

Elektronika ve fyzikálním experimentu

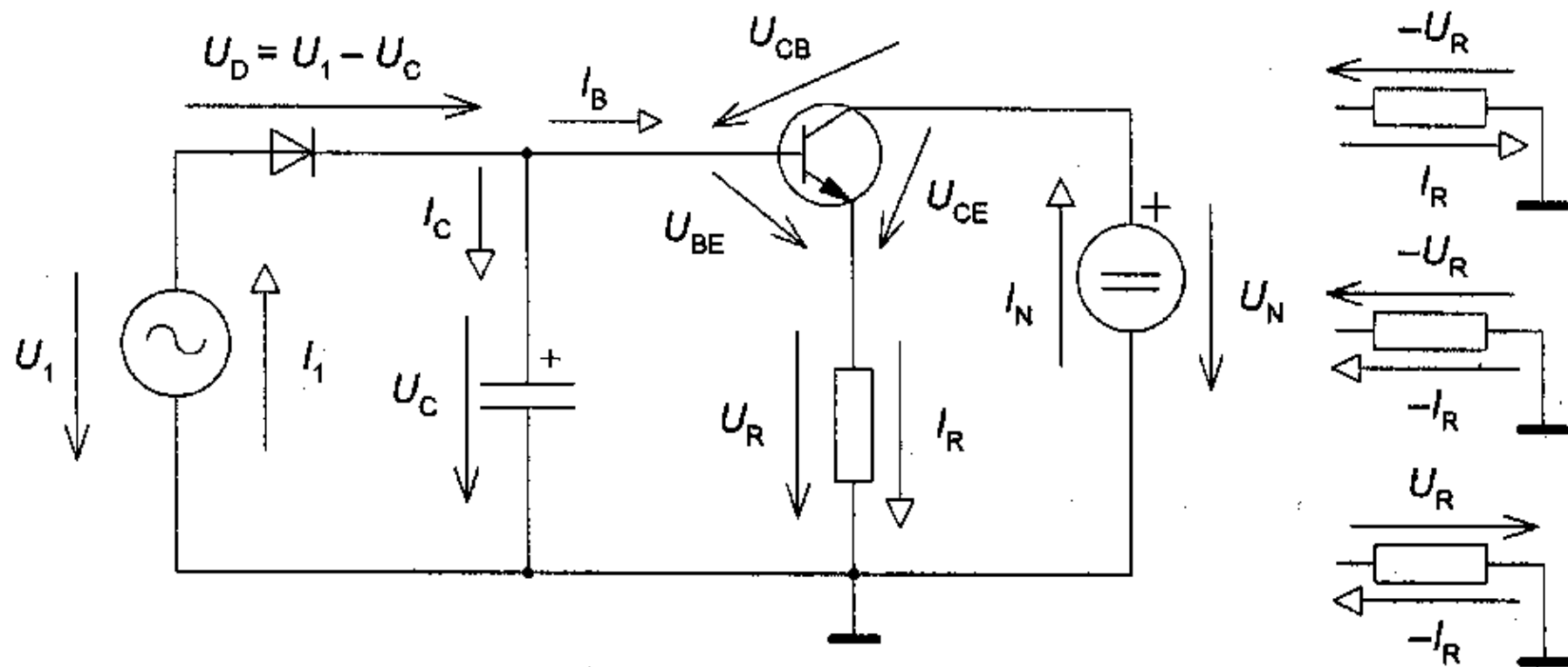
Josef Lazar

Ústav přístrojové techniky, AV ČR, v.v.i.

E-mail: joe@isibrno.cz

www: <http://www.isibrno.cz/~joe/elektronika/>

Elektrický obvod



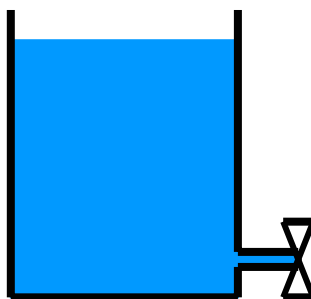
Analogie s kapalinou

Základními veličinami v elektronice jsou: napětí, proud a výkon.

Lze hledat analogii k proudění kapaliny:



~



Baterii lze přirovnat k nádobě kapaliny, elektrické napětí pak k výšce hladiny, nebo k tlaku vody v potrubí.

el. napětí ... U

el. proud ... I



~

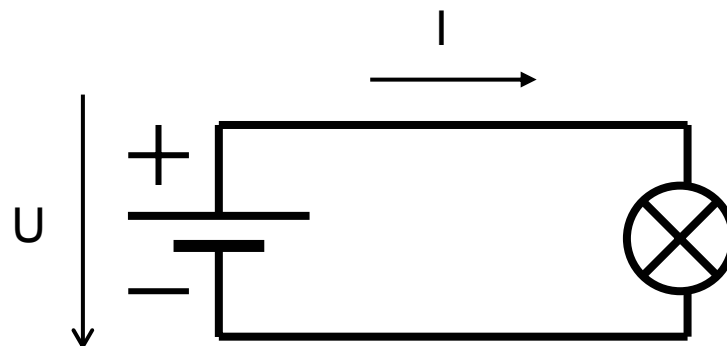
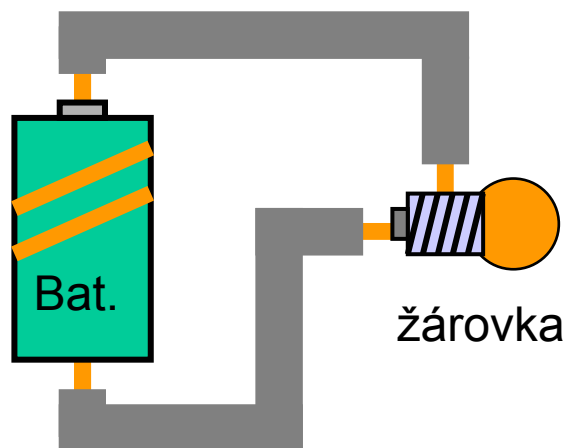


Elektrický vodič lze přirovnat k potrubí. Proud pak je obdobný průtoku vody (množství vody za jednotku času).

vodič, drát

Nejjednodušší obvod

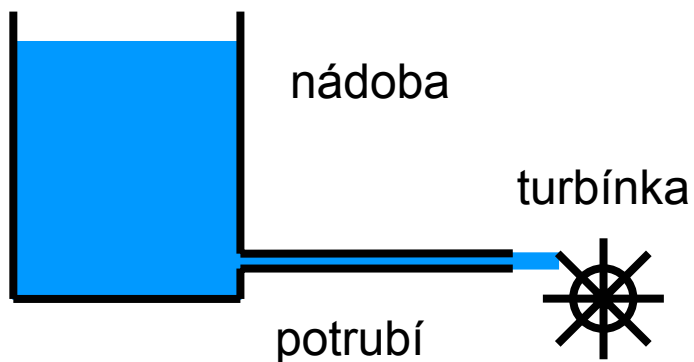
Nejjednodušší obvod může být obvod baterie a žárovky:



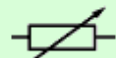
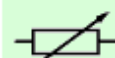
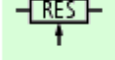
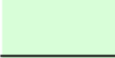
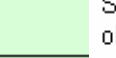
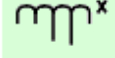
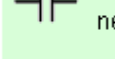
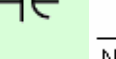
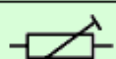
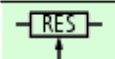
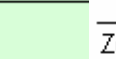
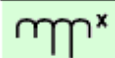
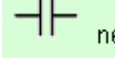
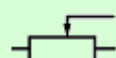
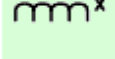
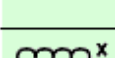
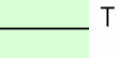
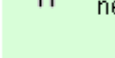
Baterie reprezentuje zdroj energie, je charakterizována napětím (nádobá tlakem vody), vodiči teče el. proud do žárovky – spotřebiče (voda potrubím).

