý elektrický obvod</u>
<u>III/2-3-3-11</u>	<u>Odpor vodiče</u>
<u>III/2-3-3-12</u>	<u>Ohmův zákon pro část obvodu</u>
<u>III/2-3-3-13</u>	<u>Ohmův zákon pro celý obvod</u>
<u>III/2-3-3-14</u>	<u>Kirchhoffovy zákony pro elektrické sítě</u>
<u>III/2-3-3-15</u>	<u>Spojování rezistorů</u>
<u>III/2-3-3-16</u>	<u>Práce a výkon elektrického proudu</u>
<u>III/2-3-3-17</u>	<u>Tepelné účinky elektrického proudu</u>
<u>III/2-3-3-18</u>	<u>Vlastní vodivost polovodičů</u>
<u>III/2-3-3-19</u>	<u>Příměsová vodivost polovodičů</u>
<u>III/2-3-3-20</u>	<u>Polovodiče v technické praxi – dioda a tranzistor</u>



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Elektrický proud v kovových vodičích

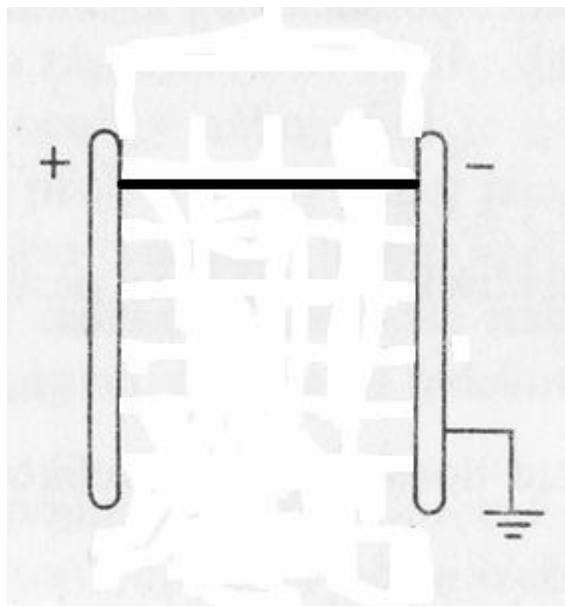
Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Elektrické pole a vedení proudu v pevných látkách
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-3-3
Číslo DUMu	III/2-3-3-09
Anotace	Uvedeme si a vysvětlíme si dvě základní podmínky pro existenci elektrického proudu. Pochopíme základní model vedení proudu v kovech. Poté si zavedeme elektrický proud jako fyzikální veličinu. Pomocí ní si vysvětlíme, co znamená například údaj 2700mAh na akumulátorech.

Elektrický proud jako fyzikální děj

- ▶ Uspořádaný pohyb elektricky nabitých částic.
- ▶ Těmto částicím obecně říkáme **nosiče proudu**.
- ▶ V kovech: elektrony
- ▶ V polovodičích: elektrony a díry
- ▶ V elektrolytech: elektrony, kladné, záporné ionty
- ▶ V plynech: elektrony, kladné a záporné ionty

Nutnost zdroje



- Spojím kovovým vodičem.
- Elektrony se přemístí, náboje se vyrovnají.
- Napětí poklesne na nulu, vymizí elektrické pole a vymizí i proud.

⇒ K udržení trvalého proudu potřebujeme **zdroj napětí**.

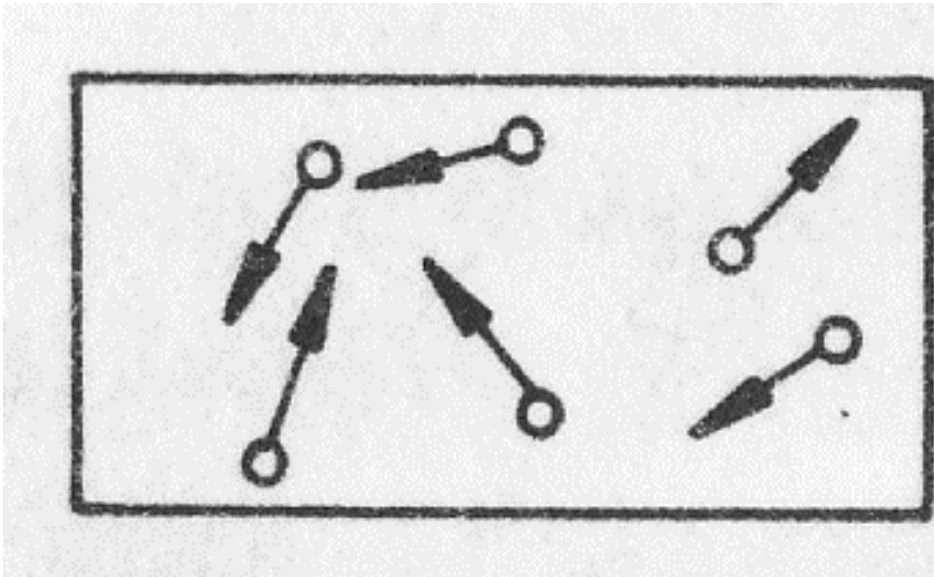
Nutné podmínky vedení el. proudu

- ▶ Existence volných nosičů náboje.
- ▶ Přítomnost zdroje napětí.

- ▶ Tyto podmínky jsou nutné bez ohledu na látku, ve které uvažujeme o elektrickém proudu.

Elektronová teorie vedení proudu v kovech

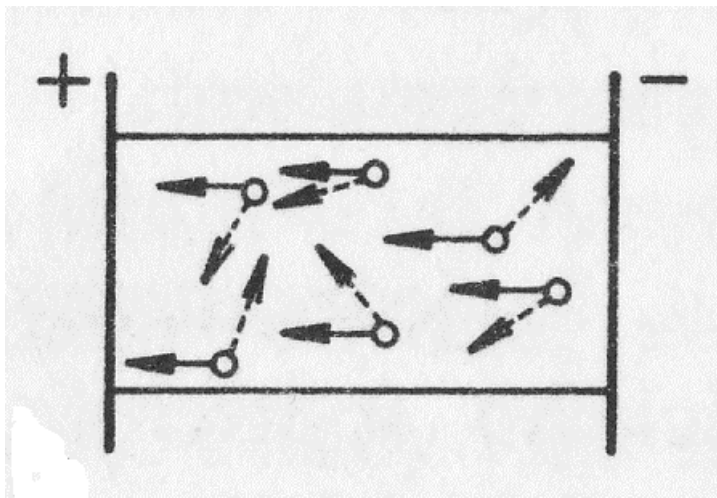
- ▶ Vodič bez zdroje napětí



Elektrony konají neuspořádaný, chaotický pohyb. Jde o tepelný pohyb. Připomíná to pohyb molekul plynu, proto se také hovoří o tzv. elektronovém plynu.

Elektronová teorie (pokračování)

- ▶ Vodič se zdrojem



Elektrické síly uvedou elektrony do pohybu.

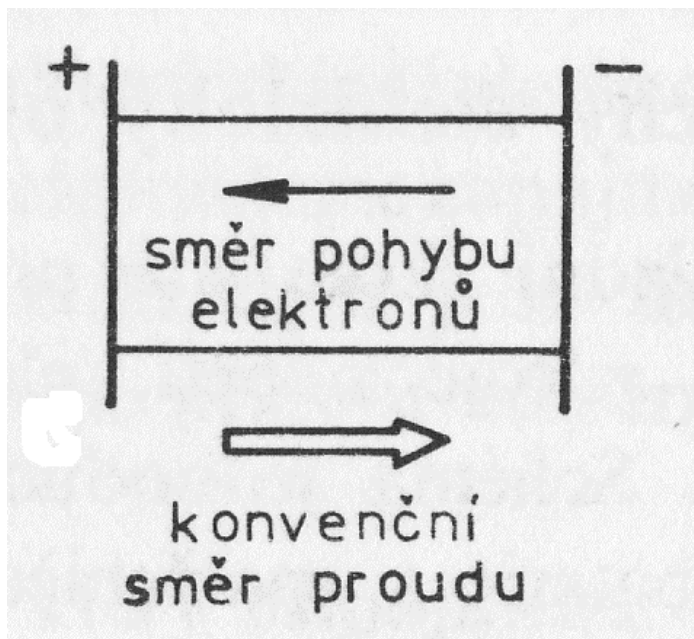
Tepelný pohyb trvá pochopitelně dále.

Rychlost uspořádaného pohybu je malá (řádově mm.s^{-1})

Proud ve vodiči vznikne všude současně, protože jsou do pohybu uvedeny elektrickým polem.

To se šíří rychlostí světla.

Směr proudu v kovech



- Konvenční = dohodnutý.
- Pochází z doby, kdy elektronová teorie nebyla známa.
- V technické praxi se používá stále.

Elektrický proud jako fyzikální veličina

- ▶ Velikost náboje, který projde průřezem vodiče za jednotku času.

$$I = \frac{Q}{t}$$

Jednotka: Ampér ... A

Vodičem prochází elektrický proud 1 A, pokud jeho průřezem projde za 1 s elektrický náboj 1 C.

Jiná jednotka elektrického náboje

$$I = \frac{Q}{t} \Rightarrow Q = I \cdot t \Rightarrow [Q] = A \cdot s$$

Ampérsekunda...As...1As=1C

Ampérhodina...Ah...1Ah=3600C

Použití: například kapacita
akumulátorů.

příklad

- ▶ Prohlédni si obrázek dobíjecí AA baterie. Jaký náboj v Coulombech nese za předpokladu plného nabití?



$$2700mAh = 2,7Ah = 2,7 \cdot 3600As = 9720As = 9720C$$

příklad

- ▶ Průřezem vodiče projde elektrický náboj 900C za 30 minut. Jaký stejnosměrný proud prochází vodičem?

$$Q = 900\text{C}, t = 30 \text{ min} = 1800\text{s}; I = ?$$

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{900}{1800} \text{ A} = 0,5\text{A}$$

Příklad

- ▶ Akumulátor se nabíjí konstantním proudem 5A po dobu 10h. O jakou hodnotu se při nabíjení zvětší náboj akumulátoru? Proč je formulace otázky „o jakou hodnotu“ a ne „na jakou hodnotu“?

$$I = 5A, t = 10h; \Delta Q = ?$$

$$\Delta Q = It = 5A \cdot 10h = 50A \cdot h = 50 \cdot 3600C = 180000C$$

Protože nevíme, jaký náboj byl v akumulátoru před začátkem nabíjení.

příklad

- ▶ Kolik elektronů projde za 1 s průřezem vodiče při konstantním stejnosměrném proudu 1 A?

$$t = 1\text{s}, I = 1\text{A}, e \doteq 1,602 \cdot 10^{-19} \text{C}; N = ?$$

$$N = \frac{Q}{e} = \frac{I \cdot t}{e} \doteq \frac{1 \cdot 1}{1,602 \cdot 10^{-19}} \doteq 6,24 \cdot 10^{18} \text{elektronů}$$

literatura

- ▶ [1] AUTOR NEUVEDEN. *cbelektro.sk* [online]. [cit. 4.10.2012]. Dostupný na WWW: <http://www.cbelektro.sk/eshop/action/productdetail/oc/48519/product/bateria-gp270aahc-r6-typ-gp-270aahc-bl-4x-gp.xhtml>.
- ▶ [2] BEDNAŘÍK, Milan; LEPIŠ, Oldřich. *Fyzika III pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1990, ISBN 80-04-24955-8.



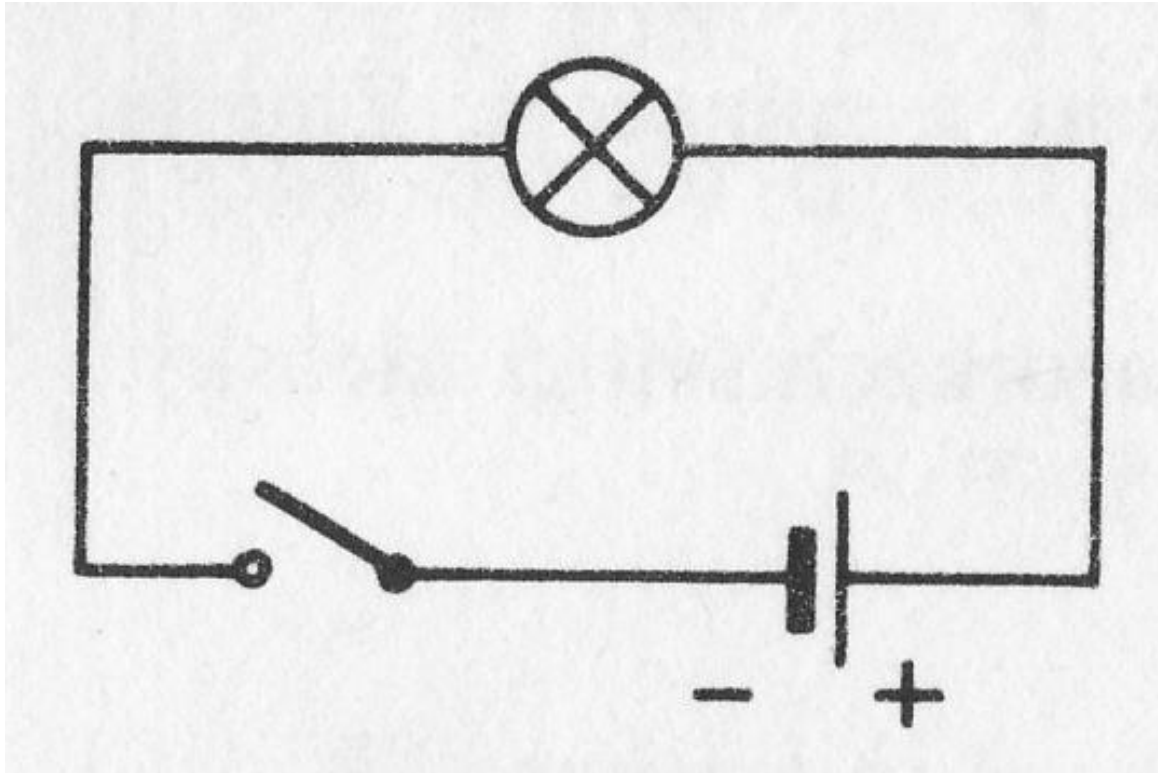
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Jednoduchý elektrický obvod

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Elektrické pole a vedení proudu v pevných látkách
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-3-3
Číslo DUMu	III/2-3-3-10
Anotace	Cílem článku je seznámit se s jednoduchým elektrickým obvodem. Ukážeme si (připomeneme si), jak se měří napětí a proud. A využijeme toho, že látka není rozsáhlá k uvedení přehledu některých základních elektrotechnických značek.

Schéma jednoduchého el. obvodu



Aktivní a pasivní části

Aktivní části

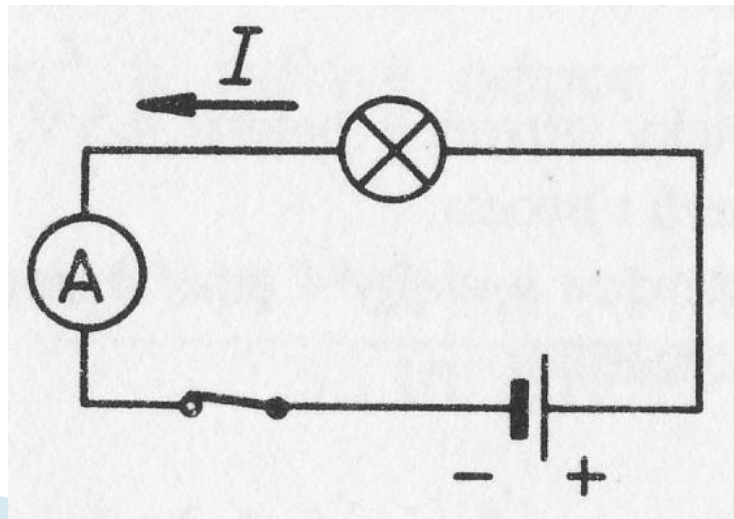
- ▶ Zdroj – vytváří stálé elektrické pole; dodává do obvodu energii; má kladný a záporný pól

Pasivní části

- ▶ Elektrický spotřebič – mění účelně elektrickou energii na jinou formu energie (mechanickou, světelnou, tepelnou,...)
- ▶ Spojovací vodiče – propojují zdroj se spotřebičem a spínačem; nejčastěji měděné či hliníkové; bývají chráněny izolačním povrchem
- ▶ Spínač – elektrický proud prochází pouze uzavřeným obvodem
- ▶ Zásuvky, kondenzátory, cívky, svorky, pojistky,...

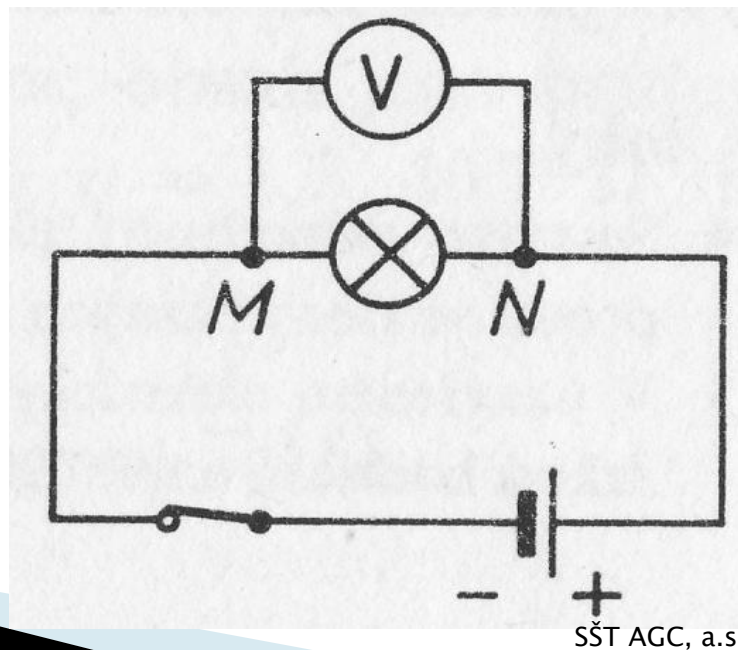
Měření elektrického proudu

- ▶ Měříme ampérmetrem
- ▶ Ampérmetr zapojujeme vždy sériově
- ▶ Proud v jednoduchém obvodu je všude stejný $\Rightarrow$ můžeme ho zapojit kamkoliv
- ▶ Nesmíme ho zapojit k nezatíženému zdroji!

