



## Výfučení: Elektrické obvody

V tomto Výfučení netradičně opustíme část fyziky nám důkladně známou a podíváme se na fyzikální oblast, která se zabývá elektřinou a elektrickými obvody. Řekneme si něco málo o základních veličinách a součástkách, jejich nejčastějším zapojení a nakonec si povíme i o nekonečných obvodech.

### Úvodem

Nejdříve si však připomeňme, co to vlastně je elektrický proud. S elektrickým proudem se každý v 21. století setkal, ať chce, nebo ne. Pomocí tohoto jevu poháníme mobilní telefony, počítače, některá auta a mnoho dalších zařízení. Chápání tohoto fenoménu se proto může hodit ať už se jím budeme zabývat blíže, či ne. Ve skutečnosti za během elektroniky stojí proud elektronů – částic, které se za běžných okolností nachází v atomech<sup>1</sup>. Někdy se však kvůli vnějším podmínkám vydají na cestu mezi jednotlivými atomy a takovému pohybu více elektronů říkáme elektrický proud.

K tomuto jevu však nemůže dojít v každé látce. Rozlišujeme vodiče, ve kterých k němu dojít může (vedou proud), nevodíče (izolanty), které proud nevedou, a polovodiče, které proud vedou za určitých podmínek. Typickým příkladem vodiče je měď, velmi dobrým vodičem je i zlato<sup>2</sup>. Asi nejběžnější izolant je plast a polovodič křemík.

### Proud a napětí

Nejdříve si představíme dvě zcela základní elektrické veličiny, pomocí kterých můžeme popsat pohyb elektronů vodičem – elektrický proud a napětí.

Proudem myslíme v elektrických obvodech množství náboje (počet elektronů), který proteče vodičem (o daném průřezu) za určitý čas. Velikost procházejícího proudu se běžně značí písmenem  $I$  s jednotkou ampér, značka A. Proud definujeme jako  $I = \Delta Q / \Delta t$  (coulomb / sekunda), což vyjadřuje, jak velký náboj proteče vodičem za daný časový interval. Pro snazší pochopení proudu a dalších elektrických veličin si můžete představit uspořádaný pohyb nesčetné maličkých elektronů, které dohromady tvoří elektrický proud, podobně jako uspořádaný pohyb nesčetné kapek vody (popř. molekul vody), které dohromady tvoří např. vodopád. Tato analogie, kdy si elektrický proud představíme jako tok vody, dokáže poměrně špatně představitelnou veličinu proměnit v něco, s čím máme každodenní zkušenost, a překvapivě pravdivě a dobře funguje.

Elektrické napětí představuje sílu, která tlačí náboje z jednoho bodu do druhého. Známe ho  $U$  a má jednotku V (volt). Elektrické napětí vždy určujeme mezi dvěma body. V naší vodní analogii připodobníme elektrické napětí k výšce vodního spádu, čímž myslíme rozdíl výšek mezi dvěma body. Čím vyšší je spád, tím rychleji proudí voda, resp. tím je větší elektrický proud.

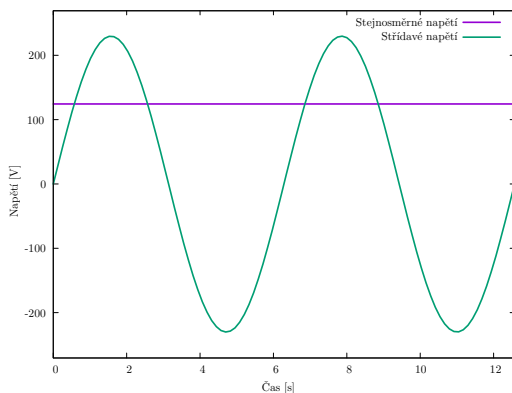
V elektrotechnice se pro zjednodušení nezabýváme všemi místy na obvodu, nýbrž jen tzv. uzly – místy, kde se vodič větví. Jedná se o významná místa, které nám obvod rozdělují do úseků, v nichž má zapojení stejné vlastnosti. O uzlech mluvíme také jako o místech s různým potenciálem. Potenciál je další elektrická veličina  $\varphi$ , kterou zde jen letmo zmíníme a v naší analogii

<sup>1</sup>Pokud se o vnitřní strukturu atomů chcete dozvědět víc, doporučujeme Výfučení 3. série 6. ročníku.