Předávaný výkon je dán tlakem vody a průtokem. Obdobně u el. proudu.

El. výkon $P = U \cdot I$



Elektrické schematické značky

Název	DIN EN	NEMA ICS	Zemnění obecně	 07-02-01	 nebo 
Vedení, spojení			Zapínací kontakt	 07-02-01	 nebo 
Odbočení vodičů	 03-02-04 nebo  03-02-05	 nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo nebo 			
Odpor (rezistor) obecně	 04-01-02 nebo  04-01-02	 nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo nebo 			
Odpor s pevnými odbočkami	 04-01-09	 nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo nebo 			
Proměnný odpor obecně	 04-01-03	 nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo 			
Nastavitelný odpor	 04-01-07	 nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo 			
Odpor s posuvným kontaktem, potenciometr	 04-01-07	 nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo 			
Vinutí, indukčnost obecně	 04-03-01 nebo  04-03-02	 nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo  nebo nebo 			
Vinutí s pevnou odbočkou	 04-03-06	 nebo  nebo  nebo  nebo  nebo 			
Kondenzátor obecně	 04-02-01 nebo  04-02-02	 nebo  nebo  nebo  nebo 			

Pasivní elektronické součástky, odpory, kondenzátory, cívky, řady hodnot

Řada jmenovitých hodnot

E3	1,0	2,2	4,7																					
E6	1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8																		
E12	1,0	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	3,9	4,7	5,6	6,8	8,2												
E24	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,1
E48	100	105	110	115	121	127	133	140	147	154	162	169	178	187	196	205	215	226	237	249	261	274	287	301
	316	332	348	365	383	402	422	442	464	487	511	536	562	590	619	649	681	715	750	787	825	866	909	953
E96	100	102	105	107	110	113	115	118	121	124	127	130	133	137	140	143	147	150	154	158	162	165	169	174
	178	182	187	191	196	200	205	210	215	221	226	232	237	243	249	255	261	267	274	280	287	294	301	309
	316	324	332	340	348	357	365	374	383	392	402	412	422	432	442	453	464	475	487	499	511	523	536	549
	562	576	590	604	619	634	649	665	681	698	715	732	750	768	787	806	825	845	866	887	909	931	953	976
E192	100	101	102	104	105	106	107	109	110	111	113	114	115	117	118	120	121	123	124	126	127	129	130	132
	133	135	137	138	140	142	143	145	147	149	150	152	154	156	158	160	162	164	165	167	169	172	174	176
	178	180	182	184	187	189	191	193	196	198	200	203	205	208	210	213	215	218	221	223	226	229	232	234
	237	240	243	246	249	252	255	258	261	264	267	271	274	277	280	284	287	291	294	298	301	305	309	312
	316	320	324	328	332	336	340	344	348	352	357	361	365	370	374	379	383	388	392	397	402	407	412	417
	422	427	432	437	442	448	453	459	464	470	475	481	487	493	499	505	511	517	523	530	536	542	549	556
	562	569	576	583	590	597	604	612	619	626	634	642	649	657	665	673	681	690	698	706	715	723	732	741
	750	759	768	777	787	796	806	816	825	835	845	856	866	876	887	898	909	920	931	942	953	965	976	988

Číselné značení odporů, kondenzátorů a cívek používá zkratk: R, k (kilo), M (mega), u kondenzátorů: p (piko), n (nano), u (mikro), m (mili) a to místo desetinné tečky.
 Např: 1k5 = 1500, 4m7 = 0,0047. U kondenzátorů používají někteří výrobci k, resp. M, což je vztaženo k hodnotě 1 pF = 1R.

Barevný kód hodnot



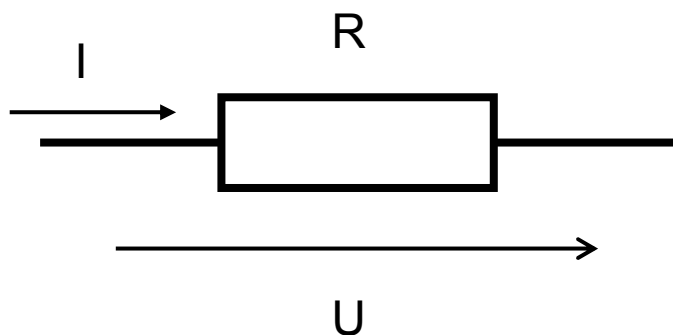
E12, E24



E24, E96, E192

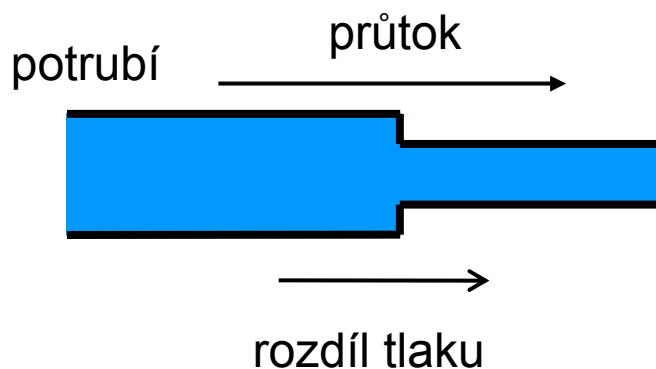
Barva	1.proužek	2.proužek	3.proužek	násobitel	tolerance
Černá	0	0	0	1	F ($\pm 1\%$) G ($\pm 2\%$)
Hnědá	1	1	1	10	
Červená	2	2	2	100	
Oranžová	3	3	3	1.000	
Žlutá	4	4	4	10.000	D ($\pm 0,5\%$) C ($\pm 0,251\%$) B ($\pm 0,1\%$)
Zelená	5	5	5	100.000	
Modrá	6	6	6	1.000.000	
Fialová	7	7	7	10.000.000	
Šedá	8	8	8		J ($\pm 5\%$) K ($\pm 10\%$) M ($\pm 20\%$)
Bílá	9	9	9		
Zlatá				0.1	
Stříbrná				0.01	
Žádná					

Rezistor, odpor



Další základní elektrickou veličinou je elektrický odpor. Součástí, která ji reprezentuje je rezistor, běžně nazývaný též odpor.

El. napětí přivedené na odpor v něm vybudí el. proud, proud procházející odporem na něm vytvoří napěťový rozdíl, spád, nebo též úbytek napětí.