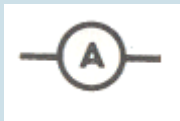


Měření elektrického napětí

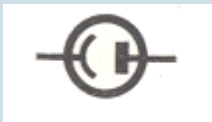
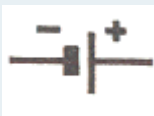
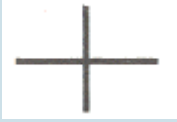
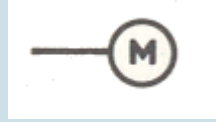
- ▶ Měříme voltmetrem; vždy paralelně
- ▶ Zapojujeme na body obvodu, mezi kterými chceme měřit napětí
- ▶ Zapojíme-li mezi svorky zdroje, měříme napětí na zdroji



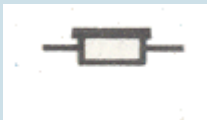
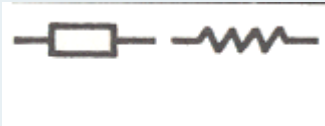
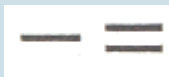
Některé Elektrotechnické značky

Název součástky	Značka	Název součástky	Značka
ampérmetr		dioda nepřímo žhavená	
anténa		dioda přímo žhavená	
baterie článků		dipól	
Cívka se železným jádrem – tlumivka		doutnavka	
cívka		feritové jádro	

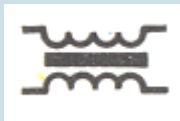
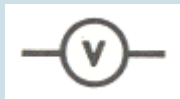
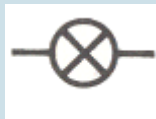
Některé Elektrotechnické značky

Název součástky	Značka	Název součástky	Značka
fotonka		křížení vodičů a s vodivým spojením	
galvanický článek		Měnitelný kondenzátor	
generátor		reostat	
kondenzátor		mikrofon	
křížení vodičů bez vodivého spojení		motor	

Některé Elektrotechnické značky

Název součástky	Značka	Název součástky	Značka
odbočení vodiče		sluchátko	
odpor		spojení s kovovou kostrou	
pojistka		stejnosměrný proud	
polovodičová dioda		střídavý a stejnosměrný proud	
reproduktor		střídavý proud	

Některé Elektrotechnické značky

Název součástky	Značka	Název součástky	Značka
Transformátor s železným jádrem		voltmetr	
tranzistor NPN		vypínač, spínač	
tranzistor PNP		žárovka	
uzemnění		zásuvka a vidlice	
vodič		fotorezistor	

literatura

- ▶ [1] AUTOR NEUVEDEN. *okhelp.cz* [online]. [cit. 9.10.2012]. Dostupný na WWW: <http://fyzika.okhelp.cz/elektrotechnicke-znacky/>.
- ▶ [2] BEDNAŘÍK, Milan; LEPIL, Oldřich. *Fyzika III pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1990, ISBN 80-04-24955-8.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Odpor vodiče

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Elektrické pole a vedení proudu v pevných látkách
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-3-3
Číslo DUMu	III/2-3-3-11
Anotace	Odpor patří mezi tři základní parametry každého vodiče. Vysvětlíme si jeho fyzikální význam. Dále zavedeme odpor jako fyzikální veličinu a budeme se zabývat jeho závislostí na teplotě. Seznámíme se s rezistory a jejich značením.

Odpor vodiče – fyzikální představa

- ▶ Elektrony při uspořádaném pohybu narážejí do krystalické mřížky kovu a do sebe navzájem. Tím se uspořádaný pohyb elektronů brzdí.
- ▶ Říkáme, že vodiče kladou elektrickému proudu **odpor**.
- ▶ Označení: R
- ▶ Jednotka: Ohm ... Ω
- ▶ Možný zápis: $R=20\Omega$, $R=10k\Omega$,...

Georg simon ohm (1789 – 1854)

- ▶ Německý fyzik



Na čem závisí odpor vodiče?

- ▶ Pochopitelně na jeho parametrech 😊
- ▶ Délka – čím delší, tím víc srážek a tedy tím větší odpor
- ▶ Průřez – čím větší průřez, tím méně srážek při průchodu daného náboje
- ▶ Materiál – měrný odpor vodiče (=rezistivita)

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Měrný odpor vodiče

- ▶ ρ – materiálová konstanta, uvedena v tabulkách
- ▶ Jednotka:

$$R = \rho \frac{l}{S} \Rightarrow \rho = \frac{RS}{l} \Rightarrow [\rho] = \frac{\Omega \cdot m^2}{m}$$

$$[\rho] = \Omega m$$

ohm metr

Měrný odpor pro některé látky

Látka	Měrný odpor [$\Omega \cdot m$]	Látka	Měrný odpor [$\Omega \cdot m$]
Bronz	$1,7 \cdot 10^{-7}$	Olovo	$2,1 \cdot 10^{-7}$
Cín	$1,7 \cdot 10^{-7}$	Platina	$1,05 \cdot 10^{-7}$
Hliník	$2,7 \cdot 10^{-8}$	Stříbro	$1,6 \cdot 10^{-8}$
Konstantan	$5 \cdot 10^{-7}$	Uhlíkové vlákno	$6 \cdot 10^{-5}$
Měď	$1,7 \cdot 10^{-8}$	Wolfram	$5,3 \cdot 10^{-8}$
Mosaz	$8 \cdot 10^{-8}$	Měkká ocel	$0,1 - 0,2 \cdot 10^{-6}$

příklad

- ▶ Vypočítejte odpor měděného drátu o průřezu 5mm^2 a délce 3km .

$$l = 3\text{km} = 3000\text{m}, S = 5\text{mm}^2 = 5 \cdot 10^{-6}\text{m}^2 = 0,000005\text{m}^2,$$

$$\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}; R = ?$$

$$R = \rho \frac{l}{S} = 1,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{3000}{0,000005} \Omega = 10,2 \Omega$$

Elektrická vodivost

- Je to převrácená hodnota elektrického odporu.

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{\rho} \frac{S}{l} \quad \frac{1}{\rho} = \gamma \text{ měrná elektrická vodivost}$$

$$G = \gamma \frac{S}{l}$$

Jednotka: $[G] = \frac{1}{[R]} = \frac{1}{\Omega} = \Omega^{-1} = S \dots \text{Siemens}$

příklad

- Určete elektrickou vodivost drátu z minulé úlohy ($R=10,2\Omega$). Vypočtete měrnou elektrickou vodivost mědi.

$$R = 10,2\Omega, \rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m; G = ?, \gamma = ?$$

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{10,2} S \doteq 0,098S \doteq 0,1S$$

$$\gamma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{1,7 \cdot 10^{-8}} S \cdot m^{-1} \doteq 58823529 S \cdot m^{-1} \doteq 6 \cdot 10^7 S \cdot m^{-1}$$

Závislost elektrického odporu na teplotě

- ▶ **Představa:** Při vyšší teplotě dochází k větším kmitům krystalové mříže a ke zvýšení chaotické složky rychlosti volných elektronů
⇒ častěji dochází ke srážkám elektronů s krystalovou mříží a hůře se „usměrňují“ ve svém pohybu.
- ▶ Jinak řečeno: **vodič má větší elektrický odpor**

Závislost el. Odporu na teplotě – pokrač.

$$R = R_0(1 + \alpha t)$$

R_0 – odpor při teplotě 0°C

t – teplota, při níž nás odpor zajímá

α – teplotní součinitel odporu

$\alpha > 0$... s rostoucí teplotou odpor roste; platí pro většinu kovů při teplotách o dost větších, než absolutní 0 ($T=0\text{K}$)

$\alpha < 0$... s rostoucí teplotou odpor klesá (uhlík, polovodiče, elektrolyty...)

Teplotní součinitel odporu pro některé látky

Látka	Teplotní součinitel odporu [K ⁻¹]	Látka	Teplotní součinitel odporu [K ⁻¹]
Bronz	$2 \cdot 10^{-3}$	Olovo	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Cín	$4,7 \cdot 10^{-3}$	Platina	$3,6 \cdot 10^{-3}$
Hliník	$4 \cdot 10^{-3}$	Stříbro	$3,8 \cdot 10^{-3}$
Konstantan	$3 \cdot 10^{-5}$	Železo	$5,6 \cdot 10^{-3}$
Měď	$4 \cdot 10^{-3}$	Wolfram	$4,4 \cdot 10^{-3}$
Mosaz	$1,5 \cdot 10^{-3}$	Litina	$1,9 \cdot 10^{-3}$

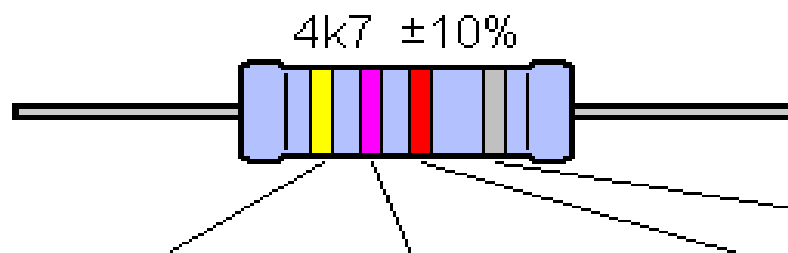
konstantan

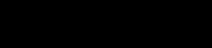
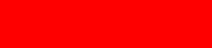
- ▶ Vyznačuje se velmi malou hodnotou teplotního součinitele odporu α .
- ▶ Malá hodnota α znamená, že odpor se se změnou teploty téměř nemění (v širokém rozmezí teplot je téměř konstantní; proto název konstantan)
- ▶ Slitina mědi (55%) a niklu (45%)
- ▶ Použití: odporové spirály tepelných spotřebičů, termostaty do žehliček, elektrických vařičů, ...

rezistory

- ▶ Předem stanovený odpor
- ▶ Drát z odporové slitiny izolovaný keramickým válečkem; na něm je vyznačena hodnota odporu.
- ▶ Hodnota je uvedena číselně nebo pomocí barevného značení.

Barevné značení rezistorů



BARVA		1 číslice	2 číslice	násobitel	úchylka
stříbrná		-	-	0,01	±10%
zlatá		-	-	0,1	± 5%
černá		-	0	1	-
hnědá		1	1	10	± 1%
červená		2	2	100	± 2%
oranžová		3	3	1k	-
žlutá		4	4	10k	-
zelená		5	5	100k	±0.5%
modrá		6	6	1M	±0.25%
fialová		7	7	10M	±0.1%
šedá		8	8	100M	-
bílá		9	9		-
žádná		-	-		±20%

potenciometr

- ▶ Prvek s proměnným odporem. Slouží jako regulovatelný odporový napěťový dělič



otočný



posuvný

Reostat (posuvný)

- ▶ Slouží ke spojitě změně odporu.
- ▶ Odpor se mění změnou délky odporového drátu zařazovaného do obvodu pomocí posuvného kontaktu (jezdce).



příklad

- Vypočtete elektrický odpor měděného a hliníkového vedení délky 1km a průřezu 4mm².

$$l = 1\text{km} = 1000\text{m}, S = 4\text{mm}^2 = 4 \cdot 10^{-6} \text{m}^2,$$

$$\rho_{Cu} = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}, \rho_{Al} = 2,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}; R = ?$$

$$R_{Cu} = \rho_{Cu} \frac{l}{S} = 1,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{1000}{4 \cdot 10^{-6}} \Omega = 4,25 \Omega$$

$$R_{Al} = \rho_{Al} \frac{l}{S} = 2,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{1000}{4 \cdot 10^{-6}} \Omega = 6,75 \Omega$$

příklad

- ▶ Odporový drát z konstantanu délky 20m a průřezu 1mm² má odpor 10Ω. Určete měrný odpor konstantanu.

$$l = 20m, S = 1mm^2 = 1 \cdot 10^{-6} m^2, R = 10\Omega; \rho = ?$$

$$R = \rho \frac{l}{S} \Rightarrow \rho = \frac{R \cdot S}{l} = \frac{10 \cdot 1 \cdot 10^{-6}}{20} \Omega \cdot m = 5 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot m$$

příklad

- ▶ Na jakou hodnotu se zvětší odpor železného a konstantanového drátu při zahřátí z 0°C na 100°C ? Jejich odpor při 0°C je 10Ω .

$$t_0 = 0^{\circ}\text{C}, t_1 = 100^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta t = 100^{\circ}\text{C}, R_0 = 10\Omega, \alpha_{Fe} = 5,6 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}, \\ \alpha_{k.} = 3 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}; R_1 = ?$$

$$R_{1Fe} = R_0 (1 + \alpha_{Fe} \Delta t) = 10 \cdot (1 + 5,6 \cdot 10^{-3} \cdot 100) \Omega = 15,6 \Omega$$

$$R_{1k.} = R_0 (1 + \alpha_{k.} \Delta t) = 10 \cdot (1 + 3 \cdot 10^{-5} \cdot 100) \Omega = 10,03 \Omega$$

Pozn.: R se u konstantanu téměř
nezměnilo!!

příklad

- ▶ Drát délky l a průřezu S rozdělíme na dvě stejné části, které svineme do jednoho lanka. Jaký je odpor lanka vzhledem k odporu R původního drátu?

$$l, S; l_1 = \frac{l}{2}, S_1 = 2S; R_1 = ?$$

$$R = \rho \frac{l}{S}; R_1 = \rho \frac{l_1}{S_1} = \rho \frac{\frac{l}{2}}{2S} = \rho \frac{l}{4S} \Rightarrow R_1 = \frac{R}{4}$$

Odpor se čtyřikrát zmenšil.

literatura

- ▶ [1] AUTOR NEUVEDEN. *Wikipedia.cz* [online]. [cit. 10.10.2012]. Dostupný na WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Georg-simon-ohm_1.jpg>.
- ▶ [2] AUTOR NEUVEDEN. *Konstantan* [online]. [cit. 10.10.2012]. Dostupný na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Konstantan>>.
- ▶ [3] PLHAL, Pavel. *Telefon.unas.cz* [online]. [cit. 10.10.2012]. Dostupný na WWW: <<http://telefon.unas.cz/znaceni-r/barevn2.htm>>.
- ▶ [4] IAIN. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 10.10.2012]. Dostupný na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Potentiometer.jpg>>.
- ▶ [5] IAINF. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 10.10.2012]. Dostupný na WWW: <<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/35/Faders.jpg>>.
- ▶ [6] KEKULE, Jaromír. *elektross.gjn.cz* [online]. [cit. 17.10.2012]. Dostupný na WWW: <http://elektross.gjn.cz/elektrina/el_proud/vedeni_proudu/kovy/ohm_zakon_vysledky.html>.
- ▶ [7] BEDNAŘÍK, Milan; LEPIŠ, Oldřich. *Fyzika III pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1990, ISBN 80-04-24955-8.



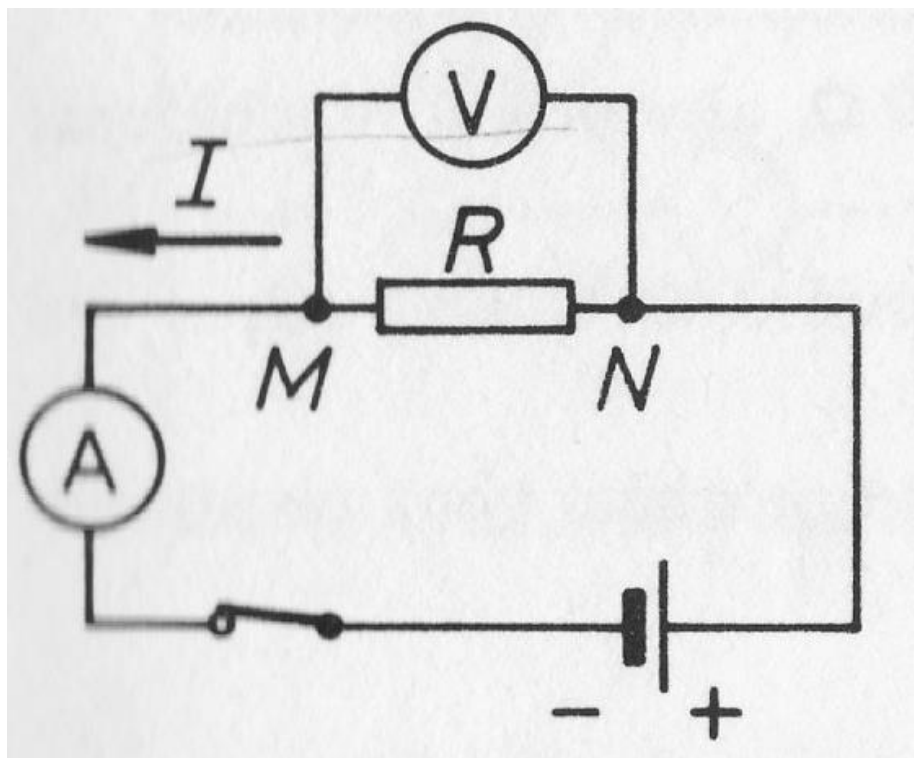
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Ohmův zákon pro část obvodu

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Elektrické pole a vedení proudu v pevných látkách
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-3-3
Číslo DUMu	III/2-3-3-12
Anotace	Známe pojem elektrické napětí. Víme, co znamená elektrický proud. A rovněž si pamatujeme, co je to elektrický odpor. A otázka zní: Souvisí nějak tyto veličiny mezi sebou? Odpověď zní: Ano. Jak přesně? Ohmův zákon nám odpoví. Takže s chutí do studia.