<sup>2</sup>Zlato má navíc značnou chemickou odolnost a prakticky nekoroduje, proto se z něj např. vyrábí lepší konektory na počítače.

ji připodobníme k výšce kopce v uzlu. Elektrické napětí mezi dvěma uzly se rovná rozdílu potenciálů v těchto bodech, stejně jako pomocí rozdílu dvou výšek můžeme určit spád kopce, ze kterého naše pomyslná voda teče. Proto je napětí mezi dvěma uzly o stejném potenciálu rovno nule a žádný proud mezi nimi neteče. Tuto poučku je dobré si zapamatovat, protože se často využívá pro zjednodušení složitějších obvodů. Další velmi důležitou poučkou je fakt, že proud se nikde v obvodu neztrácí ani nehromadí. To také znamená, že veškerý proud, který vteče do nějakého uzlu, z něj taky musí vytéct.

Existují dva základní typy proudu a napětí – stejnosměrné a střídavé. Stejnosměrné máme například v mobilních telefonech a v bateriích, zatímco střídavé v zásuvce.<sup>3</sup> Střídavé veličiny, na rozdíl od stejnosměrných, svoji velikost periodicky (tedy střídavě) mění v čase a stejnosměrné zůstávají konstantní. My se zatím pro jednoduchost budeme zabývat pouze stejnosměrným proudem.



Obr. 1: Příklad střídavého a stejnosměrného napětí

### Ohmův zákon a odpor vodiče

Každý materiál je charakterizován elektrickým odporem, odvozenou fyzikální veličinou popisující schopnost vodiče vést elektrický proud, která se značí  $R$  a má jednotku ohm  $\Omega$ . Jedná se o vlastnost materiálu, která závisí na mnoha faktorech, např. na teplotě. Nicméně tyto změny jsou velmi malé, takže pokud se pohybujeme „v rozumných mezích“, můžeme odpor považovat za konstantní. Většinou se určuje experimentálně, a to z tzv. Ohmova zákona, který nám svazuje dohromady právě elektrický odpor  $R$ , napětí  $U$  a proud  $I$ :

$$U = IR. \quad (1)$$

Jak můžeme vidět, tak čím větší má materiál odpor, tím méně „ochotně“ vede proud.

<sup>3</sup>Těmto proudům vděčí za název také skupina ACDC (z anglických zkratk pro tzv. „Alternating Current“ a „Direct Current“).

Jedna z mála výjimek, kdy umíme odpor spočítat teoreticky, je odpor *geometrického vodiče*, tedy drátu. Jeho odpor je přímo úměrný jeho délce, nepřímo úměrný jeho průřezu a samozřejmě je ovlivněn nějakou materiálovou konstantou, zapsáno rovnicí:

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

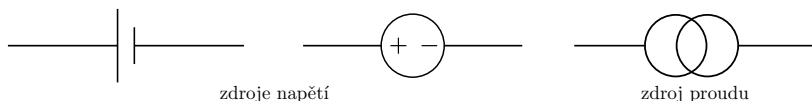
kde  $\rho$  je tzv. měrný elektrický odpor,  $l$  je délka vodiče a  $S$  je jeho průřez. Pokud si spočteme odpor nějakého vodiče, zjistíme, že bývá typicky velmi malý, a proto ve většině případů považujeme vodiče v obvodu za ideální, tedy s nulovým odporem.

### Základní elektrické součástky

Elektrické obvody se skládají z mnoha různých součástek, které mají různé vlastnosti. Ty je dobré znát, abychom mohli jednak spočítat například proudy tekoucí naším obvodem, ale hlavně bychom bez jejich znalosti nezvládli žádný obvod navrhnout.



**Rezistor** Rezistor je nezákladnější elektrická součástka reprezentující odpor. Pomocí ní dokážeme regulovat protékající proud obvodem, získat různé napětí atp. Pokud máme v obvodu vodiče, které nejsou ideální, ale mají odpor  $R_v$ , můžeme je pro výpočty považovat za ideální vodiče bez odporu, na nichž je zapojen rezistor se stejným odporem jako původní drát, tedy  $R_v$ .