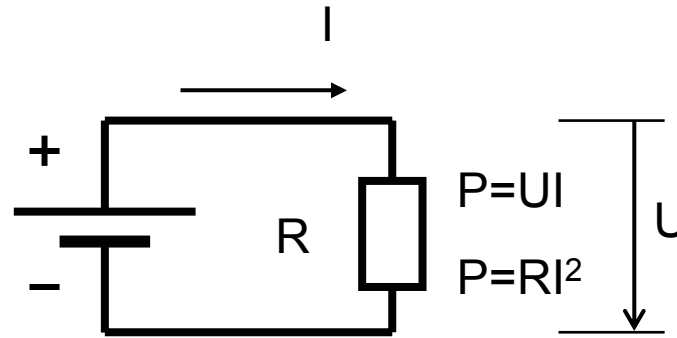
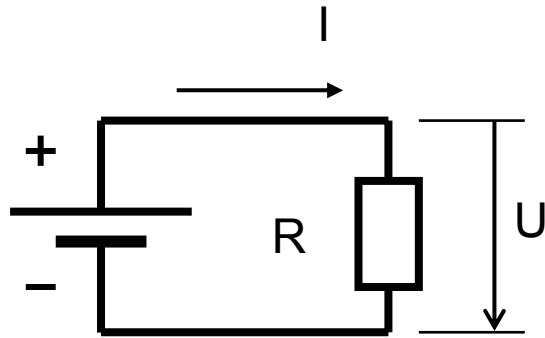


Vodní analogií je potrubí se zúžením – před a za zúžením je různý tlak vody.

Vztah mezi napětím, proudem a odporem je Ohmův zákon:

$$U = R \cdot I$$

Ohmův zákon – alfa a omega elektroniky



Ohmův zákon vyjadřuje závislost mezi napětím U , proudem I a odporem R .
Základní vztahy pro tyto veličiny jsou:

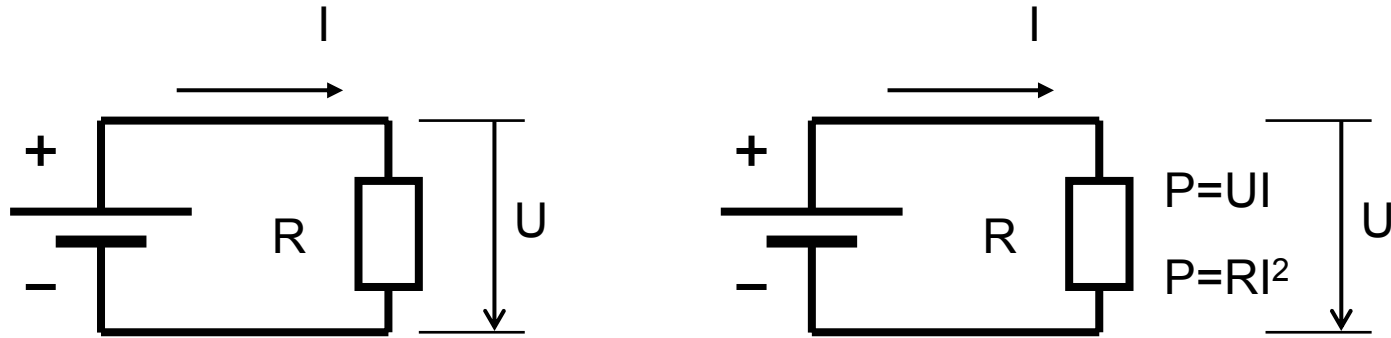
napětí: $U = I \cdot R$ $[V; A; \Omega]$, nebo $[V; mA; k\Omega]$

proud: $I = \frac{U}{R}$ $[A; V; \Omega]$, nebo $[mA; V; k\Omega]$

odpor: $R = \frac{U}{I}$ $[\Omega; V; A]$, nebo $[k\Omega; V; mA]$

Elektrické napětí uvádíme ve Voltech, proud v Ampérech a odpor v Ohmech

Ohmův zákon a vztah pro výkon



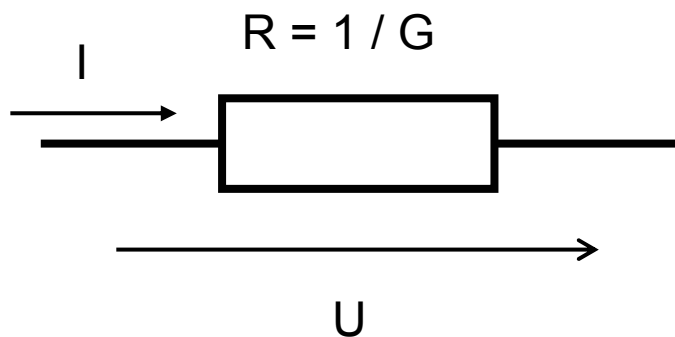
napětí: $U = I \cdot R = \frac{P}{I} = \sqrt{P \cdot R}$

proud: $I = \frac{U}{R} = \frac{P}{U} = \sqrt{\frac{P}{R}}$

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

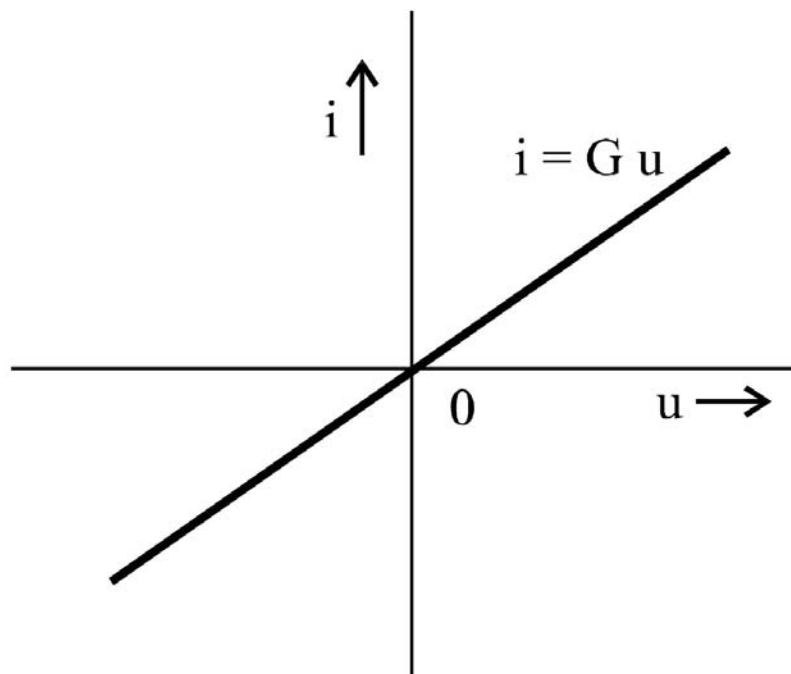
výkon: $P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R$

Odpor a vodivost



Převrácenou veličinou odporu je vodivost G , jednotkou je Siemens [S]