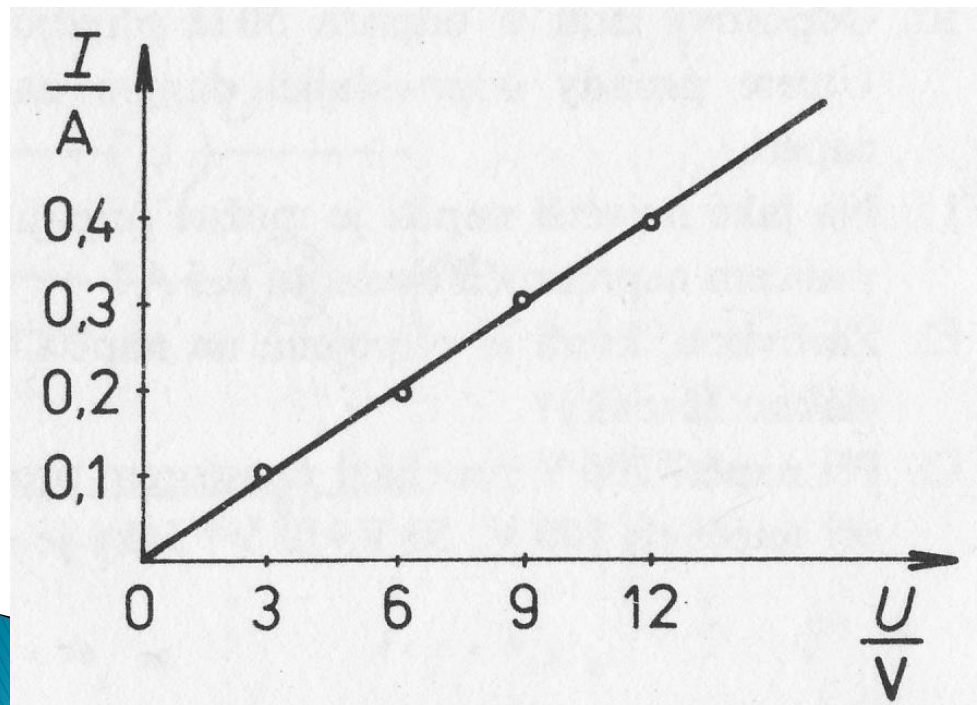
Úvodní pokus



- Voltmetrem měříme napětí U na rezistoru o známém odporu R .
- Ampérmetrem měříme proud I procházející obvodem.
- Měníme napětí a pozorujeme změnu proudu.
- Hodnoty U a I zapisujeme do tabulky.

Získaná tabulka a graf (modelové hodnoty)

U[V]	3	6	9	12
I[A]	0,12	0,19	0,31	0,38



Zjistíme lineární závislost, tedy přímou úměrnost mezi proudem a napětím.

Ohmův zákon (pro část obvodu)

- ▶ Proud / procházející obvodem je přímo úměrný napětí U na rezistoru.

$$I = \frac{1}{R}U$$

$$I = GU$$

Poznámka:

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow U = RI \Rightarrow R = \frac{U}{I}$$

Definice jednotky odporu ohm (Ω)

$$R = \frac{U}{I}$$

Nelze chápat jako závislost odporu na napětí nebo proudu, protože pro daný vodič za stálých vnějších podmínek je konstantní.

$$1\Omega = \frac{1V}{1A}$$

Vodič má elektrický odpor 1Ω , jestliže jím při napětí $1V$ na jeho koncích prochází proud $1A$.

příklad

- ▶ Odporový drát o odporu 50Ω připojujeme postupně na napětí 6V, 12V a 24V. Určete proudy odpovídající daným napětím a sestrojte graf závislosti proudu na napětí.

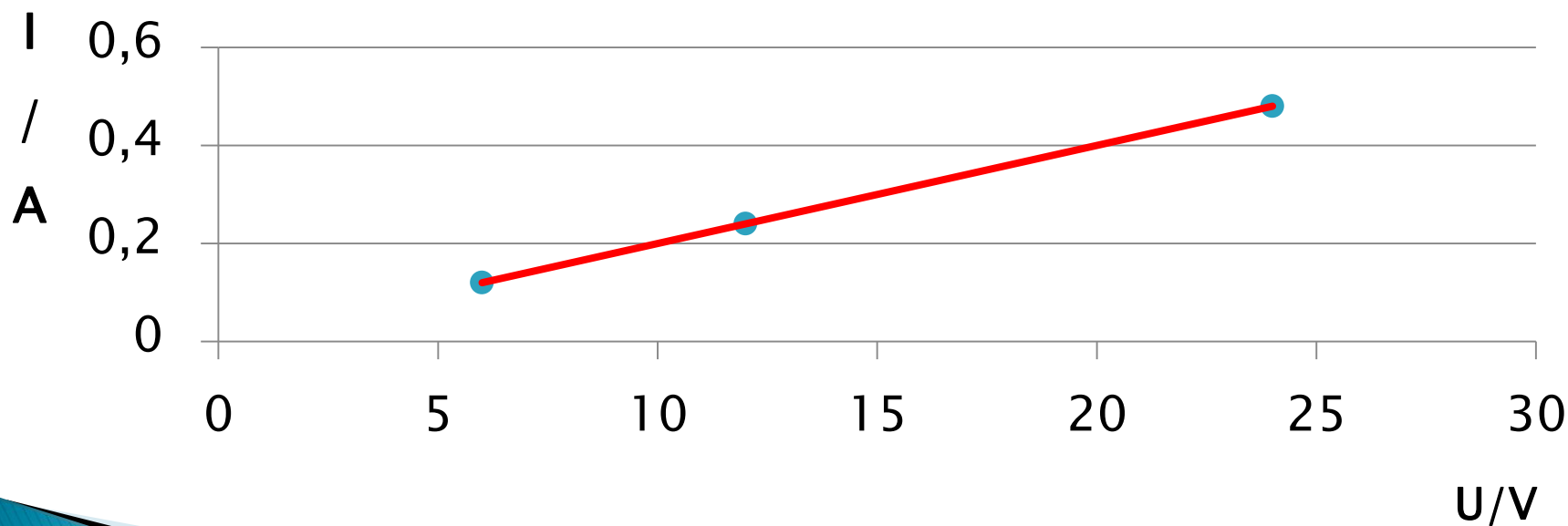
$$R = 50\Omega, U = 6V, 12V, 24V; I = ?$$

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow I_6 = \frac{6}{50} A = 0,12A; I_{12} = \frac{12}{50} A = 0,24A; I_{24} = \frac{24}{50} A = 0,48A$$

Graf k řešenému příkladu

U[V]	6	12	24
I[A]	0,12	0,24	0,48

Závislost proudu na napětí



příklad

- ▶ Na jaké největší napětí je možné připojit vodič o odporu 9Ω , aby proud procházející vodičem nepřekročil hodnotu $0,5A$?

$$R = 9\Omega, I_{\max} = 0,5A, U_{\max} = ?$$

$$U_{\max} = R \cdot I_{\max} = 9 \cdot 0,5V = 4,5V$$

příklad

- ▶ Žárovkou, která je připojena na napětí 4,5V, prochází proud 0,02A. Jaký odpor má vlákno žárovky?

$$U = 4,5V, I = 0,02A; R = ?$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{4,5}{0,02} \Omega = 225\Omega$$

příklad

- ▶ Při napětí 200V prochází rezistorem proud 4A. Jaký proud prochází tímž rezistorem při napětí 100V, 50V, 10V? Jaký je odpor rezistoru?

$$U = 200V, I = 4A, U_1 = 100V, 50V, 10V; I_1 = ?, R = ?$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{200}{4} \Omega = 50\Omega$$

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow I_{100} = \frac{100}{50} A = 2A; I_{50} = \frac{50}{50} A = 1A; I_{10} = \frac{10}{50} A = 0,2A$$

literatura

- ▶ [1] BEDNAŘÍK, Milan; LEPIŠ, Oldřich. *Fyzika III pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1990, ISBN 80-04-24955-8.



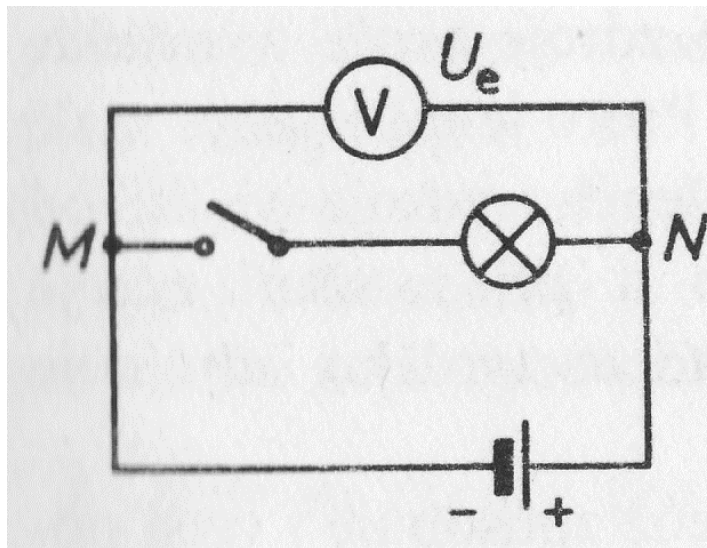
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Ohmův zákon pro celý obvod

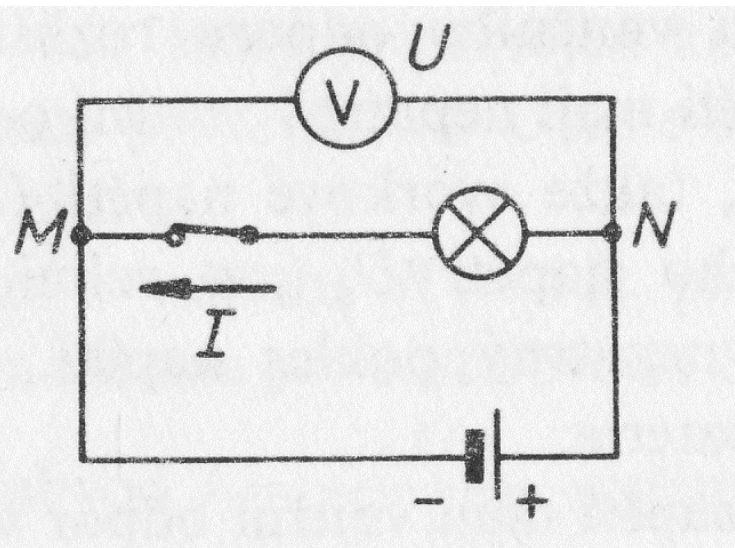
Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Elektrické pole a vedení proudu v pevných látkách
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-3-3
Číslo DUMu	III/2-3-3-13
Anotace	Již víme, že jakýkoliv reálný materiál (s výjimkou supravodičů ☺) klade průchodu elektrického proudu odpor. Z toho ovšem plyne, že i samotný zdroj, kterým prochází proud, klade odpor. Jak se tento tzv. vnitřní odpor zdroje projeví v obvodu? Předložený DUM nám na tuto otázku dá odpověď.

Úvodní pokus



U_e – elektromotorické napětí (= napětí naprázdno = napětí nezatíženého zdroje).



U – svorkové napětí (= napětí zatíženého zdroje)

$$U < U_e$$

Vysvětlení

- ▶ Elektrický proud prochází všemi částmi obvodu, tedy i zdrojem.
- ▶ Každá součástka, tedy i zdroj, klade průchodu elektrického proudu odpor.
- ▶ **Vnitřní odpor zdroje**

Ohmův zákon pro celý obvod

- ▶ Označíme:
- ▶ R ...odpor vnějších částí obvodu
- ▶ R_i ...vnitřní odpor zdroje
- ▶ Celkový odpor obvodu tedy je: $R + R_i$

$$I = \frac{U_e}{R + R_i}$$

upravíme

$$I = \frac{U_e}{R + R_i} \Rightarrow U_e = IR + IR_i \Rightarrow U_e = U + U_i$$

$IR = U$... svorkové napětí

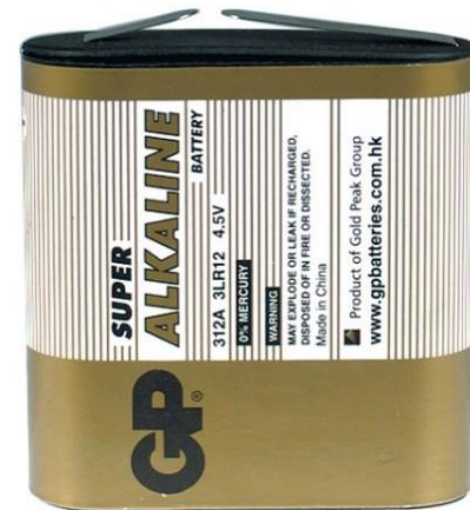
$IR_i = U_i$... napětí na vnitřním odporu zdroje

$$U = U_e - U_i$$

Svorkové napětí je menší než napětí elektromotorické o napětí na vnitřním odporu zdroje.

Dělení zdrojů napětí podle velikosti vnitřního odporu

- ▶ Tvrdé zdroje napětí
- ▶ Měkké zdroje napětí



Tvrdé zdroje napětí

- ▶ Mají nepatrný vnitřní odpor R_i .
- ▶ $U_i = I \cdot R_i$ je nepatrné
- ▶ Svorkové napětí U se od elektromotorického napětí U_e příliš neliší.
- ▶ Příklad tvrdého zdroje: akumulátorová baterie

Měkké zdroje napětí

- ▶ Mají větší vnitřní odpor
- ▶ Při zatížení zdroje výrazněji klesá napětí
- ▶ Příklad měkkého zdroje: plochá baterie

Vliv proudu na svorkové napětí

- ▶ Otevřený spínač: $I=0A, U_i=0V$; $U=U_e-U_i \Rightarrow U=U_e$
- ▶ Žárovku nahradím měděným vodičem a sepnu:

R hodně klesne (k 0Ω) $\Rightarrow U=IR \simeq 0V$

$$U = U_e - IR_i \Rightarrow U_e = IR_i \Rightarrow I_z = \frac{U_e}{R_i}$$

I_z ... zkratový proud

R_i je malé $\Rightarrow I_z$ je velký $\Rightarrow$ **ZKRAT** (spojení nakrátko)

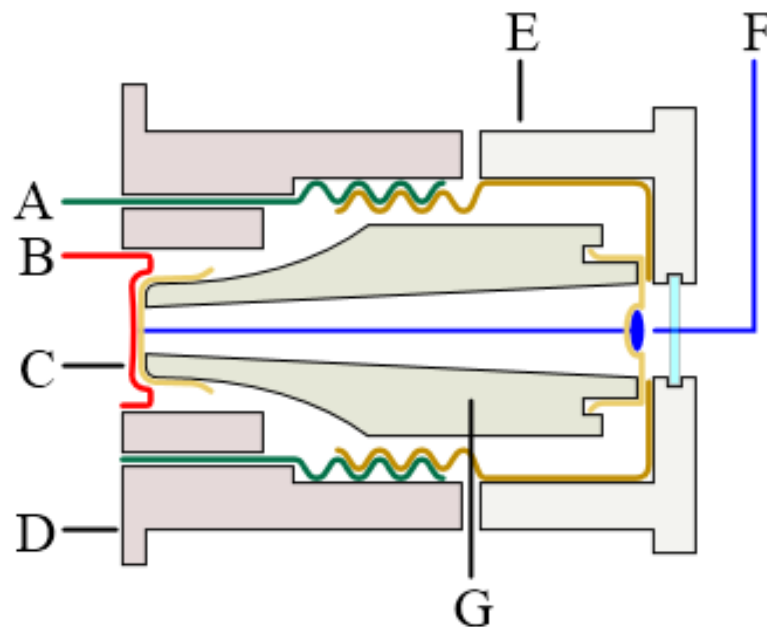
Nebezpečí zkratu

- ▶ Zejména u tvrdých zdrojů (mají velmi malý R_i)
- ▶ U elektrické rozvodné sítě – při zkratu se silně zahřeje a může dojít k požáru
- ▶ Ochrana: jističe, pojistky – při zkratu přeruší obvod.

Elektrická pojistka

- ▶ Přeruší obvod při nadporodu nebo zkratu.
- ▶ Uvnitř pojistky je tenké vlákno, které se při určité velikosti proudu přepálí.
- ▶ Princip: Průchodem elektrického proudu se vodič zahřívá.