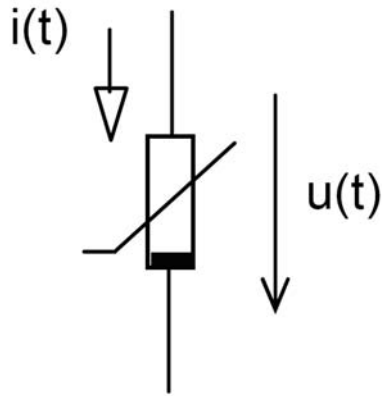
$$i = G \cdot u = \frac{1}{R} \cdot u$$



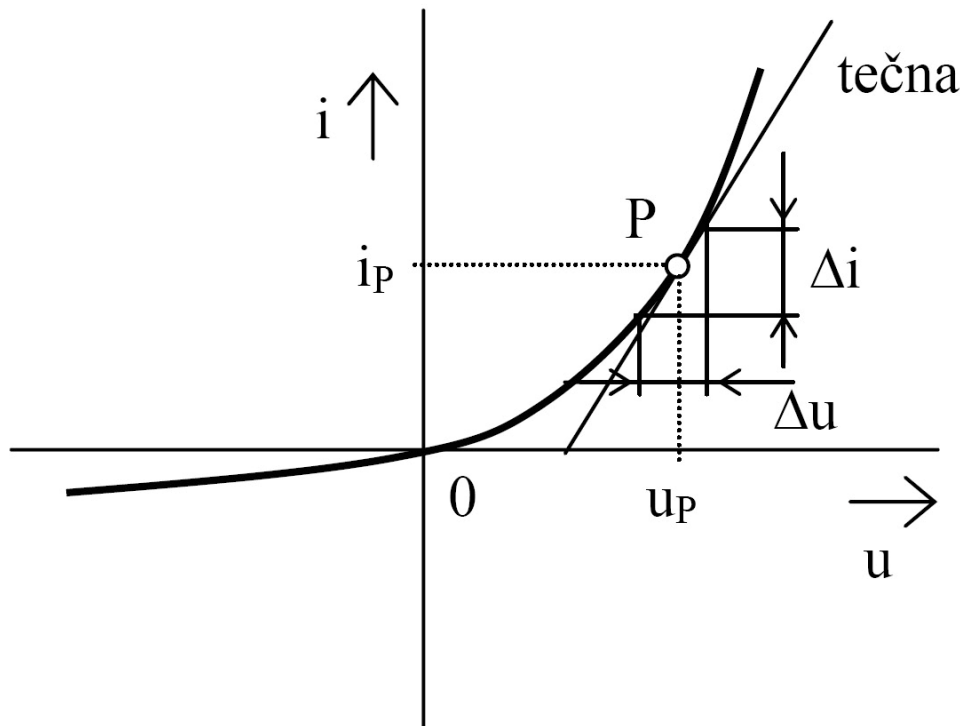
Závislost proudu nějakou součástkou na napětí na ní nazýváme volt – ampérová charakteristika. U lineárního odporu je to přímka.

Strmost přímky je dána vodivostí, převrácenou hodnotou odporu.

Nelineární odpor



Závislost proudu na napětí na součástce není vždy lineární, existuje mnoho nelineárních odporů (např. dioda). V – A charakteristika může pak vypadat takto:



Odpor a tím i vodivost – strmost charakteristiky se mění. Nelze mluvit o odporu jako o konstantní veličině. K popisu se používá tzv. diferenciální odpor pro určitou kombinaci napětí a proudu.

$$R_d(i) = \lim_{\Delta i \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta i} = \frac{du}{di}$$

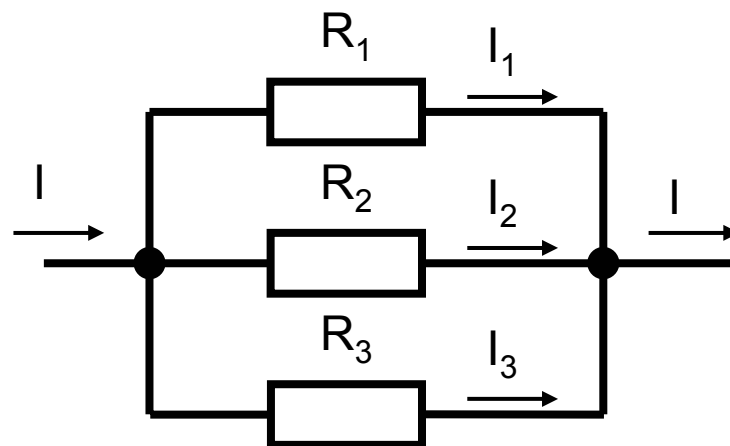
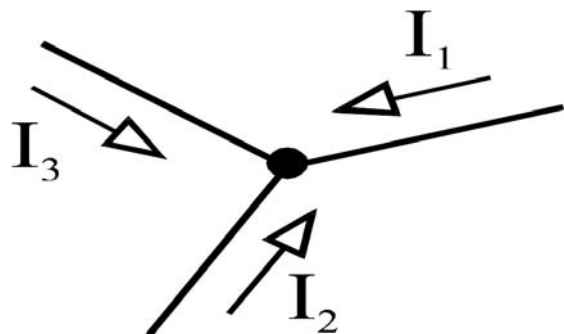
1. Kirchhoffův zákon

První Kirchhoffův zákon (zkratka 1. KZ , tzv. **proudový**) říká, že **algebraický součet proudů v uzlu je roven nule**. Vychází ze skutečnosti, že v uzlu se nemohou elektrické náboje ani ztrácet ani generovat, je tedy důsledkem platnosti zákona o zachování náboje. Při formulaci rovnic dodržujeme pravidlo, že proudy, které z uzlu vytékají, bereme s kladným znaménkem, proudy vtékající se záporným znaménkem.

Obecně můžeme psát

$$\sum_k \pm I_k = 0 \quad .$$

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

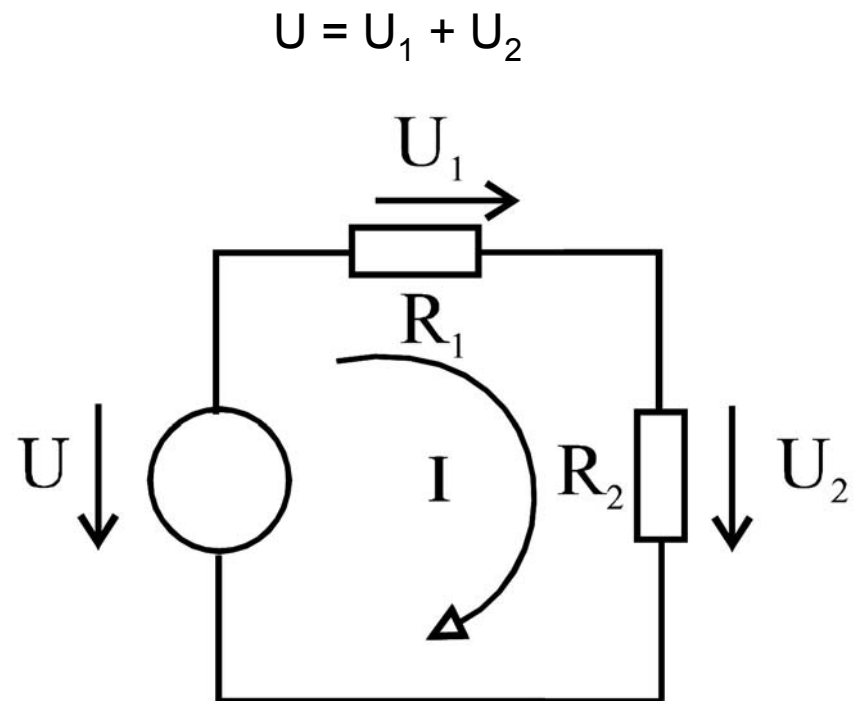
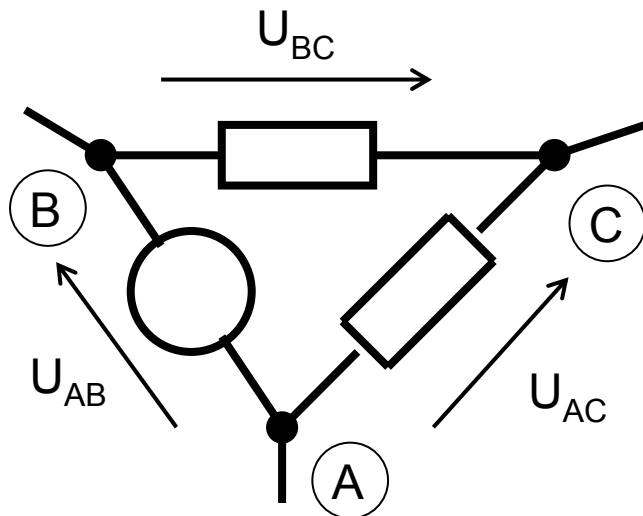