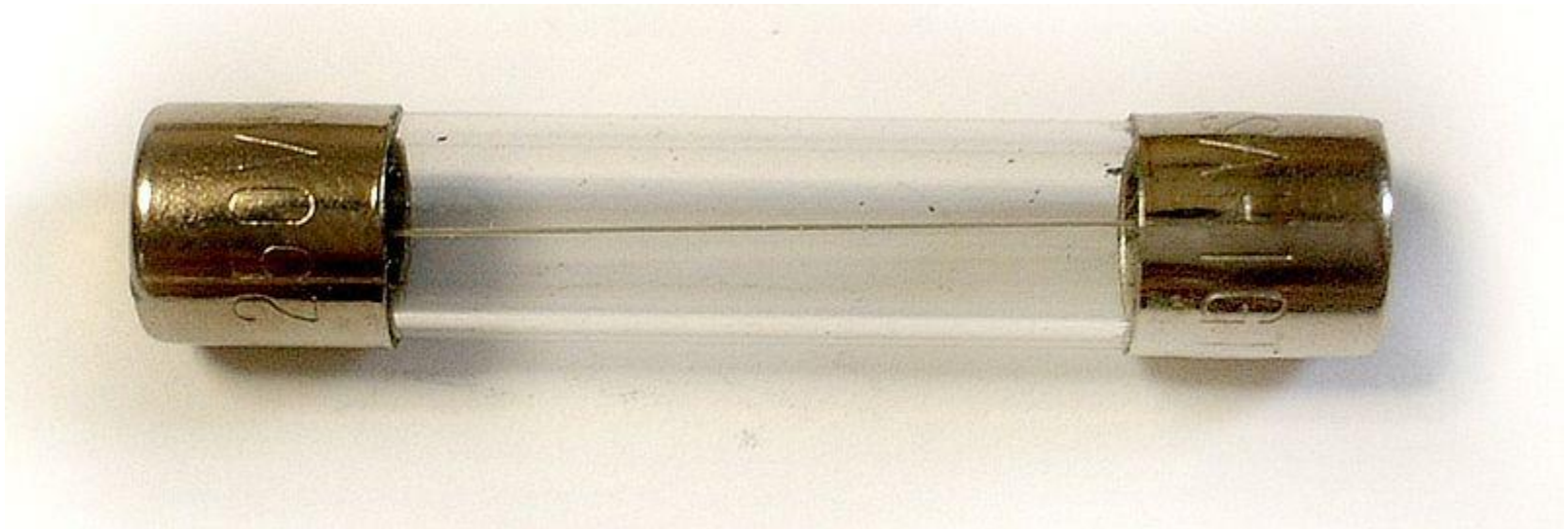
Keramická pojistka



A: Vývod ke spotřebiči; B: přívod proudu ze sítě; C: vymezovací kroužek; D: objímka, pojistkový spodek; E: šroubovací pojistková hlavice; F: tavný vodič s barevným signalizačním terčíkem; G: pojistková vložka

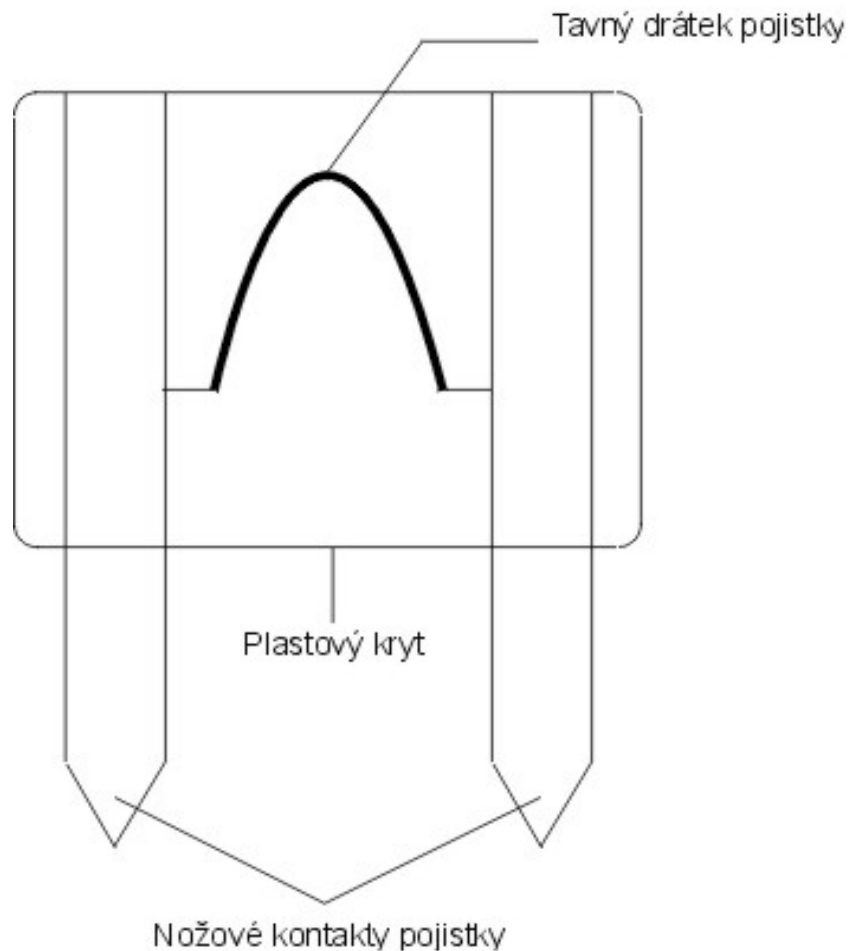
Skleněná trubičková pojistka

- ▶ Používá se například v přístrojích



Automobilové pojistky (nožové)

Tavná pojistka



příklad

- ▶ Vnější obvodem o odporu 4Ω , který je připojen ke zdroji elektromotorického napětí $12V$, prochází proud $2,5A$. Určete svorkové napětí, vnitřní odpor zdroje a zkratový proud.

$$R = 4\Omega, U_e = 12V, I = 2,5A; U = ?, R_i = ?, I_z = ?$$

$$U = IR = 2,5 \cdot 4V = 10V$$

$$I = \frac{U_e}{R + R_i} \Rightarrow R_i = \frac{U_e}{I} - R = \left(\frac{12}{2,5} - 4 \right) \Omega = 0,8\Omega$$

$$I_z = \frac{U_e}{R_i} = \frac{12}{0,8} A = 15A$$

Příklad

- ▶ Elektromotorické napětí článku je 1,5V, jeho vnitřní odpor je $0,8\Omega$. Jaký proud prochází vnějším obvodem, jehož odpor je $5,2\Omega$?

$$U_e = 1,5V, R_i = 0,8\Omega, R = 5,2\Omega; I = ?$$

$$I = \frac{U_e}{R + R_i} = \frac{1,5}{5,2 + 0,8} A = 0,25A$$

příklad

- Určete vnitřní odpor akumulátoru o elektromotorickém napětí 6V, prochází-li vnějším obvodem o odporu 12Ω proud 0,48A.

$$U_e = 6V, R = 12\Omega, I = 0,48A; R_i = ?$$

$$I = \frac{U_e}{R + R_i} \Rightarrow IR + IR_i = U_e \Rightarrow R_i = \frac{U_e - IR}{I} = \frac{U_e}{I} - R$$

$$R_i = \left(\frac{6}{0,48} - 12 \right) \Omega = 0,5\Omega$$

příklad

- ▶ Určete zkratový proud u zdroje o elektromotorickém napětí 9V s vnitřním odporem 2Ω .

$$U_e = 9V, R_i = 2\Omega; I_z = ?$$

$$I_z = \frac{U_e}{R_i} = \frac{9}{2} A = 4,5A$$

příklad

- ▶ Baterie 4,5V má vnitřní odpor 1Ω . Určete její svorkové napětí, je-li odpor vnějšího obvodu $3,5\Omega$.

$$U_e = 4,5V, R_i = 1\Omega, R = 3,5V; U = ?$$

$$U = U_e - U_i = U_e - R_i I = U_e - R_i \frac{U_e}{R + R_i}$$

$$U = \left(4,5 - 1 \cdot \frac{4,5}{3,5 + 1} \right) V = 3,5V$$

literatura

- ▶ [1] AUTOR NEUVEDEN. *Battery expert* [online]. [cit. 26.10.2012]. Dostupný na WWW: <<http://www.battery.cz/detailmg.php?idi=9808>>.
- ▶ [2] AUTOR NEUVEDEN. *cenyzbozi.cz* [online]. [cit. 26.10.2012]. Dostupný na WWW: <<http://www.ms-hasicaky.cz/alkalicke-baterie/1014-baterie-gp-super-alkaline-plocha-45v.html>>.
- ▶ [3] AUTOR NEUVEDEN. *Elektrická pojistka* [online]. [cit. 26.10.2012]. Dostupný na WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%A1_pojistka>.
- ▶ [4] MESKAUSKAS, Audrius. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 26.10.2012]. Dostupný na WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Swiss_fuses.jpg>.
- ▶ [5] MIRACETI. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 26.10.2012]. Dostupný na WWW: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/72/Cartridge_Fuse_letters.svg>.
- ▶ [6] HARAGAYATO. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 26.10.2012]. Dostupný na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Fuse.jpg>>.
- ▶ [7] MINDERHOUD, M.. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 26.10.2012]. Dostupný na WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Car_fuses.jpg>.
- ▶ [8] LAVIČKA, Petr. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 26.10.2012]. Dostupný na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Pojistka3.jpg>>.
- ▶ [9] BEDNAŘÍK, Milan; LEPIĽ, Oldřich. *Fyzika III pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1990, ISBN 80-04-24955-8.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

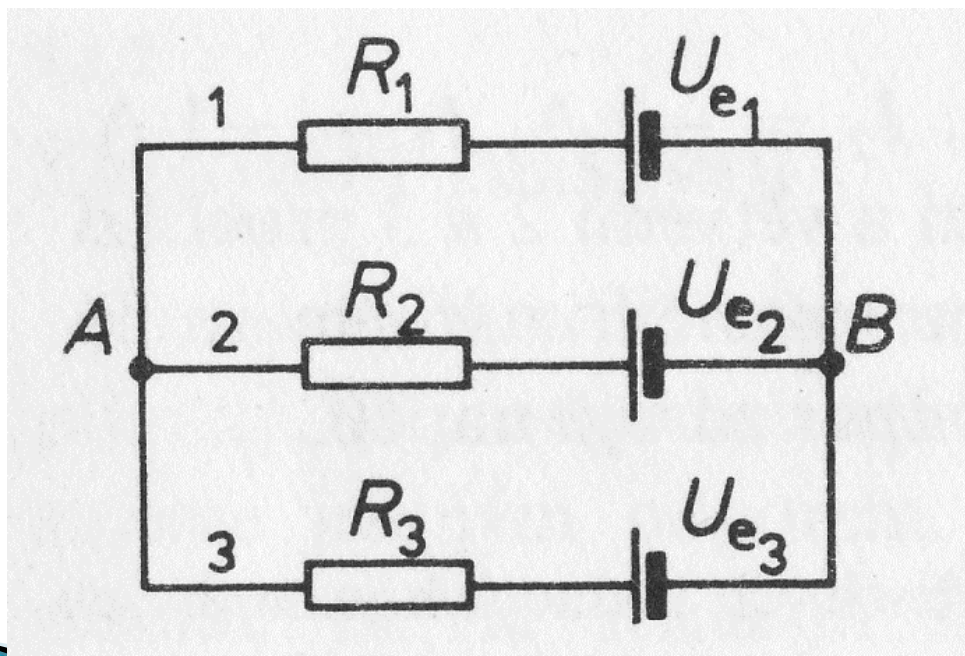
Kirchhoffovy zákony (pro elektrické sítě)

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Elektrické pole a vedení proudu v pevných látkách
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-3-3
Číslo DUMu	III/2-3-3-14
Anotace	Jednoduchý obvod je fajn. Ale zase na druhou stranu – velkou díru do aplikačního světa s ním neuděláme. Daleko častěji se setkáme s elektrickými sítěmi. Jenže jak zjistíme, jaké proudy procházejí jednotlivými větvemi? Na to existuje celá řada chytrých pouček. S jednou z nich, s Kirchhoffovými zákony, se seznámíme v předloženém DUMu.

Prvky elektrických sítí

- ▶ Uzel ... setkávají se v něm nejméně tři vodiče
- ▶ Větev ... vodivé spojení mezi dvěma uzly



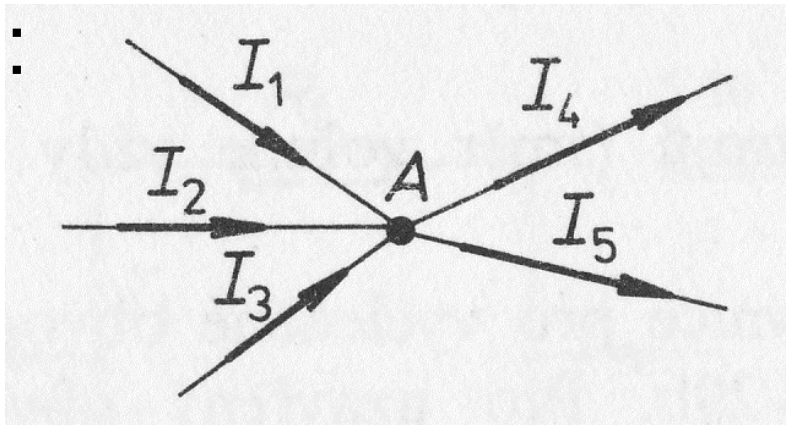
Dva uzly.
Tři větve.

1. Kirchhoffův zákon

- ▶ Součet proudů, které do uzlu vstupují, se rovná součtu proudů, které z něho vystupují.

Například

d:



$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5$$

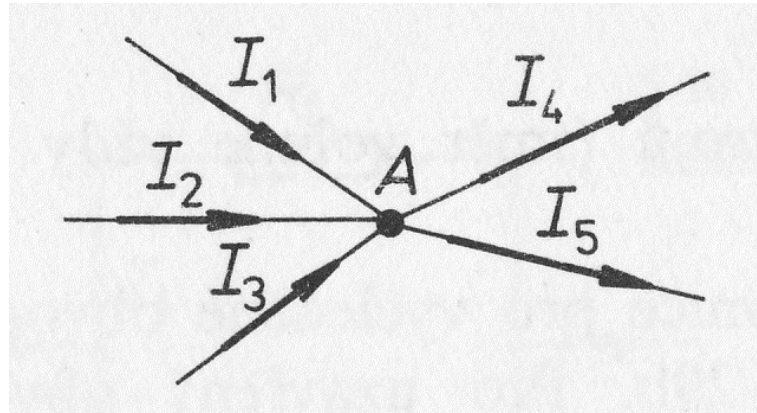
Obecně:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0$$

Poznámka: 1.K.z. vlastně říká, že se v uzlu nehromadí elektrický náboj. Jaký náboj do uzlu vteče, musí z něj vytéct.

příklad

- ▶ V uzlu se setkávají proudy $I_1=25\text{mA}$, $I_2=75\text{mA}$, $I_3=150\text{mA}$, $I_4=200\text{mA}$. Určete proud I_5 .



$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5 \Rightarrow I_5 = I_1 + I_2 + I_3 - I_4$$

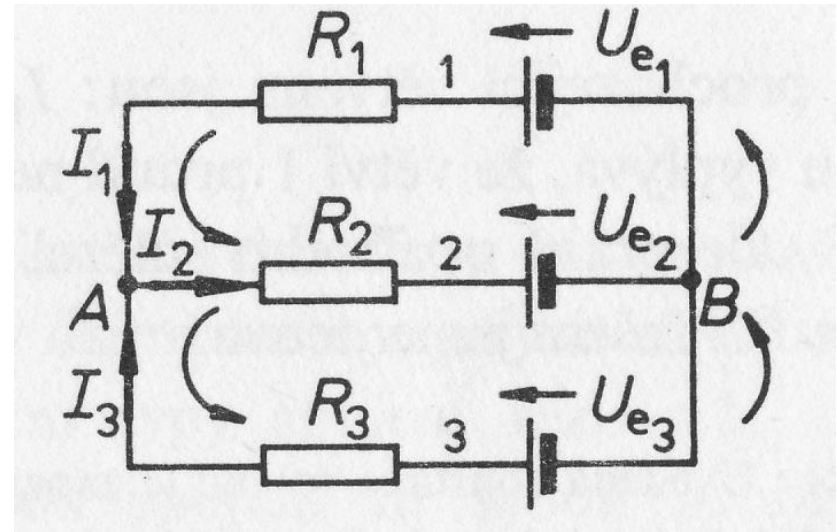
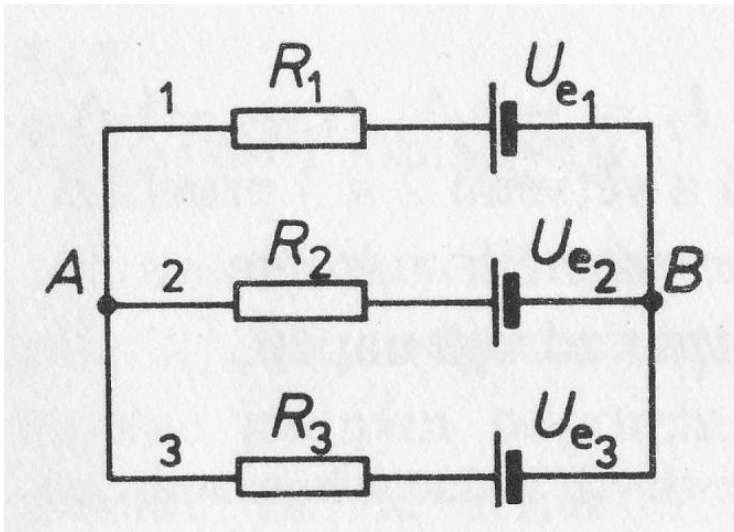
$$I_5 = (25 + 75 + 150 - 200)\text{mA} = 50\text{mA}$$

2. Kirchhoffův zákon

- ▶ V uzavřeném obvodu, který vyčleníme v rozvětvené síti, se součet napětí na jednotlivých rezistorech rovná součtu elektromotorických napětí zdrojů zařazených do obvodu.

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 + \dots + I_n R_n = U_{e1} + U_{e2} + \dots + U_{en}$$

Příklad a postup řešení



- Směry proudů – volím libovolně
- Směry U_e – **VŽDY** od – k +
- Směr, podle něhož budeme zapisovat rovnice pro vyčleněné obvody – libovolně

$$\begin{aligned} I_1 R_1 + I_2 R_2 &= U_{e1} - U_{e2} \\ -I_2 R_2 - I_3 R_3 &= U_{e2} - U_{e3} \\ I_1 - I_2 + I_3 &= 0 \end{aligned}$$

Příklad

- Určete proudy ve větvích předchozího obvodu, je-li dáno:

$$U_{e1} = 8V, U_{e2} = 12V, U_{e3} = 5V, R_1 = 2\Omega, R_2 = 4\Omega, R_3 = 3\Omega;$$

$$I_1, I_2, I_3 = ?$$

$$2I_1 + 4I_2 = 8 - 12 = -4$$

$$-4I_2 - 3I_3 = 12 - 5 = 7$$

$$I_1 + I_3 = I_2$$

Vyřešíme
soustavu tří
rovníc o
třech
neznámých.

$$I_1 = 0A$$

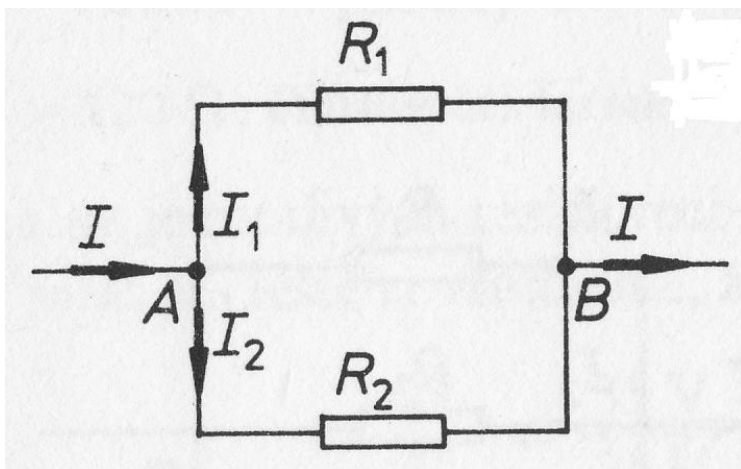
$$I_2 = -1A$$

$$I_3 = -1A$$

Větví 1 proud neprochází. Větvemi 2 a 3 ano, ale obráceně, než jsme si nakreslili. To poznáme podle mínusu ve výsledku.

příklad

- ▶ V elektrické síti jsou proudy ve větvích $I_1 = 0,2\text{A}$ a $I_2 = 0,6\text{A}$. Určete proud I v nerozvětvené části obvodu.

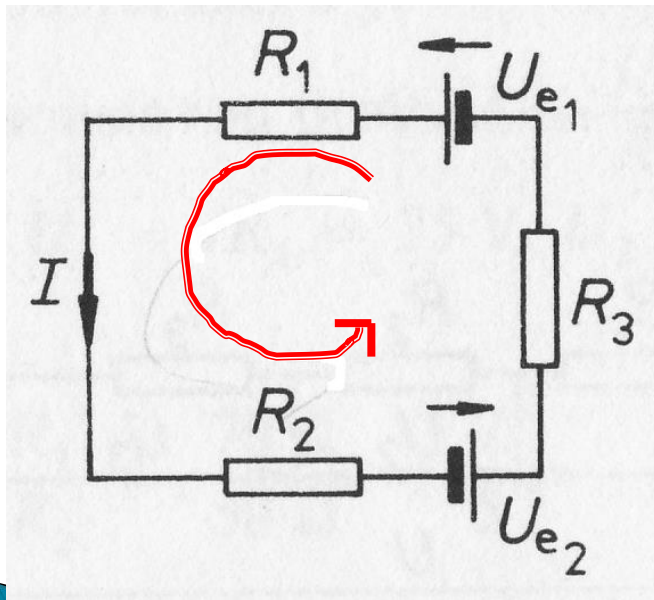


$$I_1 = 0,2\text{A}, I_2 = 0,6\text{A}; I = ?$$

$$I = I_1 + I_2 = 0,2\text{A} + 0,6\text{A} = 0,8\text{A}$$

příklad

- ▶ V elektrickém obvodu je $U_{e1}=12\text{V}$, $U_{e2}=6\text{V}$, $R_1=20\Omega$, $R_2=10\Omega$ a $R_3=6\Omega$. Určete proud procházející obvodem.

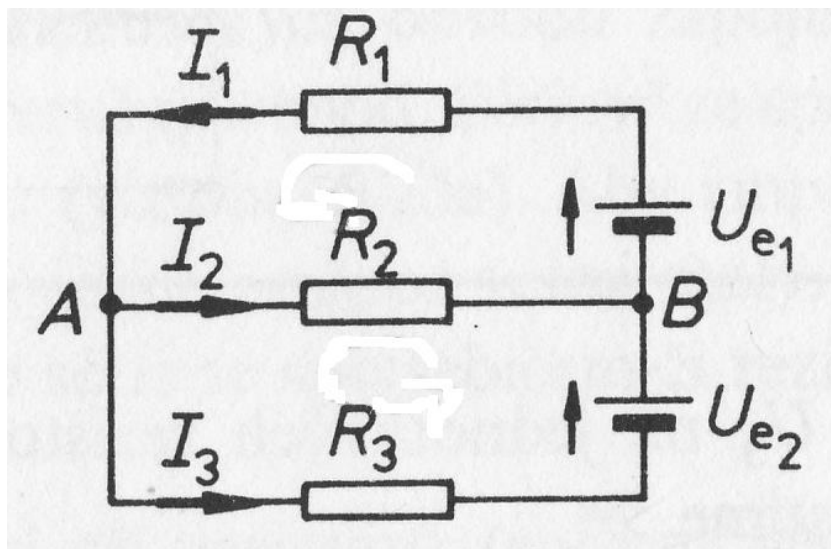


$$IR_3 + IR_1 + IR_2 = U_{e2} + U_{e1}$$

$$I = \frac{U_{e2} + U_{e1}}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{12 + 6}{20 + 10 + 6} \text{ A} = 0,5 \text{ A}$$

příklad

- ▶ V elektrické síti je $U_{e1}=10\text{V}$, $U_{e2}=6\text{V}$, $R_1=5\Omega$, $R_2=10\Omega$, $R_3=20\Omega$. Určete proudy I_1 , I_2 a I_3 procházející danými odpory.



$$I_1 = I_2 + I_3$$

Obecně:

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 = U_{e1}$$
$$-I_2 R_2 + R_3 I_3 = U_{e2}$$

Po dosazení:

$$I_1 = I_2 + I_3$$
$$5I_1 + 10I_2 = 10$$
$$-10I_2 + 20I_3 = 6$$

$$I_1 = \frac{36}{35} \text{ A}, I_2 = \frac{17}{35} \text{ A}, I_3 = \frac{19}{35} \text{ A}$$

literatura

- ▶ [1] BEDNAŘÍK, Milan; LEPIŠ, Oldřich. *Fyzika III pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1990, ISBN 80-04-24955-8.



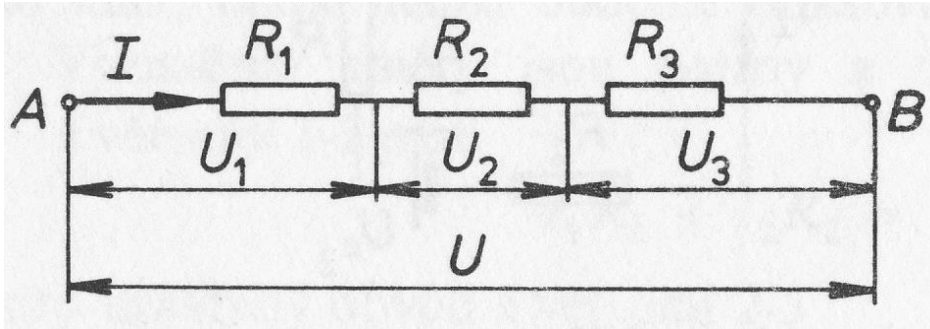
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Spojování rezistorů

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Elektrické pole a vedení proudu v pevných látkách
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-3-3
Číslo DUMu	III/2-3-3-15
Anotace	Může nám někdo zabránit spojit několik rezistorů k sobě? Nemůže. Jaký je ale výsledný odpor takového spojení? To si vysvětlíme a odvodíme v tomto studijním DUMu.

Sériové spojení rezistorů



Jaký je výsledný odpor?

Nedochází k větvení, celým obvodem prochází též proud I .

hledaný výsledný odpor

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$U_1 = IR_1, U_2 = IR_2, U_3 = IR_3; U = RI$$

$$IR = IR_1 + IR_2 + IR_3 \Rightarrow R = R_1 + R_2 + R_3$$

Obecně pro n rezistorů:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Sériové spojení rezistorů (pokrač.)

$$I = \frac{U_1}{R_1}, I = \frac{U_2}{R_2}, I = \frac{U_3}{R_3}, I = \frac{U}{R} \Rightarrow \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_3}{R_3} \Rightarrow$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}; \frac{U_2}{U_3} = \frac{R_2}{R_3}; \frac{U_1}{U_3} = \frac{R_1}{R_3}$$

Napětí na rezistorech je přímo úměrné jejich odporům.

příklad

- ▶ Sériově spojené rezistory o odporech $R_1 = 70\Omega$ a $R_2 = 50\Omega$ jsou připojeny na napětí $U = 60V$. Určete výsledný odpor soustavy a napětí na jednotlivých rezistorech.

$$R_1 = 70\Omega, R_2 = 50\Omega, U = 60V; R = ?, U_1 = ?, U_2 = ?$$

$$R = R_1 + R_2 = (70 + 50)\Omega = 120\Omega$$

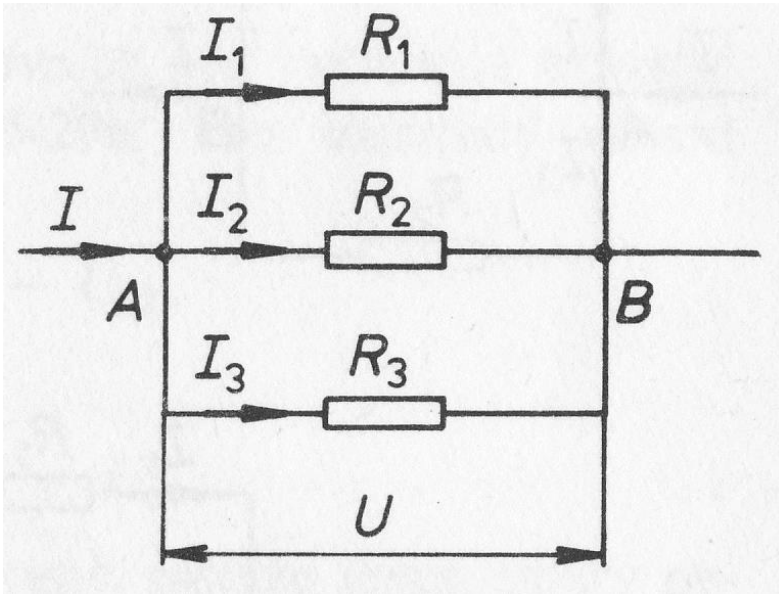
$$I = \frac{U}{R} = \frac{60}{120} A = 0,5A$$

$$U_1 = IR_1 = 0,5 \cdot 70V = 35V$$

$$U_2 = IR_2 = 0,5 \cdot 50V = 25V$$

Nebo: $U_2 = U - U_1 = 60V - 35V = 25V$

Paralelní spojení rezistorů



Na všech prvcích je stejné napětí.

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, I_2 = \frac{U}{R_2}, I_3 = \frac{U}{R_3}; I = \frac{U}{R}$$

Hledaný výsledný odpor.

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} \Rightarrow$$

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

Obecně pro n rezistorů:

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Paralelní spojení rezistorů (pokrač.)

$$U = I_1 R_1, U = I_2 R_2, U = I_3 R_3 \Rightarrow$$

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3 \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}; \frac{I_2}{I_3} = \frac{R_3}{R_2}; \frac{I_1}{I_3} = \frac{R_3}{R_1}$$

Proudy v soustavě paralelně řazených rezistorů jsou nepřímo úměrné jejich odporům.

příklad

- ▶ Paralelně spojené rezistory o odporech $R_1 = 120\Omega$ a $R_2 = 80\Omega$ jsou připojeny na napětí $U = 60V$. Určete výsledný odpor soustavy a proudy procházející oběma větvemi.

$$R_1 = 120\Omega, R_2 = 80\Omega, U = 60V; R = ?, I_1 = ?, I_2 = ?$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{120 \cdot 80}{120 + 80} \Omega = 48\Omega$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{60}{120} A = 0,5A; I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{60}{80} A = 0,75A$$

příklad

- ▶ Dvě žárovky mají odpory 4Ω a 6Ω . Jaký proud žárovkami prochází, jestliže je připojíme na napětí 12V a) sériově, b) paralelně?

$$R_1 = 4\Omega, R_2 = 6\Omega; I = ?$$

a)

$$R = R_1 + R_2 = 4\Omega + 6\Omega = 10\Omega; I = \frac{U}{R} = \frac{12}{10} A = 1,2 A$$

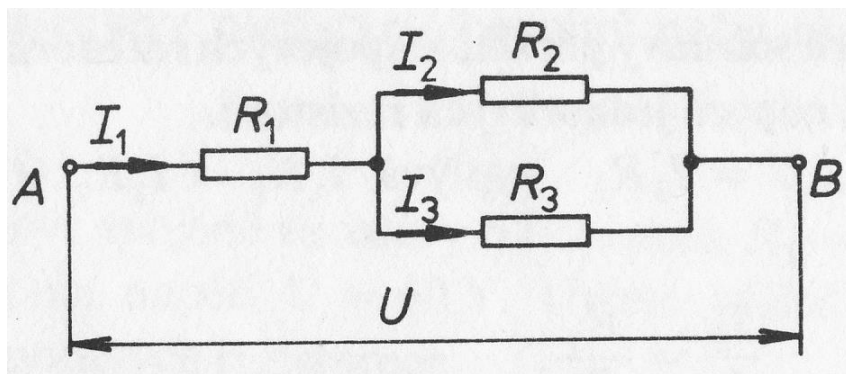
b)

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{4 \cdot 6}{4 + 6} \Omega = 2,4 \Omega$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12}{2,4} A = 5 A$$

příklad

- Určete proudy I_1 , I_2 a I_3 v elektrické síti s rezistory $R_1=4\Omega$, $R_2=6\Omega$ a $R_3=3\Omega$, je-li mezi body A a B napětí $U=18V$.



$$R = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \left(4 + \frac{6 \cdot 3}{6 + 3} \right) \Omega = 6 \Omega$$

$$I_1 = \frac{U}{R} = \frac{18}{6} A = 3 A$$

$$\frac{I_2}{I_3} = \frac{R_3}{R_2} = \frac{3}{6} = 0,5 \Rightarrow I_2 = 0,5 \cdot I_3$$

$$I_2 + I_3 = I_1 = 3$$

$$1,5 \cdot I_3 = 3 \Rightarrow I_3 = 2 A$$

$$I_2 = 3 - 2 = 1 A$$

příklad

- ▶ Výsledný odpor soustavy dvou rezistorů spojených sériově je 80Ω , spojených paralelně 15Ω . Určete odpor každého rezistoru.

$$R_1 + R_2 = 80$$

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{15} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{80 - R_2} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{15} \Rightarrow R_2^2 - 80R_2 + 1200 = 0$$

Vyřešením soustavy dvou rovnic o dvou neznámých získáme řešení:

$$R_1 = 60\Omega, R_2 = 20\Omega$$

literatura

- ▶ [1] BEDNAŘÍK, Milan; LEPIŠ, Oldřich. *Fyzika III pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1990, ISBN 80-04-24955-8.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Práce a výkon elektrického proudu

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Elektrické pole a vedení proudu v pevných látkách
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-3-3
Číslo DUMu	III/2-3-3-16
Anotace	Od elektrických spotřebičů vyžadujeme, aby vykonávaly nějakou užitečnou práci. Aby hřály, svítily, roztáčely, Jak tato práce souvisí s vlastnostmi vodiče a s procházejícím proudem? Po prostudování DUMu v tom budeme mít jasno.

Elektrický spotřebič

- ▶ Spotřebičem prochází elektrický proud. Elektrická energie se mění na jinou formu energie.
- ▶ Na mechanickou
- ▶ Na světelnou
- ▶ Na vnitřní
- ▶ ...



Práce elektrického proudu

- ▶ Víme: elektrický proud je usměrněný pohyb nosičů elektrického náboje. Tento pohyb se děje díky silám elektrického pole. Tím tedy vykonávají práci.

$$W = Q.U, Q = I.t \Rightarrow W = UIt$$

Poznámka: $U = RI; I = \frac{U}{R}$

$$W = RI^2t$$

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

Výkon elektrického proudu

- ▶ Výkon je obecně práce vykonaná za určitý čas.

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

Účinnost

- ▶ Příkon ... P_0 ... elektrický energie odebraná spotřebičem za určitý čas
- ▶ Výkon ... P ... užitečná práce vykonaná za určitý čas
- ▶ Účinnost:

$$\eta = \frac{P}{P_0} = \frac{P}{P_0} \cdot 100\%$$

$$P < P_0 \Rightarrow \eta < 1, \eta < 100\%$$

Jednotka: $[P]=W$... watt

Jiná jednotka pro práci

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow W = Pt \Rightarrow [W] = W.s \text{ ... wattsekunda}$$

$$1 \text{ W.s} = 1 \text{ J}$$

$$1 \text{ W.h} = 3600 \text{ W.s} = 3600 \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh} = 3600000 \text{ W.s} = 3600000 \text{ J}$$

Elektroměr

- ▶ Slouží k měření odebrané elektrické energie.



SŠT AGC, a.s.

Wattmetr

- ▶ Přístroj k měření výkonu elektrického proudu.