$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

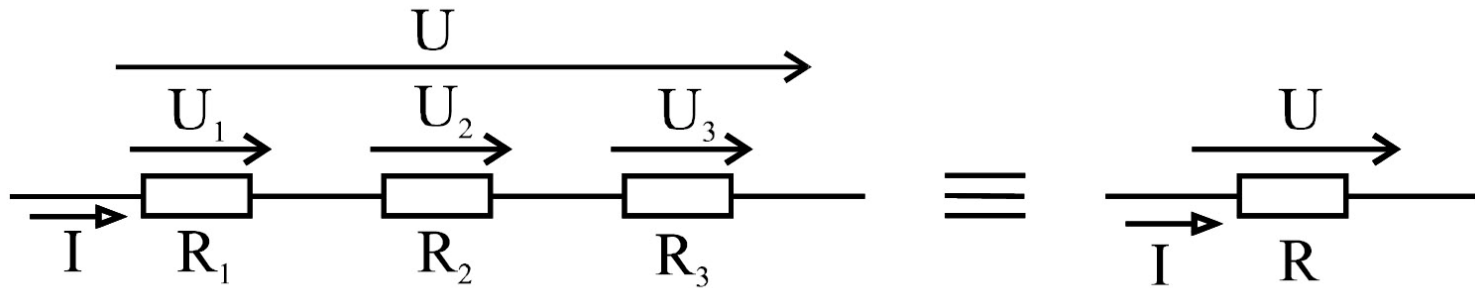
2. Kirchhoffův zákon

Druhý Kirchhoffův zákon (zkratka 2. KZ, tzv. **napět'ový**) říká, že **algebraický součet napětí podél uzavřené smyčky je roven nule**. Ve své podstatě je tento zákon zákonem o zachování energie v elektrickém obvodu, což je zřejmé z definice napětí. Jako **uzavřenou smyčku** v této souvislosti chápeme cestu začínající v některém uzlu, pokračující dalšími uzly a končící v uzlu, ve kterém začala. Žádným uzlem přitom neprochází dvakrát. Prakticky postupujeme tak, že si nejdříve ve smyčce vyznačíme kladný smysl oběhu. Pak napětí, jejichž čítačí šipky souhlasí se zvoleným kladným smyslem, bereme jako kladná, když nesouhlasí, tak jako záporná. Obecně můžeme psát

$$\sum_k \pm U_k = 0$$



Sériové řazení odporů



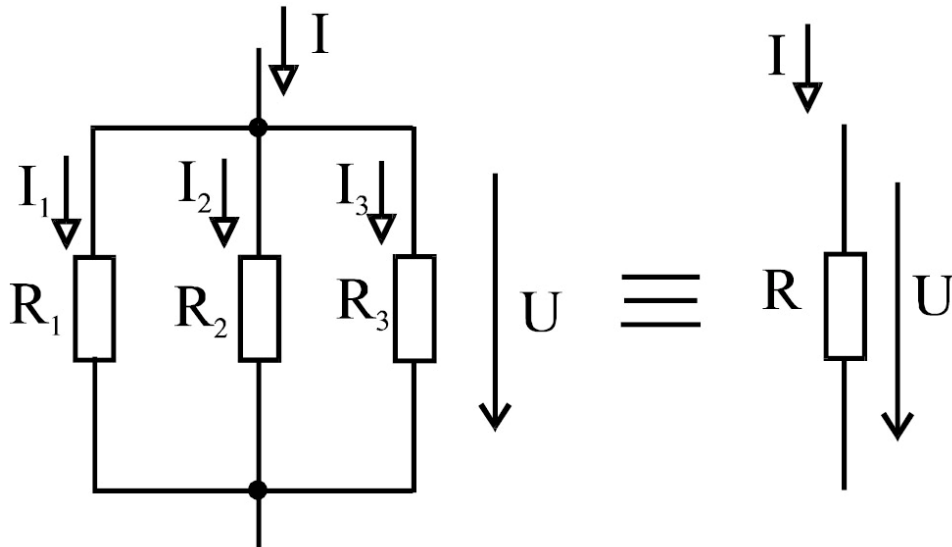
$$U = U_1 + U_2 + U_3 = I(R_1 + R_2 + R_3) = I.R$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R = \sum_{j=1}^n R_j$$

Odpory řazené za sebou – sériově jsou s ohledem na 1. Kirchhoffův zákon protékány jediným stále stejným proudem I . Celkový úbytek napětí je s ohledem na 2. Kirchhoffův zákon roven součtu úbytků napětí na odporech. Odtud plyne, že hodnota výsledného odporu sériové kombinace odporů je roven součtu jejich hodnot.

Paralelní řazení odporů



Odpory zapojené vedle sebe (paralelně) dělí mezi sebe proud, který jimi protéká (1. Kirchhoffův zákon). Sčítají se tedy vodivosti – převrácené hodnoty odporu.

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

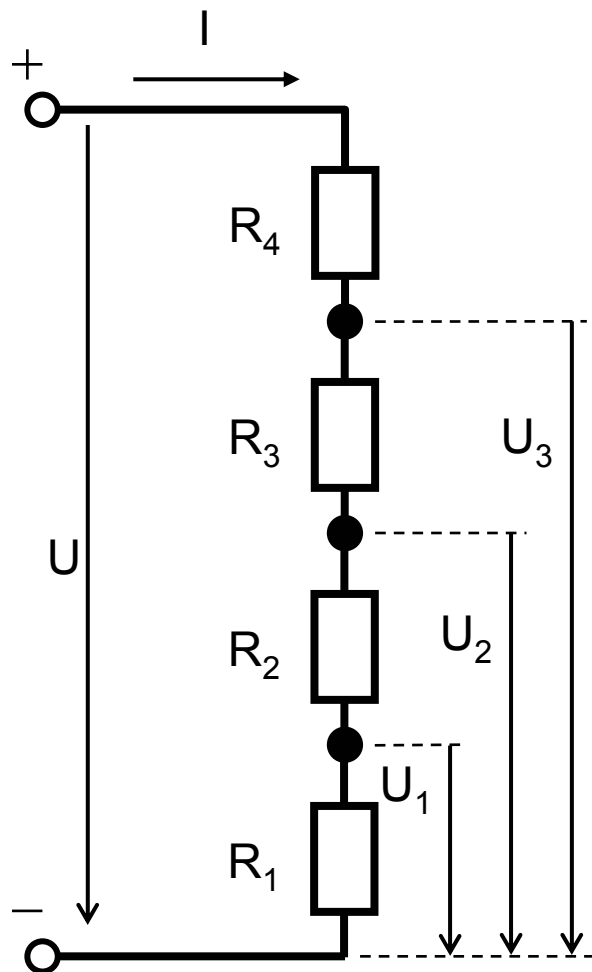
Pro zápis paralelní kombinace odporů se používá tento zápis:

$$R = R_1 // R_2 // \dots // R_n$$

$$R = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{R_j}} \quad G = \sum_{j=1}^n G_j$$

$$R = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Odporový dělič napětí, nezatížený



$$R_1 = \frac{U_1}{I} \quad [\Omega; \text{V}, \text{A}] \text{ nebo } [\text{k}\Omega; \text{V}, \text{mA}] \quad (180)$$