Příklad

- ✦ Žárovka připojená k elektrické síti o napětí 220V svítila 20 hodin. Údaj na elektroměru se zvětšil z 0 345,30 kW.h na 0 346,50 kW.h. Určete příkon žárovky, proud procházející žárovkou a odpor jejího vlákna při svícení.

$$U = 220V, t = 20h, W_1 = 345,3kW.h, W_2 = 346,5kWh;$$

$$P_0 = ?, I = ?, R = ?$$

$$P_0 = \frac{\Delta W}{t} = \frac{W_2 - W_1}{t} = \frac{1200Wh}{20h} = 60W$$

$$P_0 = UI \Rightarrow I = \frac{P_0}{U} = \frac{60}{220} A \doteq 0,27 A$$

$$R = \frac{U}{I} \doteq \frac{220}{0,272727} \Omega \doteq 810\Omega$$

příklad

- ▶ Elektrickým vaříčem připojeným na napětí 220V prochází proud 3A. Určete příkon vaříče.

$$U = 220V, I = 3A; P_0 = ?$$

$$P_0 = UI = 220 \cdot 3W = 660W$$

Příklad

- ▶ Automobilová žárovka o příkonu 24W je připojena ke zdroji napětí 12V. Určete proud procházející žárovkou a odpor jejího vlákna.

$$P_0 = 24W, U = 12V; I = ?, R = ?$$

$$P_0 = U \cdot I \Rightarrow I = \frac{P_0}{U} = \frac{24}{12} A = 2A$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{12}{2} \Omega = 6\Omega$$

příklad

- ▶ Čerpadlo s elektromotorem o příkonu 2kW pracovalo po dobu 1,5 hodiny. Určete, kolik zaplatíme za odebranou elektrickou energii při sazbě 4,60 Kč za 1kW.h.

$$P_0 = 2kW, t = 1,5hod, sa = 4,6 \frac{Kč}{kWh}; c = ?$$

$$W = P_0 t = 2 \cdot 1,5 kWh = 3kWh$$

$$c = sa \cdot W = 4,6 \cdot 3Kč = 13,80 - Kč$$

Příklad

- ▶ V dílně se používá bruska o příkonu 1,2kW, stolní vrtačka o příkonu 800W a páječka o příkonu 400W. Je možné zapojit všechny spotřebiče současně, je-li při napětí 220V maximální dovolený proud 10A?

$$P_{01} = 1,2kW, P_{02} = 800W, P_{03} = 400W, U = 220V, I_{\max} = 10A; I = ?$$

$$P_0 = P_{01} + P_{02} + P_{03} = (1200 + 800 + 400)W = 2400W$$

$$I = \frac{P_0}{U} = \frac{2400}{220} A \doteq 10,9A > I_{\max} \Rightarrow NE$$

literatura

- ▶ [1] BEDNAŘÍK, Milan; LEPIŠ, Oldřich. *Fyzika III pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1990, ISBN 80-04-24955-8.
- ▶ [2] AUTOR NEUVEDEN. *elektromotory.net* [online]. [cit. 10.11.2012]. Dostupný na WWW: <http://www.elektromotory.net/>
- ▶ [3] AUTOR NEUVEDEN. *zarovky.heureka.cz* [online]. [cit. 10.11.2012]. Dostupný na WWW: <http://zarovky.heureka.cz/tesla-e27-100w-obycejna/galerie/>
- ▶ [4] AUTOR NEUVEDEN. *eshop.eta.cz* [online]. [cit. 10.11.2012]. Dostupný na WWW: http://eshop.eta.cz/editor/image/eshop_products/019190060_1.jpg
- ▶ [5] ADÁMEK, Petr. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 10.11.2012]. Dostupný na WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Czech-electric-meter.jpg>
- ▶ [6] ADÁMEK, Petr. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 10.11.2012]. Dostupný na WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Czech-multitariff-meter.jpg>
- ▶ [7] MEŠKAUSKAS, Audrius. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 10.11.2012]. Dostupný na WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Wattmeter.jpg>



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tepelné účinky elektrického proudu

Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Elektrické pole a vedení proudu v pevných látkách
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-3-3
Číslo DUMu	III/2-3-3-17
Anotace	Každý jistě někdy viděl topnou spirálu nebo rychlovarnou konvici. O co jde? O uvolňování tepla ve vodiči při průchodu elektrického proudu. Na čem množství uvolněného tepla závisí? O tom pojednává tento DUM.

Tepelný spotřebič

- ▶ Elektrická energie se mění na vnitřní energii spotřebiče, která se tepelnou výměnou předává dalším tělesům a okolnímu prostředí, což se projevuje jejich zahříváním.
- ▶ Říkáme: Ve spotřebiči se uvolňuje teplo.
- ▶ Topná spirála, žehlička, rychlovarná konvice,...

Množství uvolněného tepla

- ▶ Teplo se uvolňuje na úkor elektrické energie. Proto se vypočítá stejně, jako práce elektrického proudu.

$$Q = UI t = I^2 R t$$
 Joulov – Lenzův zákon

Teplo uvolněné za dobu t ve spotřebiči.

příklad

- ▶ Za jakou dobu uvede ponorný vaříč o příkonu 1,2kW do varu 2 litry vody o počáteční teplotě 16°C, jestliže neuvažujeme výměnu tepla s okolím?

$$P_0 = 1,2kW, V = 2l \Rightarrow m = 2kg, t_1 = 16^\circ C, t_2 = 100^\circ C; \tau = ?$$

$$Q = mc(t_2 - t_1) \quad \text{Teplo potřebné k ohřátí vody.}$$

$$Q = UI\tau = P_0\tau \quad \text{Teplo uvolněné ve spotřebiči.}$$

$$mc(t_2 - t_1) = P_0\tau \Rightarrow \tau = \frac{mc(t_2 - t_1)}{P_0} = \frac{2.4180 \cdot (100 - 16)}{1200} s \doteq 585,2s \doteq 9 \text{ min } 45s$$

Tepelné ztráty

- ▶ Každý vodič se průchodem elektrického proudu zahřívá. Tím dochází k tepelným ztrátám.
- ▶ Ztráty jsou tím větší, čím větší je odpor a čím větší prochází proud.

příklad

- ▶ Určete teplo, které se uvolní v tepelném spotřebiči o odporu 150Ω za 2 hodiny, prochází-li jím proud $1A$.

$$R = 150\Omega, t = 2hod = 7200s, I = 1A; Q = ?$$

$$Q = I^2 R t = 1^2 \cdot 150 \cdot 7200 J = 1080000 J = 1,08 MJ$$

příklad

- Určete příkon elektrického vaříče, který uvolní za 30 minut teplo 360kJ.

$$t = 30 \text{ min} = 1800 \text{ s}, Q = 360 \text{ kJ}; P_0 = ?$$

$$Q = UI t = P_0 t \Rightarrow P_0 = \frac{Q}{t} = \frac{360000}{1800} \text{ W} = 200 \text{ W}$$

Příklad

- ▶ Za jakou dobu se ohřeje elektrickým vaříčem o příkonu 800W a účinnosti 70% 4 litry vody o 20°C?

$$P_0 = 800W, \eta = 70\% = 0,7, V = 4l \Rightarrow 4kg, \Delta t = 20^\circ C; \tau = ?$$

$$mc\Delta t = P_0\eta\tau \Rightarrow \tau = \frac{mc\Delta t}{P_0\eta} = \frac{4.4180.20}{800.0,7} s \doteq 597s \doteq 10 \text{ min}$$

Literatura

- ▶ [1] BEDNAŘÍK, Milan; LEPIL, Oldřich. *Fyzika III pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1990, ISBN 80-04-24955-8.

Vlastní vodivost polovodičů

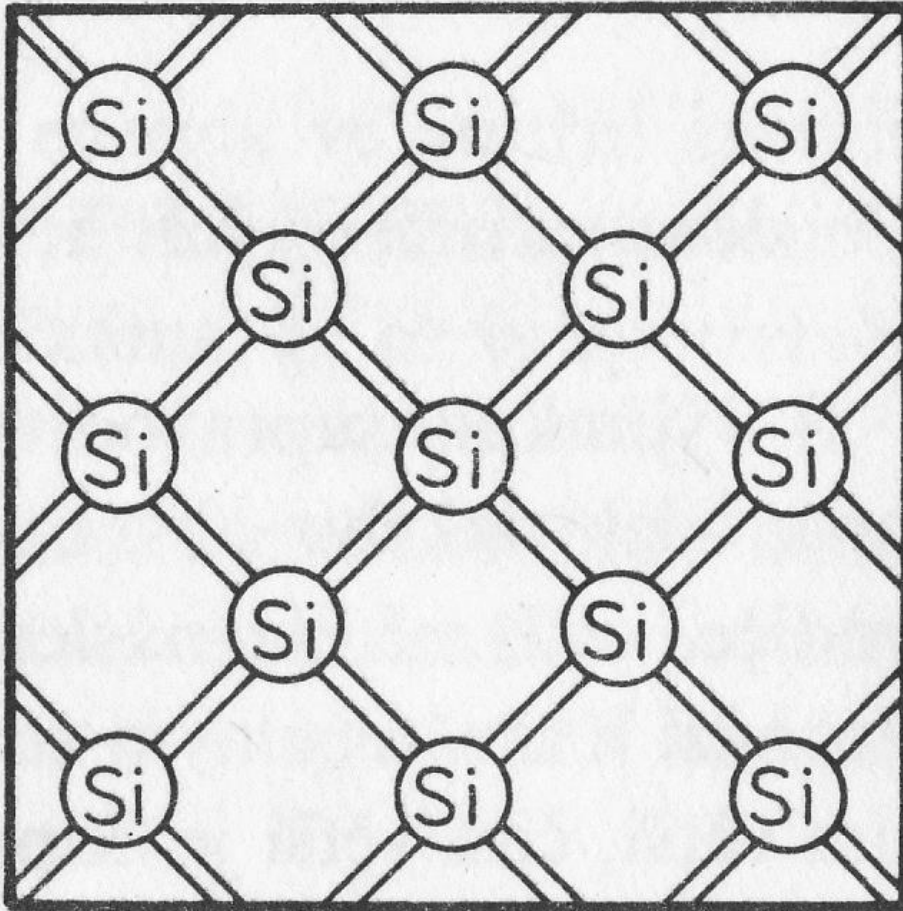
Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Elektrické pole a vedení proudu v pevných látkách
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-3-3
Číslo DUMu	III/2-3-3-18
Anotace	Dozvíme se, jaký je hlavní rozdíl mezi vodiči a polovodiči z hlediska tepelné závislosti odporu a tedy i vodivosti. Pochopíme mechanismus generace a rekombinace nosičů proudu uvnitř polovodičů. Ukážeme si využití vlastní vodivosti ve formě termistoru a fotorezistoru.

Z hlediska vodivosti

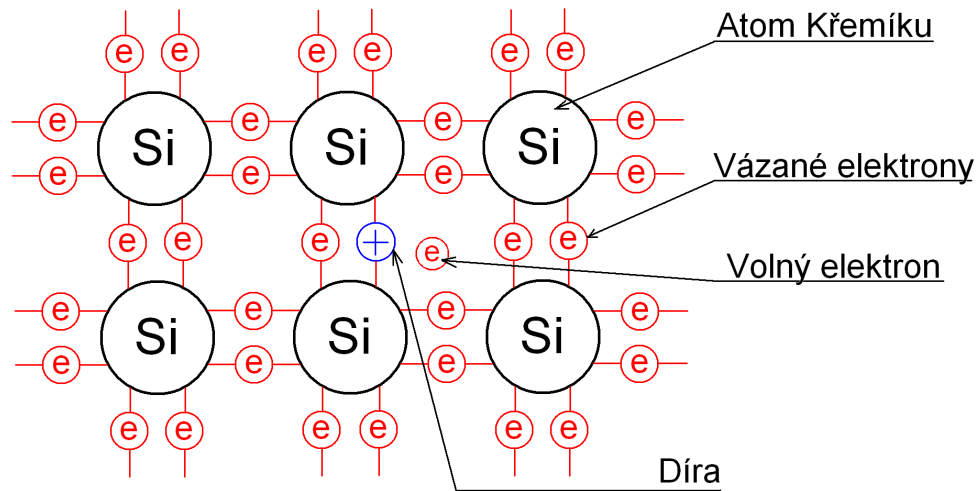
- ▶ **Vodič:** odpor s rostoucí teplotou roste, vodivost klesá.
- ▶ Proč? Protože volného elektrického náboje je v něm stále stejně a díky vyšší teplotě se víc projevuje chaotická složka pohybu.
- ▶ **Polovodič:** odpor s rostoucí teplotou klesá, vodivost roste.
- ▶ Proč?

Struktura křemíku (při teplotě 0 K)



- Křemík je čtyřmocný prvek.
- Každý atom křemíku poskytuje do vazby jeden elektron.
- Při teplotě absolutní nuly v polovodiči nejsou žádné volné nosiče náboje, jde o ideální nevodič.
- Pozn.: podobně pro germanium

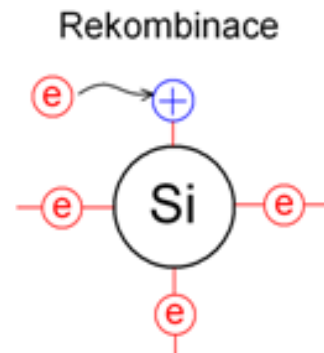
Struktura křemíku při zvýšení teploty



- Při zvyšování teploty se porušují vazby, uvolňují se elektrony.
- V místě jejich původního umístění je nedostatek záporného náboje, což se projeví, jako by tam byl kladný náboj.
- Tento kladný náboj se nazývá **díra**. Ta není samostatnou částicí!!!
- S rostoucí teplotou roste počet takto vzniklých volných elektronů a děr a tedy roste vodivost a klesá odpor.

Terminologie

- ▶ Vznik volných elektronů a děr: **generace nosičů proudu (generace elektron–děrového páru)**
- ▶ Zánik volných elektronů a děr (při ochlazování polovodiče): **rekombinace páru elektron – díra**

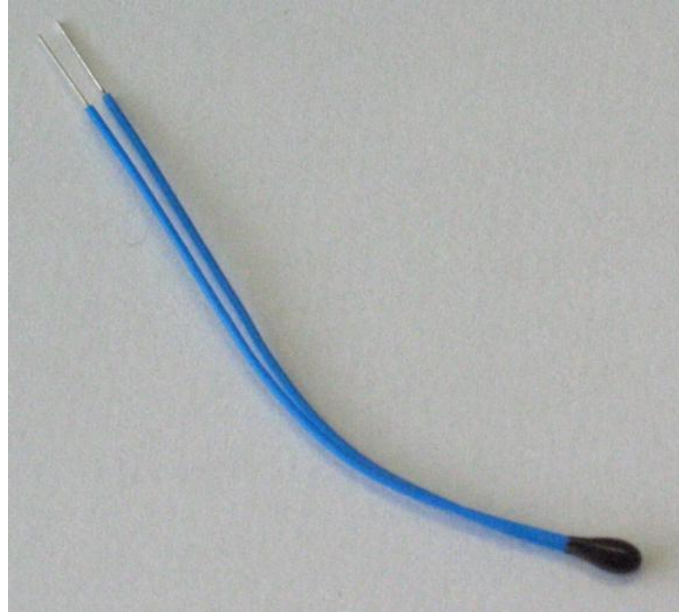


Vlastní vodivost

- ▶ Vlastní vodivost polovodiče je dána generací elektronů a děr, kterých je v krystalu polovodiče při stálé teplotě stejný počet.

Termistor

- ▶ Polovodičová součástka, jejíž odpor závisí na teplotě.
- ▶ Využití: přesné měření teploty, ochrana před proudovým nárazem,...



Úloha

- ▶ Aby se snížil proudový náraz při zapojení projekčních žárovek, zapojuje se k nim do série termistor. Proč?

Když proud neprotéká, má termistor velký odpor. Při proudovém nárazu se díky průchodu proudu zahřívá. Tím dochází k postupné generaci elektronů a děr a tedy k postupnému poklesu odporu. Proto i proud v projekční žárovce narůstá postupně.

Příklad

- ▶ Termistor má při teplotě 20°C odpor 50kΩ a při teplotě 25°C má odpor 42,5kΩ. Určete střední hodnotu teplotního součinitele odporu v tomto teplotním intervalu.

$$t_0 = 20^\circ\text{C}, R_0 = 50\text{k}\Omega = 50000\Omega, t_1 = 25^\circ\text{C}, R_1 = 42,5\text{k}\Omega = 42500\Omega;$$

$$\alpha = ?$$

$$R_1 = R_0(1 + \alpha\Delta t)$$

$$R_1 = R_0 + R_0\alpha\Delta t \Rightarrow \alpha = \frac{R_1 - R_0}{R_0\Delta t} = \frac{42500 - 50000}{50000 \cdot 5} \text{K}^{-1} = -0,03\text{K}^{-1}$$

Záporná hodnota znamená, že odpor s rostoucí teplotou klesá.
To není u termistoru nic překvapivého ☺.

Fotorezistor

- ▶ Polovodičová součástka, u níž dochází ke generaci elektron–děrového páru pomocí dopadajícího záření (světla).
- ▶ Podrobnější popis tohoto jevu spadá do oblasti kvantové optiky (tzv. vnitřní fotoelektrický jev).