Podobně

$$R_2 = \frac{U_2}{I} - R_1 \quad (181)$$

také

$$R_3 = \frac{U_3}{I} - (R_1 + R_2) \quad (182)$$

a konečně

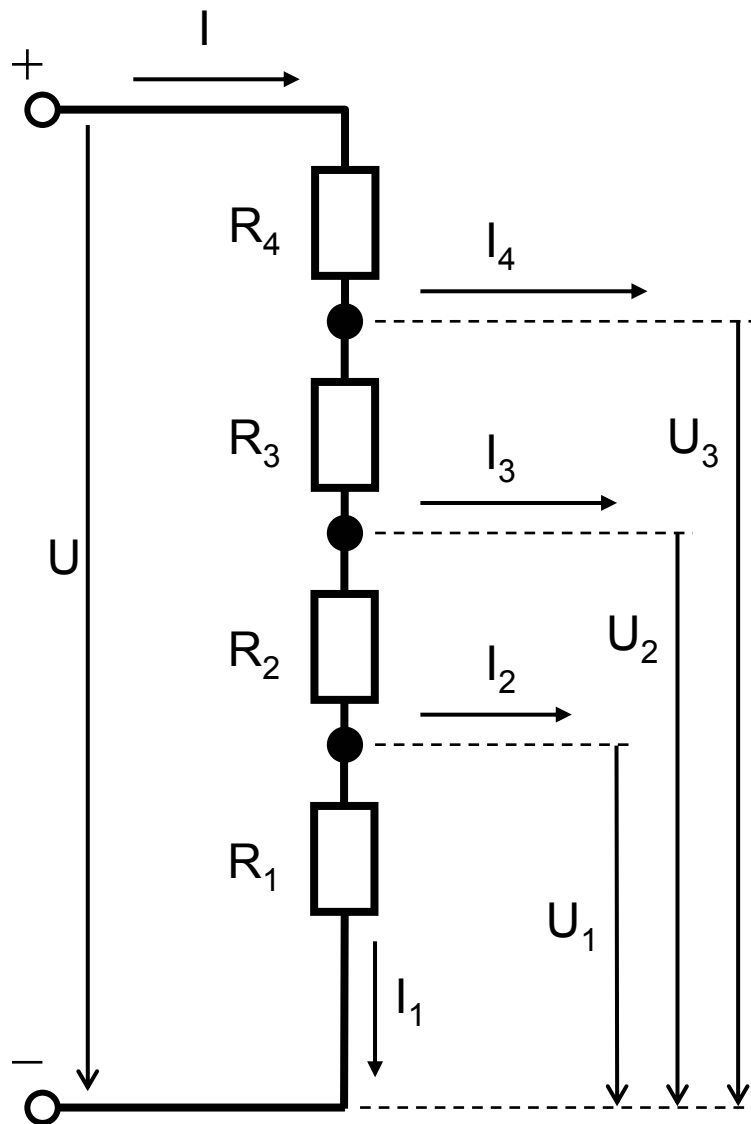
$$R_4 = \frac{U}{I} - (R_1 + R_2 + R_3) \quad (183)$$

kde R_1 až R_4 jsou odpory rezistorů děliče,
 I příčný proud děliče,
 U napětí zdroje,
 U_1 až U_4 napětí jednotlivých odboček.

U nezatíženého děliče volíme buď příčný proud I nebo celkový odpor děliče

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_n \quad (184)$$

Odporový dělič napětí, zatížený



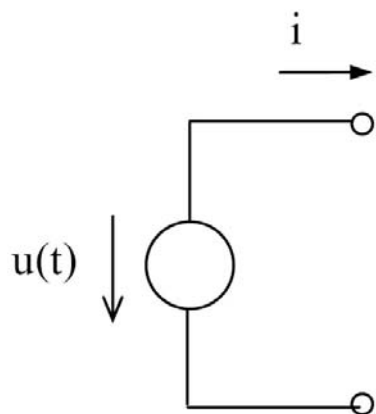
$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} \quad [\Omega; \text{V}, \text{A}] \text{ nebo } [\text{k}\Omega; \text{V}, \text{mA}]$$

$$R_2 = \frac{U_2 - U_1}{I_1 + I_2}$$

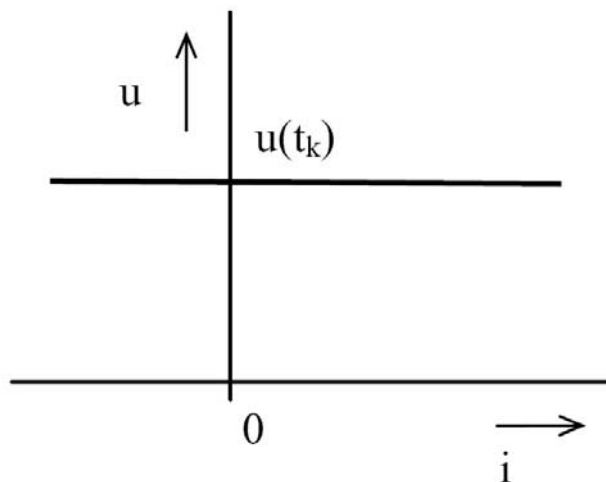
$$R_3 = \frac{U_3 - U_2}{I_1 + I_2 + I_3}$$

Zatíženým odporovým děličem neprotéká jediný konstantní příčný proud. V jednotlivých stupních jsou z něj odebírány proudy I_2 , I_3 a I_4 . Tyto zatěžovací proudy změň napěťové poměry na děliči – poklesnou napětí U_1 , U_2 , U_3 . Je-li příčný proud (bez zátěže) I_1 děličem výrazně větší, než I_2 , I_3 a I_4 , budou poklesy napětí U_1 , U_2 , U_3 malé. Mluvíme o „tvrdém“ děliči. V opačném případě o „měkkém“ děliči.

Zdroj napětí



a)



b)

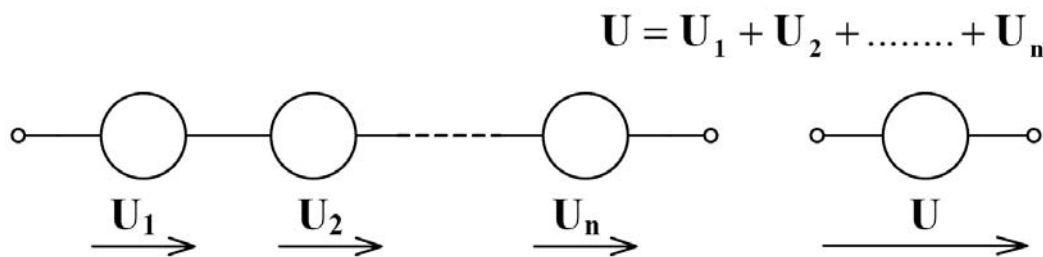
Ideální zdroj napětí a jeho zatěžovací charakteristika

Zdrojem napětí máme na mysli takový zdroj, jehož napětí se nemění s velikostí odebíraného proudu. Jeho V-A charakteristika (zatěžovací charakteristika) je přímka // s osou napětí.

Ideálnímu zdroji napětí se blíží např. baterie, laboratorní napájecí zdroj.

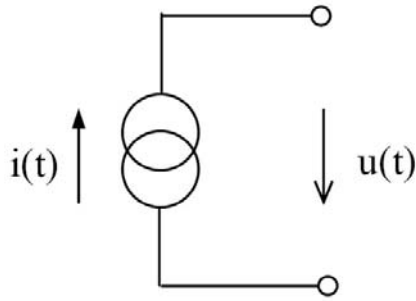
Zapojíme-li napěťové zdroje do série, jejich napětí se sčítají (2.Kirchhoffův zákon).

Zapojovat napěťové zdroje do série není dobrý nápad. Napětí nejsou nikdy přesně stejná a zdroje se navzájem vybíjejí, nebo ničí.

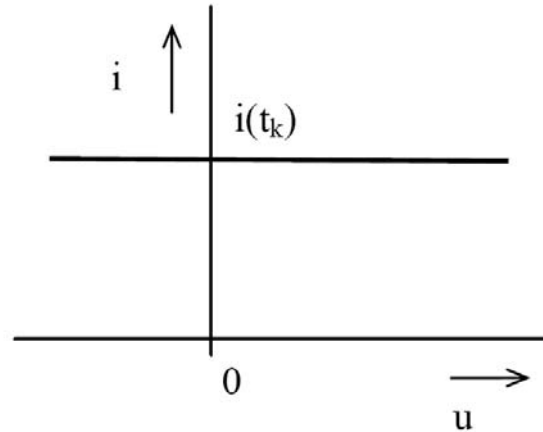


Sériové zapojení napěťových zdrojů

Zdroj proudu



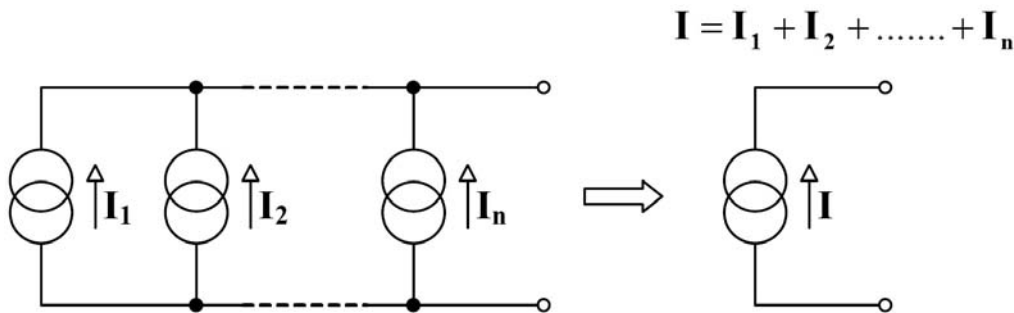
a)



b)

Ideální zdroj proudu a jeho zatěžovací charakteristika

Zdrojem proudu máme na mysli takový zdroj, jehož proud se nemění s velikostí připojené zátěže. Napájí zátěž konstantním proudem. Jeho V-A charakteristika (zatěžovací charakteristika) je přímka // s osou proudu.

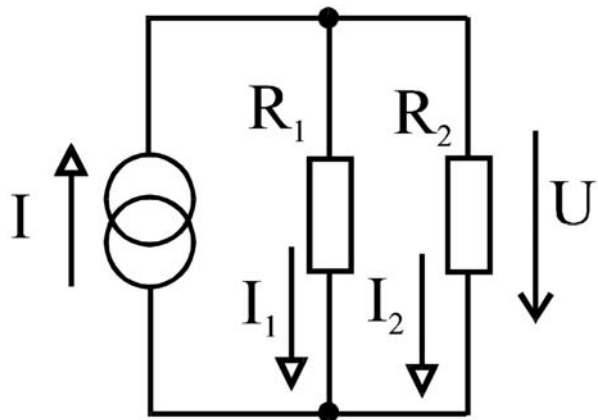


Paralelní zapojení proudových zdrojů

Zapojíme-li proudové zdroje paralelně, jejich proudy se sčítají (1. Kirchhoffův zákon).

Proudové zdroje se používají vzácněji. Pro sériové zapojení proudových zdrojů platí totéž, jako u paralelního zapojení napěťových zdrojů.

Dělič proudu



Obdobou děliče napětí je dělič proudu nazývaný někdy „bočník“.

Napětí na odporech v obou větvích je stejné, mezi větve s odpory R_1 a R_2 se dělí proud.

Podle 1. Kirchhoffova zákona je $I = I_1 + I_2$.

$$U = I_1 \cdot R_1$$

$$I_1 = U / R_1$$

$$U = I_2 \cdot R_2$$

$$I_2 = U / R_2$$

$$I = I_1 + I_2$$

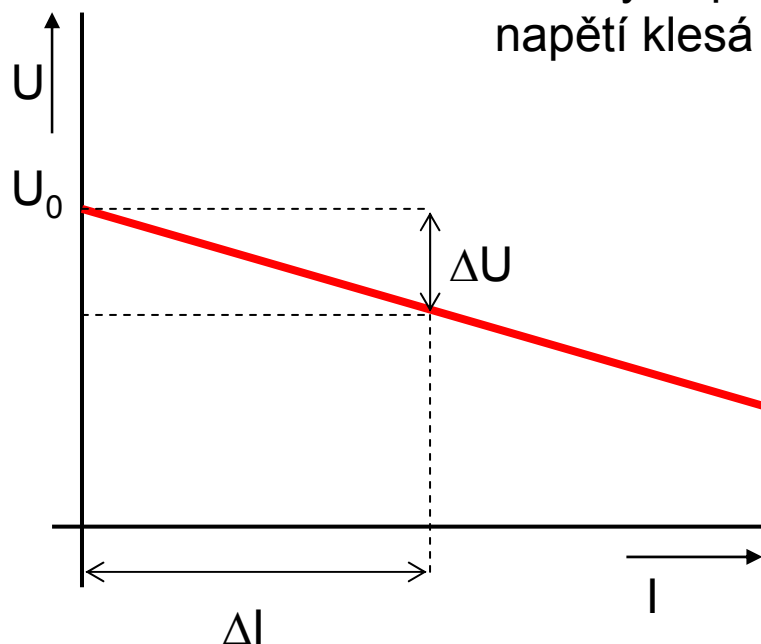
$$I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Proudy ve větvích s odpory R_1 a R_2 se mezi nimi dělí v opačném poměru hodnot odporů.

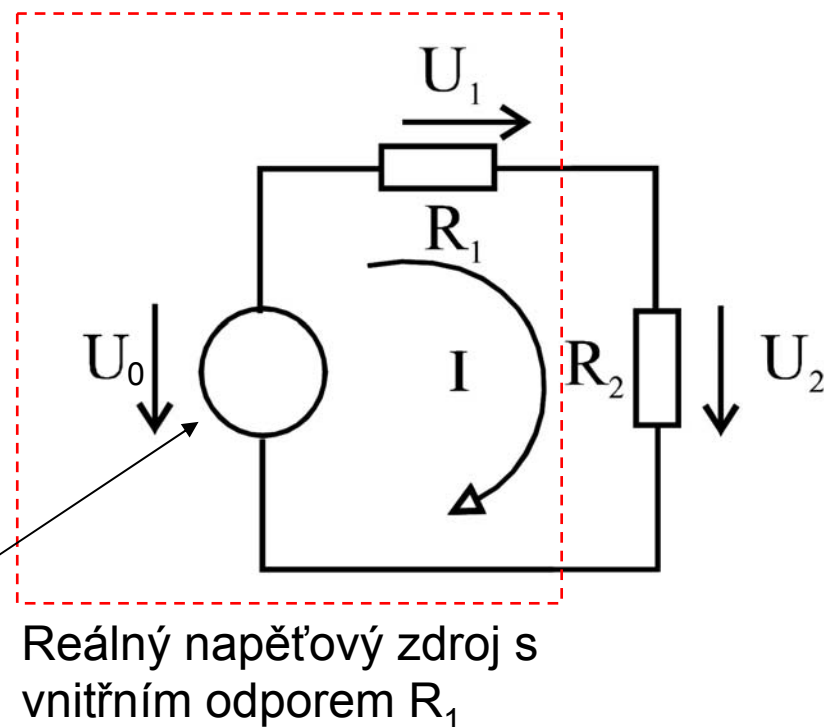
Reálný zdroj napětí a vnitřní odpor

Reálný napěťový zdroj (např. baterie) není „tvrdý“, jeho napětí klesá s velikostí odebíraného proudu.