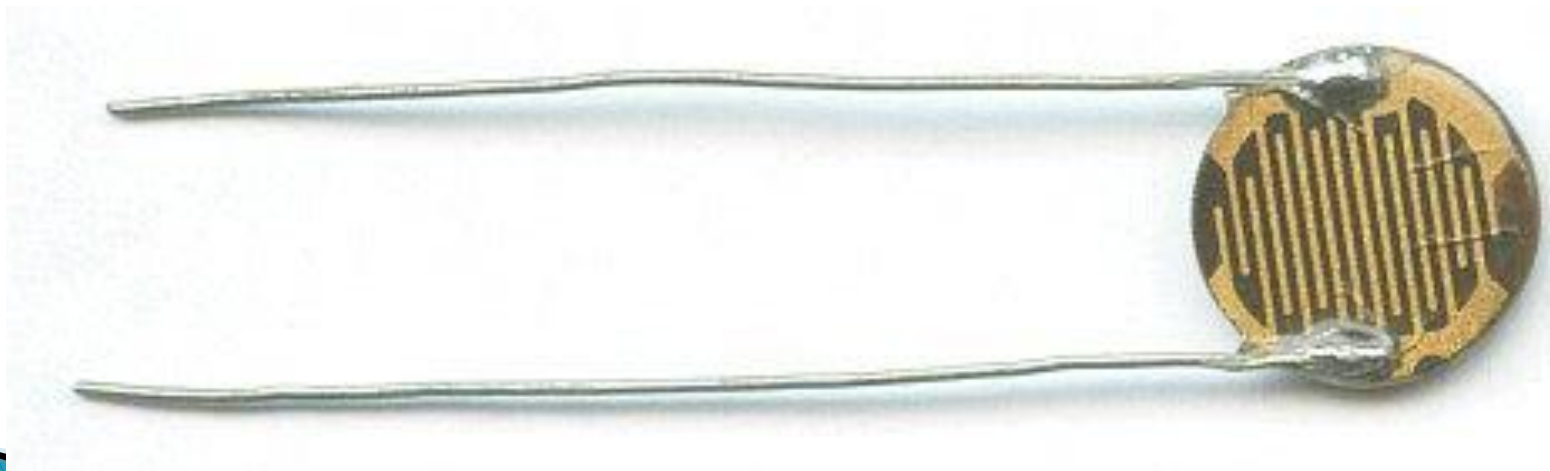
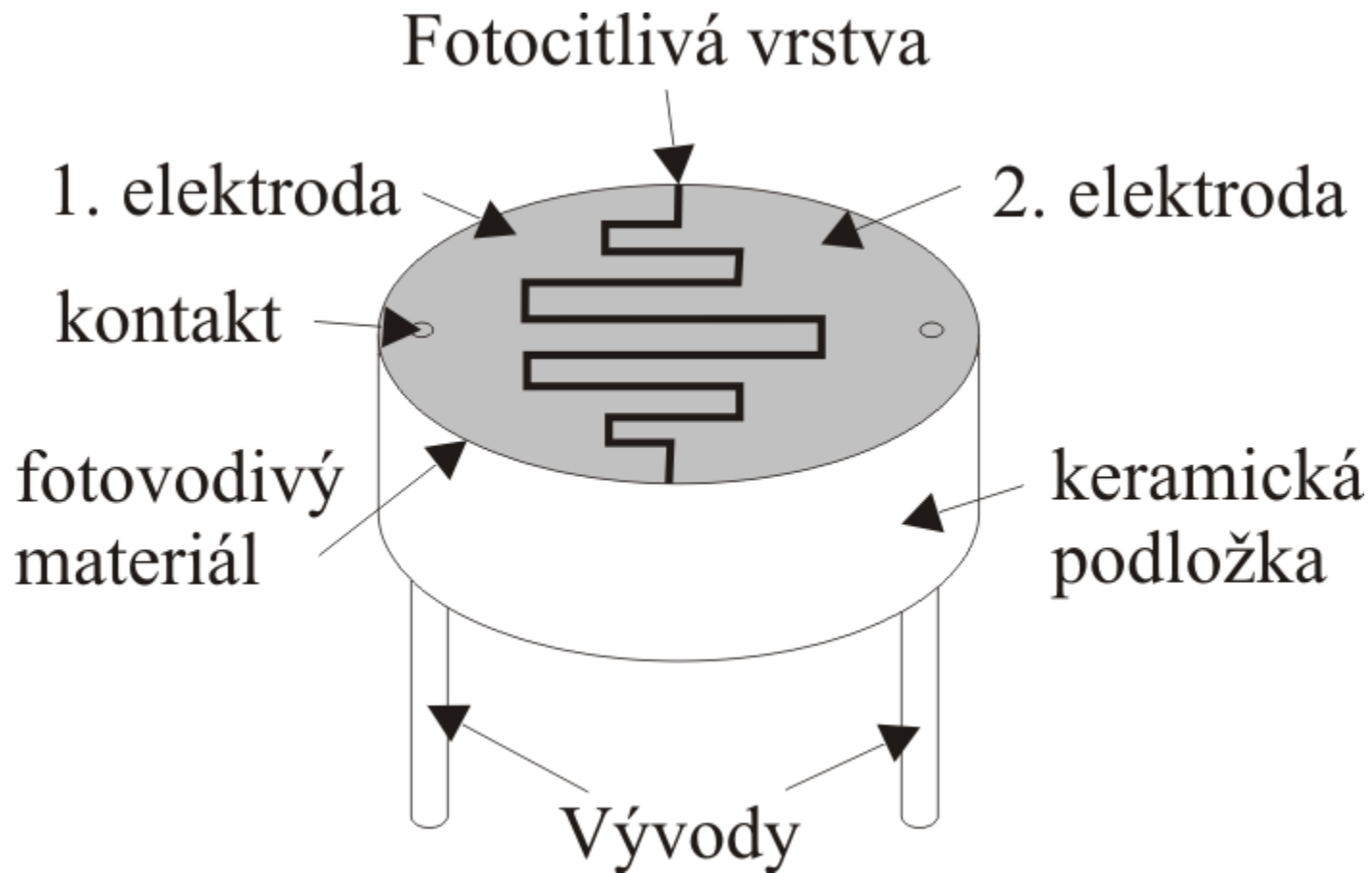
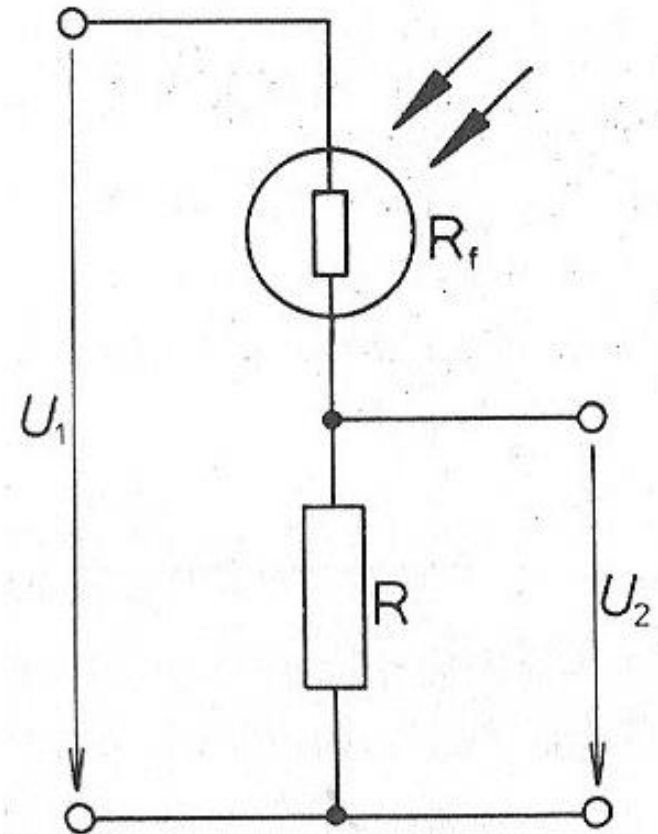


Schéma fotorezistoru



Příklad

- ▶ V děliči napětí má fotorezistor za tmy odpor $R_f = 25\text{k}\Omega$ a odpor $R = 5\text{k}\Omega$. Děličem napětí prochází proud $0,3\text{mA}$. Při osvětlení se proud zvětšil na $1,2\text{mA}$. Jaké je výstupní napětí U_2 v obou případech? Jaký je odpor fotorezistoru při osvětlení?



Řešení

$$R_{f-tma} = 25k\Omega, R = 5k\Omega, I_{tma} = 0,3mA, I_{sv} = 1,2mA; U_{2-tma}, U_{2-sv}, R_{f-sv} = ?$$

$$\begin{aligned} \text{a) Za tmy: } I_{tma} &= \frac{U_1}{R_{f-tma} + R} \Rightarrow U_1 = I_{tma} (R_{f-tma} + R) = \\ &= 0,0003 \cdot (25000 + 5000) V = 9V \end{aligned}$$

$$U_{2-tma} = R I_{tma} = 5000 \cdot 0,0003 V = 1,5V$$

$$\text{b) Za světla: } I_{sv} = \frac{U_1}{R_{f-sv} + R} \Rightarrow 0,0012 = \frac{9}{R_{f-sv} + 5000} \Rightarrow R_{f-sv} = 2500\Omega$$

$$U_{2-sv} = R \cdot I_{sv} = 5000 \cdot 0,0012 V = 6V$$

Literatura

- ▶ [1] HELLWIG, Ansgar. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 26.11.2012]. Dostupný na WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:NTC_bead.jpg
- ▶ [2] BARTÁK, František a kol. *Sbírka úloh z fyziky pro studijní obory SOU a SOŠ*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha,n.p., 1988, ISBN 14-423-88.
- ▶ [3] ŠVEJDA, Martin. *data.antonindanek.cz* [online]. [cit. 26.11.2012]. Dostupný na WWW: data.antonindanek.cz/04-Fyzikalni-zaklady-polovodicovych-soucastek.doc
- ▶ [4] FILIP, Albert. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 26.11.2012]. Dostupný na WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Konstrukcni_usporadani_fotorezistoru.png
- ▶ [5] THEWIKIMAN, Ben. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 26.11.2012]. Dostupný na WWW: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/32/LDR.jpg>
- ▶ [6] BEDNAŘÍK, Milan; LEPIL, Oldřich. *Fyzika III pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1990, ISBN 80-04-24955-8.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Příměsová vodivost polovodičů

Ing. Stanislav Jakoubek

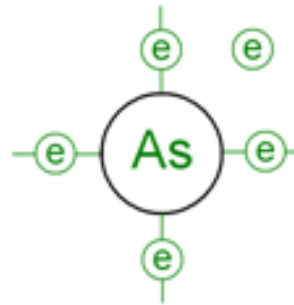
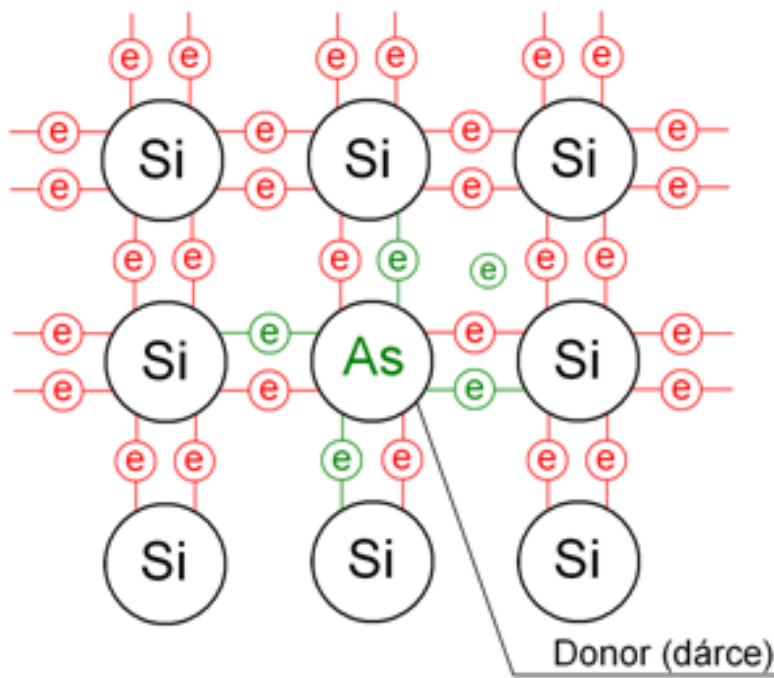
Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Elektrické pole a vedení proudu v pevných látkách
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-3-3
Číslo DUMu	III/2-3-3-19
Anotace	Již známe princip vlastní vodivosti polovodičů. Ale co když potřebujeme zvýšit počet nosičů proudu v polovodiči? Co když jejich počet daný teplotou nestačí? Řešení existuje a jmenuje se příměsová vodivost. Jaké máme možnosti, o tom se dozvíme v tomto DUMu.

Příměsi

- ▶ Vlastní vodivost polovodiče je dána množstvím volných elektronů a děr při dané teplotě.
- ▶ Pro zvýšení počtu nosičů náboje se přidávají tzv. **příměsi**.
- ▶ Jsou to cizí atomy v krystalu polovodivého prvku. Z hlediska krystalografie jde o poruchu krystalů.
- ▶ Rozlišujeme dva typy.

Elektronová vodivost – typ N

- ▶ Vzniká příměsí pětímocného prvku (například arsen As)

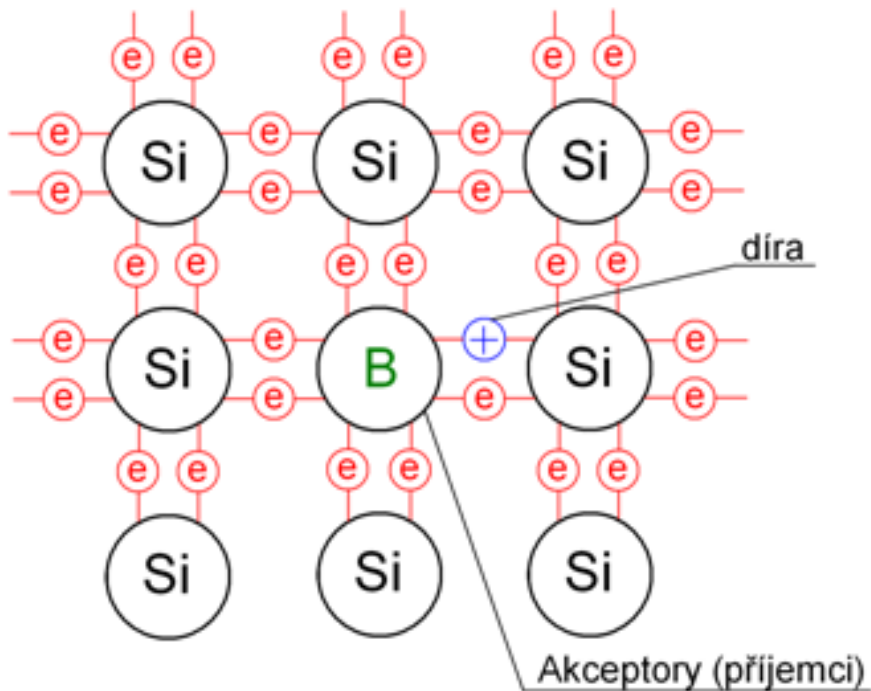


Pátý valenční elektron arsenu se nemá kam navázat a navíc je k arsenu vázán velmi slabě. Proto je volným nosičem náboje.

Polovodič obsahuje volné elektrony a díry díky vlastní vodivosti plus tyto volné elektrony.

Děrová vodivost – typ P

- ▶ Vzniká příměsí trojmocného prvku (například bór B).



Trojmocný atom má pouze tři valenční elektrony, které se mohou účastnit vazby. Absence záporného náboje se projeví jako kladně nabitá díra.

Polovodič obsahuje volné elektrony a díry díky vlastní vodivosti plus tyto volné díry.

Poznámky

- ▶ Oba typy polovodičů, P i N, obsahují jak volné elektrony, tak díry. O typu vodivosti rozhoduje to, kterých je tam víc.
- ▶ Příměsí je v polovodiči velmi málo – zhruba 1 atom příměsi na 1 000 000 atomů základního polovodiče.

Úkol

- Jako příměsi se také používají například fosfor P, antimon Sb, indium In, gallium Ga. Jaký typ vodivosti způsobují?

Fosfor: typ N
 Antimon: typ N
 Indium: typ P
 Gallium: typ P

13 III A		14 IV A		15 V A	
5	10,81	6	12,011	7	14,007
Bor		Uhlík		Dusík	
B	2,01	C	2,50	N	3,07
$2s^2 2p^1$		$2s^2 2p^2$		$2s^2 2p^3$	
13	26,982	14	28,086	15	30,974
Hliník		Křemík		Fosfor	
Al	1,47	Si	1,74	P	2,06
$3s^2 3p^1$		$3s^2 3p^2$		$3s^2 3p^3$	
38	31	32	72,59 +	33	74,922
	Gallium		Germanium		Arsen
56	Ga	56	Ge	56	As
	1,82		2,02		2,20
$3d^{10} 4s^2 4p^1$		$3d^{10} 4s^2 4p^2$		$3d^{10} 4s^2 4p^3$	
41	49	50	118,69	51	121,75 +
	Indium		Cín		Antimon
46	In	46	Sn	46	Sb
	1,49		1,72		1,82
$4d^{10} 5s^2 5p^1$		$4d^{10} 5s^2 5p^2$		$4d^{10} 5s^2 5p^3$	
+	81	82	207,2	83	208,98
	Thallium		Olovo		Bismut
44	Tl	44	Pb	44	Bi
	1,44		1,55		1,67
$4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^1$		$4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^2$		$4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^3$	

Literatura

- ▶ [1] ŠVEJDA, Martin. *data.antonindanek.cz* [online]. [cit. 26.11.2012]. Dostupný na WWW: data.antonindanek.cz/04-Fyzikalni-zaklady-polovodicovych-soucastek.doc
- ▶ [2] MIKULČÁK, Jiří a kol. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, n.p., 1988, ISBN 15 084/87-210
- ▶ [3] BEDNAŘÍK, Milan; LEPIŠ, Oldřich. *Fyzika III pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1990, ISBN 80-04-24955-8.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Polovodiče v technické praxi – dioda a tranzistor

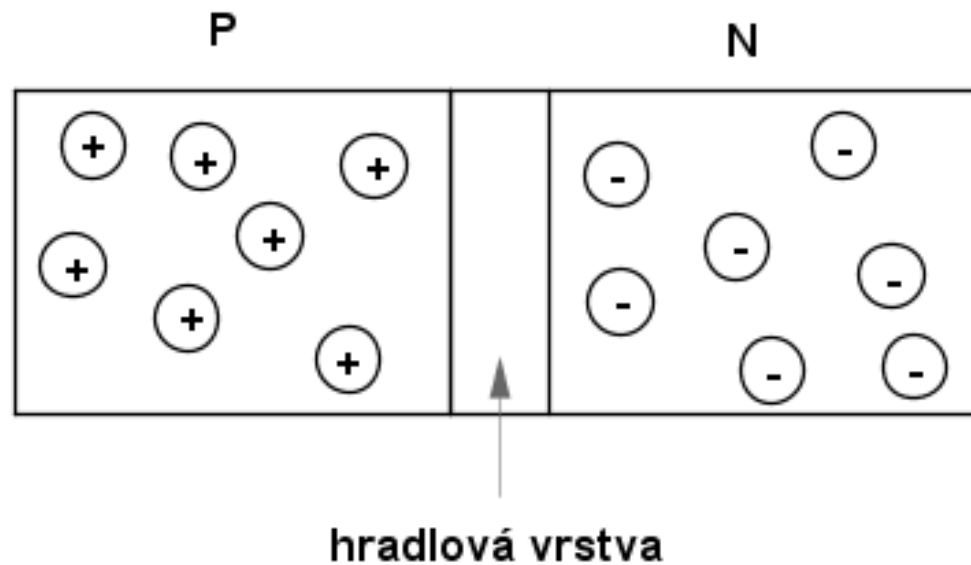
Ing. Stanislav Jakoubek

Název školy	Střední škola technická AGC a.s.
Název a číslo OP	OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost, CZ. 1.5 Název projektu: Výuka atraktivně a efektivně, č.p.: CZ.1.07/1.5.00/34.0057
Název šablony klíčové aktivity	III/2 Zvyšování kvality výuky prostřednictvím ICT
Tematická oblast (předmět)	Fyzika
Název sady vzdělávacích materiálů	Elektrické pole a vedení proudu v pevných látkách
Jméno tvůrce vzdělávací sady	Ing. Stanislav Jakoubek
Číslo sady	III/2-3-3
Číslo DUMu	III/2-3-3-20
Anotace	Málokterý objev způsobil takovou technickou revoluci, jako objev a technické aplikace PN přechodu. Seznámíme se stručně s jeho funkcí a probereme dvě jeho základní technické realizace – polovodičovou diodu a tranzistor.