$$R_1 = \Delta U / \Delta I$$

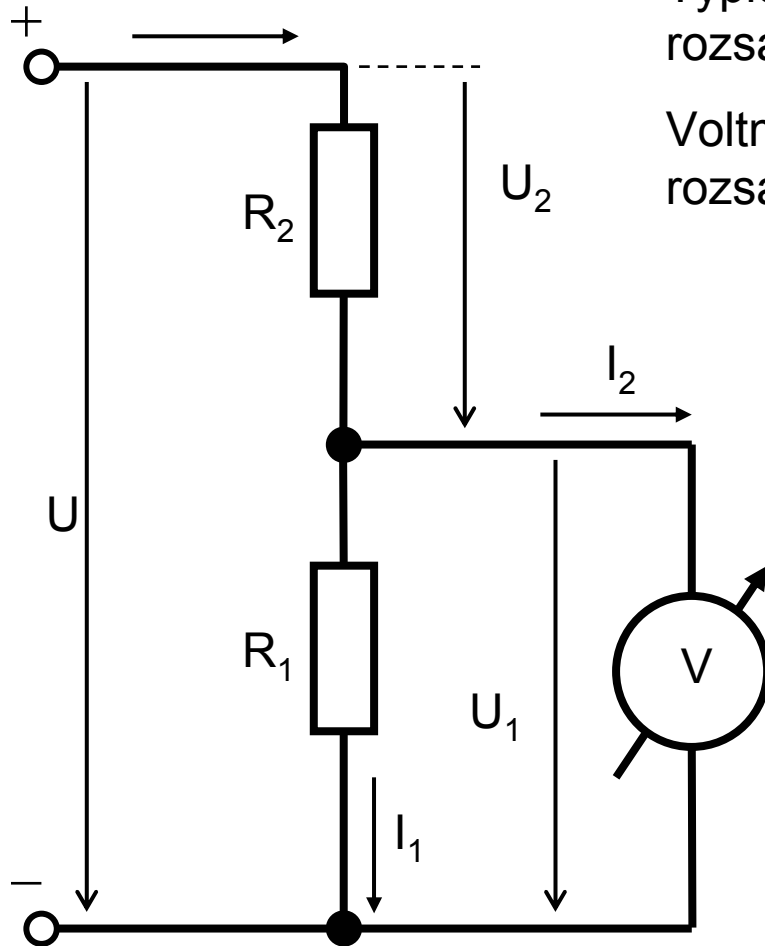
Ideální napěťový zdroj o napětí U_0



Reálný napěťový zdroj s vnitřním odporem R_1

Tento jev se popisuje jako nenulový vnitřní odpor zdroje. Úbytek napětí na hypotetickém „vnitřním“ odporu zdroje R_1 způsobuje pokles napětí na zátěži R_2 . Odpor R_1 a R_2 tvoří napěťový dělič.

Dělič napětí pro zvětšení rozsahu voltmetru



Typickou aplikací odporového děliče je zvětšení rozsahu voltmetru.

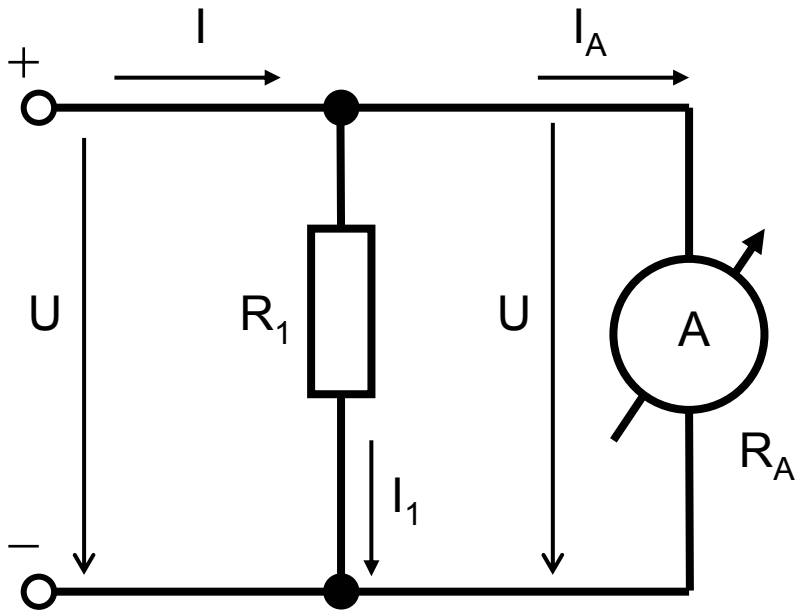
Voltmetr s rozsahem např. 1 V může měřit napětí v rozsahu 10 V, předradíme-li dělič v poměru 1:10.

Za předpokladu, že $I_2 = 0$ (voltmetr neodebírá proud), může být dělič „měkký“, jedná se o nezatížený dělič. např.:

$R_1 + R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $U = 10 \text{ V}$, $I_1 = 1 \text{ mA}$
odtud pak $R_2 = 9 \text{ k}\Omega$, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$.

Reálný voltmetr odebírá proud I_2 (má nějaký konečný vnitřní odpor) a vnáší tak do měření chybu. Tomu je třeba přizpůsobit dělič. Je-li např. $I_2 = 0,1 \text{ mA}$ a příčný proud děličem $I_1 = 1 \text{ mA}$, dopouštíme se při měření chyby 10 %. Požadujeme-li chybu 1%, musíme volit příčný proud děličem 10 mA a odpory budou $R_2 = 900 \Omega$ a $R_1 = 100 \Omega$.

Bočník pro zvětšení rozsahu ampérmetru



Obdobou je bočník pro zvětšení rozsahu ampérmetru. Chceme-li např. zvětšit rozsah ampérmetru z 1 A na 10 A, musíme znát vnitřní odpor ampérmetru R_A .

Máme-li dělit měřený proud $I = 10$ A v poměru 1:10, musí být bočník – odpor R_1 v inverzním poměru k vnitřnímu odporu ampérmetru R_A .

$$\frac{I_1}{I_A} = \frac{R_A}{R_1}$$

Je-li např. vnitřní odpor ampérmetru 1 Ω , pak:

$$\frac{10}{1} = \frac{1}{R_1}$$

$$R_1 = 0,1 \Omega$$

Závěr

- ➔ S napěťovými děliči se v elektronice setkáváme pořád a úplně všude.
- ➔ Napěťový dělič dělí napětí v poměru odporů.
- ➔ Volba příčného proudu a tím i velikosti celkové hodnoty odporů v děliči záleží na tom, jak „tvrdý“ dělič má být (jak moc záleží na poklesu napětí při zatížení).
- ➔ Ohmův zákon znamená, že odporem teče proud přímo úměrný napětí, na které odpor připojíme.
- ➔ Ale taky znamená, že na odporu vznikne úbytek napětí úměrný protékajícímu proudu! To není někdy úplně zřejmé (např. úbytek napětí na přírodních vodičích, které nemají nikdy úplně nulový odpor).