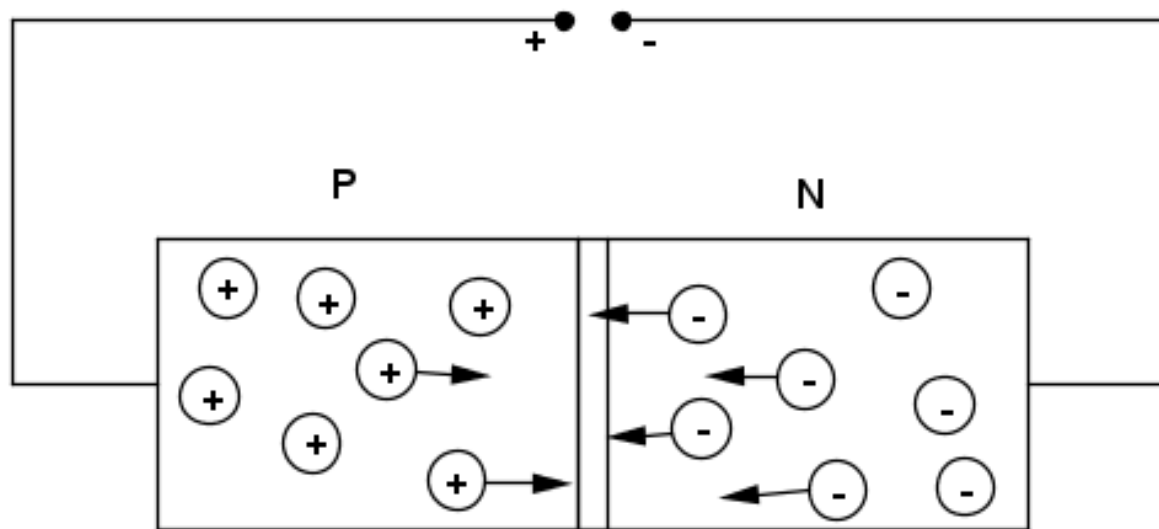
PN přechod

- ▶ Vzniká při spojení polovodičů typu P a N.
- ▶ Je velmi tenký, řádově $1\text{ }\mu\text{m}$.
- ▶ Díky tepelnému pohybu dochází k difúzi volných elektronů do oblasti P a děr do oblasti N.
- ▶ Dochází k jejich rekombinaci, tedy zániku.
- ▶ V blízkosti přechodu výrazně klesá počet volných nosičů náboje.
- ▶ Tato oblast (téměř) bez volných nábojů se nazývá **hradlová vrstva**.

Hradlová vrstva

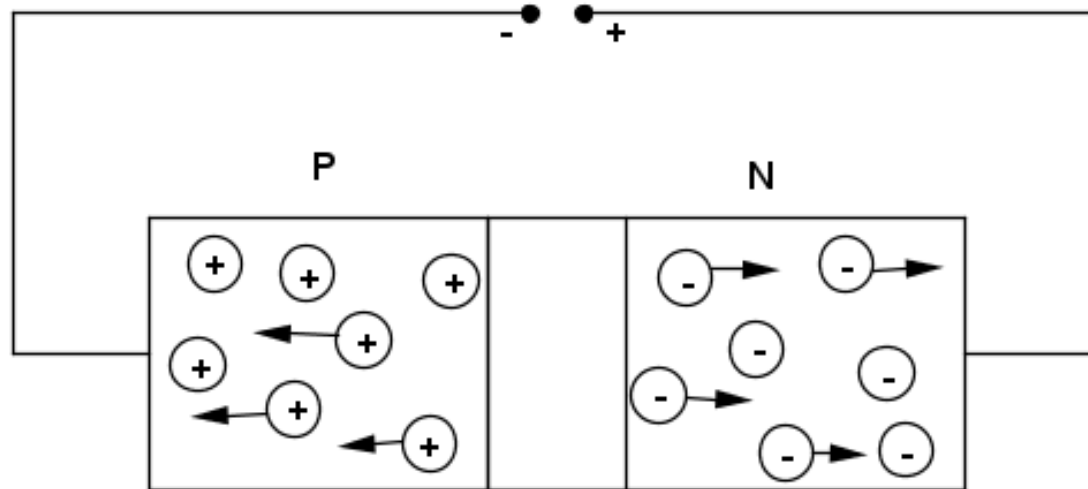


Propustný směr



Kladný pól zdroje je připojen k polovodiči P, záporný k N. Díky silám elektrického pole směřují volné elektrony i díry k PN přechodu. Hradlová vrstva se zúží a obvodem protéká elektrický proud.

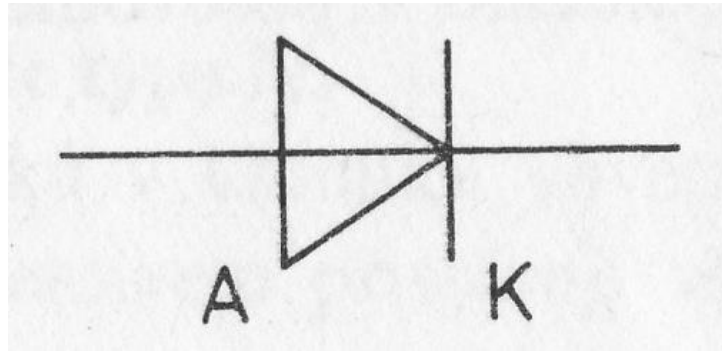
Závěrný směr



Kladný pól zdroje je připojen k polovodiči N, záporný k P.

Díky silám elektrického pole směřují volné elektrony i díry od PN přechodu. Hradlová vrstva se rozšíří natolik, že (v ideálním případě) obvodem neprotéká žádný elektrický proud.

Schematická značka diody



A – anoda – odpovídá polovodiči
typu P

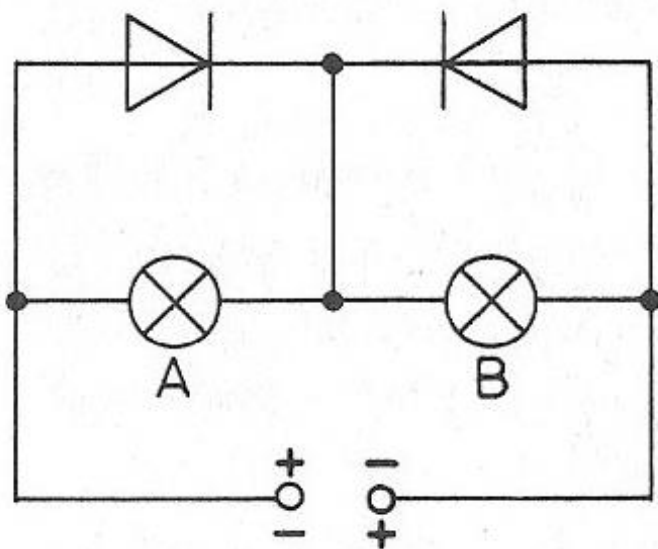
K – katoda – odpovídá polovodiči
typu N

Ideální dioda

- ▶ Přípustné zjednodušení vhodné pro příklady.
- ▶ V propustném směru předpokládejme, že je odpor diody nulový, $R=0\Omega$.
- ▶ Ve skutečnosti klade každý reálný materiál průchodu elektrického proudu nějaký odpor.
- ▶ V závěrném směru předpokládejme, že je odpor diody nekonečný, tedy $R=\infty\Omega$.
- ▶ Ve skutečnosti prochází v závěrném směru menšinový náboj. Vzniká tzv. zbytkový proud.

Příklad

- Ke stejným žárovkám jsou paralelně připojeny ideální polovodičové diody. Jak budou žárovky svítit, jestliže budeme měnit polaritu zdroje?

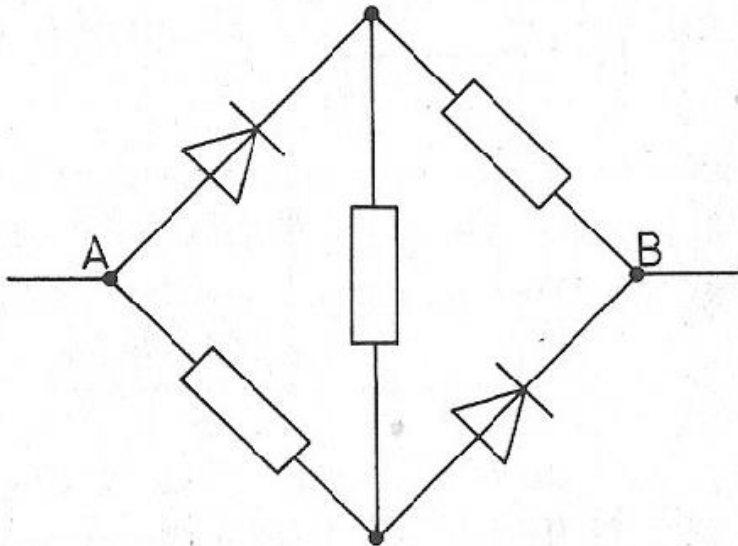


Žárovky budou blikat, protože se mění propustný a nepropustný směr.

Pro horní možnost svítí žárovka A, pro dolní žárovka B.

Příklad

- Obvod je tvořen stejnými rezistory o odporu $1\text{ k}\Omega$ a ideálními polovodičovými diodami. Určete celkový odpor obvodu, jeli bod A připojen a) ke kladnému, b) k zápornému pólu zdroje.



a)

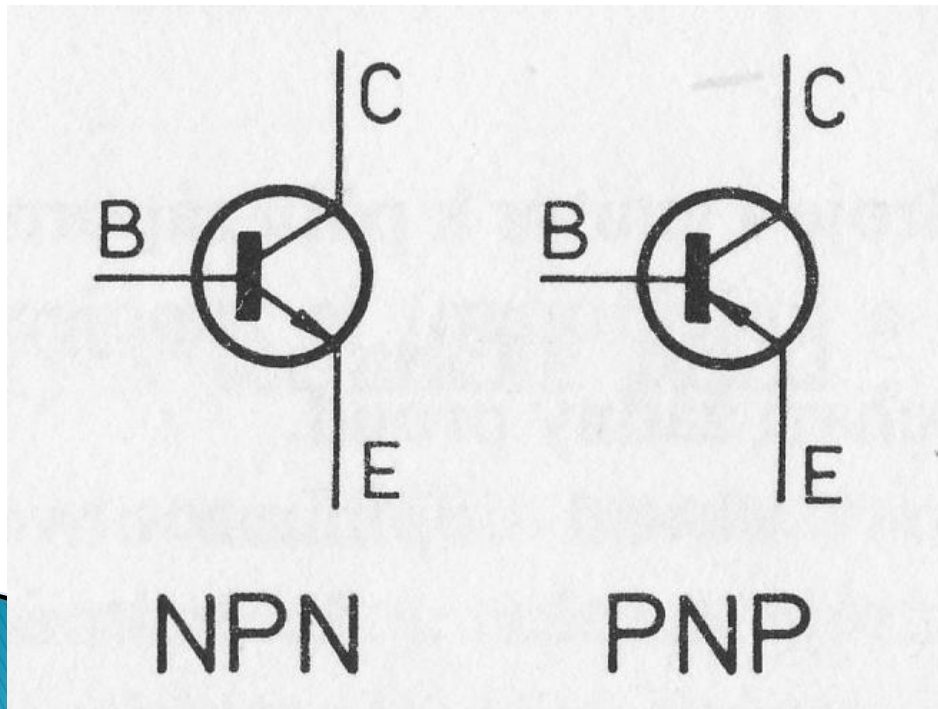
$$\frac{1}{R} = \left(\frac{1}{1} + \frac{1}{1} + \frac{1}{1} \right) \text{k}\Omega^{-1} \Rightarrow R = \frac{1}{3} \text{k}\Omega \doteq 0,33 \text{k}\Omega$$

b)

$$R = (1 + 1 + 1) \text{k}\Omega = 3 \text{k}\Omega$$

Tranzistor

- ▶ Základem je krystal polovodiče se dvěma přechody PN.
- ▶ Dvě možnosti: PNP, NPN

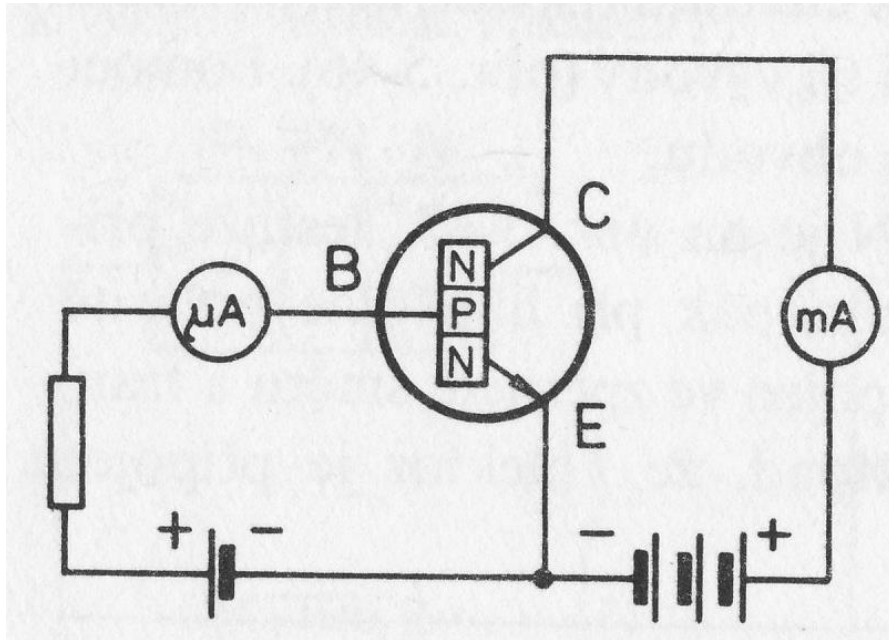


B – báze
E – emitor
C – kolektor

Různé typy tranzistorů



Zapojení tranzistoru se společným emitorem



Samotný BC obvod –
nepropustný směr –
neprotéká proud.
Připojíme obvod báze –
BE v propustném směru.
Změříme: proud začíná
procházet i
kolektorovým obvodem.

Proud v kolektorovém obvodu je mnohem
větší, než proud v obvodu báze.

Základní funkce tranzistoru

- ▶ Velmi malé napětí vzbuzuje v obvodu báze proud, který je příčinou vzniku značného proudu v obvodu kolektoru.
- ▶ Tranzistor tedy funguje jako **zesilovací prvek**.
- ▶ Poznámka: tzv. **tranzistorový jev**

Úloha

- ▶ Proč je třeba dbát na to, aby teplota tranzistorů byla při provozu stálá?
- ▶ Se změnou teploty se mění vodivost a tedy i proudy procházející obvodem.

Úloha

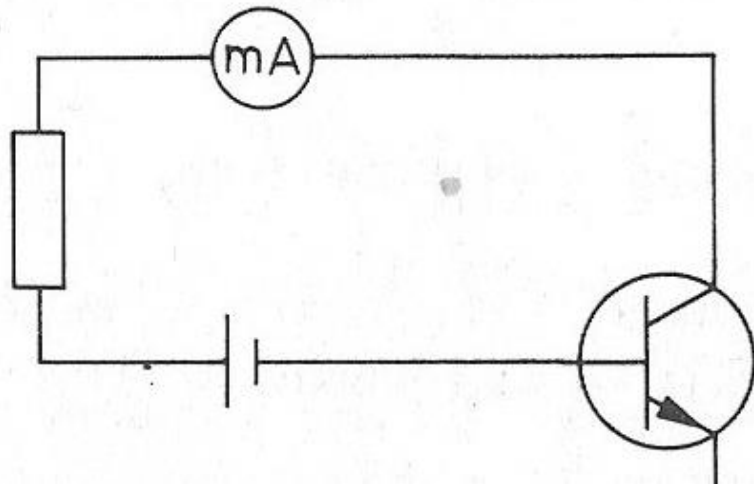
- ▶ Tranzistory (a polovodičové součástky obecně) pro zesilování větších výkonů se opatřují chladiči. Proč? Z jakých bývají materiálů?
- ▶ Při průchodu proudu se uvolňuje teplo, které ovlivňuje množství volného náboje. Toto teplo je třeba odvádět.
- ▶ Chladiče bývají kovové (díky malé měrné tepelné kapacitě kovů)

Chladič procesoru



Příklad

- ▶ Při kontrole funkce tranzistoru NPN byl ke kolektoru a bázi připojen obvod podle obrázku. Bude obvodem procházet proud? Zdůvodněte.



Obvod báze –
emitor je zapojen
v závěrném
směru, proud
proto procházet
nebude.

Literatura

- ▶ [1] BARTÁK, František a kol. *Sbírka úloh z fyziky pro studijní obory SOU a SOŠ*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha,n.p., 1988, ISBN 14-423-88.
- ▶ [2] AUTOR NEUVEDEN. *www.techmania.cz* [online]. [cit. 26.11.2012]. Dostupný na WWW: http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=456c656b747269636bfd2070726f7564h&key=542
- ▶ [3] BEDNAŘÍK, Milan; LEPIĽ, Oldřich. *Fyzika III pro studijní obory SOU*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1990, ISBN 80-04-24955-8.
- ▶ [4] REINHOLD, Arnold. *wikipedia.cz* [online]. [cit. 26.11.2012]. Dostupný na WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Transistors.agr.jpg>
- ▶ [5] VÍTEK, Jan. *svethardware.cz* [online]. [cit. 26.11.2012]. Dostupný na WWW: http://www.svethardware.cz/art_doc-BE246402ACA287F6C1257306004924F0.html