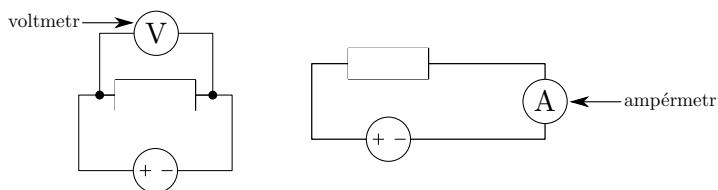


**Ideální zdroje** Celou dobu se bavíme o napětí a proudu, ale ty se samozřejmě nevezmou „odnikud“. Aby v obvodu tekla nějaký proud, musíme v něm mít zdroj energie. Pro naše potřeby uvažujeme dva druhy takových zdrojů – ideální zdroj napětí a ideální zdroj proudu.

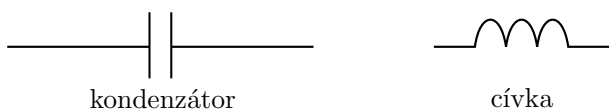
Ten první, jak název napovídá, dodává do obvodu napětí, a to nehledě na to, jaký proud z něj budeme odebírat. V ideálním případě má nulový vnitřní odpor a můžeme si ho představit jako baterku. Pokud máme reálný zdroj napětí, můžeme si ho pro jednodušší počítání opět překreslit jako ideální zdroj napětí sériově spojený s odporem.

Ideální zdroj proudu se chová velice podobně, akorát do obvodu dodává konstantní proud. V ideálním případě má nekonečný vnitřní odpor. Reálné proudové zdroje mají tedy velký vnitřní odpor. Protože se s nimi ale běžně nesetkáme, dál se zdroji proudu nebudeme zabývat.

**Voltmetr a ampérmetr** Je dobré teoretické výsledky podrobit experimentálnímu ověření. K tomu využíváme voltmetr a ampérmetr. Voltmetr je zařízení určené k měření napětí. V ideálním případě má nekonečný odpor a neteče jím žádný proud, připojuje se proto paralelně k měřenému prvku a obvod nijak neovlivňuje.



Oproti tomu ampérmetr, sloužící k měření protékajícího proudu, se připojuje sériově. V ideálním případě má nulový vnitřní odpor, a tedy z Ohmova zákona je zřejmé, že na něm nedochází k úbytku napětí. To také znamená, že nijak neovlivňuje měřený obvod.



**Další součástky** Dalšími velmi důležitými součástkami jsou kondenzátor a cívka. Ideální cívka je stočený ideální vodič, v němž se ukládá „energie protékajícího proudu“. Její stěžejní vlastnost je, že se snaží udržet konstantní proud, který jí prochází. Kondenzátor se naopak skládá v nejjednodušším případě ze dvou vodivě nespojených desek, v nichž se ukládá náboj, a snaží se na svých svorkách („vývodech“) udržet konstantní napětí.

Obě dvě součástky mají velmi zajímavé vlastnosti, a to hlavně v případě střídavého proudu a napětí. V našem případě stejnosměrných veličin můžeme cívku nahradit ideálním vodičem a naopak kondenzátor rozpojenými vodiči. Je však dobré vědět, že takové součástky existují, a až se s nimi jednou potkáme blíže, nebudou pro nás takovým překvapením.

### Spojování rezistorů

V elektrotechnice rozeznáváme dva typy zapojení – sériové, kdy součástky zapojujeme za sebe na jednom vodiči a všemi protéká stejný proud, a paralelní, u kterého se součástky zapojují vedle sebe mezi stejné uzly (součástky sdílejí stejné napětí). Obvody většinou chceme co nejvíce zjednodušit, a proto tato zapojení můžeme nahradit jediným odporem, který ale bude mít ekvivalentní hodnotu. Navíc můžeme tato zapojení mezi sebou libovolně kombinovat.

**Sériové zapojení** Jak jsme si již řekli, v sériovém zapojení spojujeme součástky za sebe. Díky tomu všemi součástkami teče stejný proud. Z Ohmova zákona dokážeme spočítat výsledné napětí jako

$$U = U_1 + U_2 + \dots = IR_1 + IR_2 + \dots,$$

$$\frac{U}{I} = R_1 + R_2 + \dots,$$

$$R = R_1 + R_2 + \dots.$$

Pokud takové zapojení více odporů chceme nahradit jediným, aniž by se odpor změnil, prostě sečteme odpory jednotlivých součástek.

**Paralelní zapojení** U paralelního zapojení naměříme na všech součástkách vždy stejné napětí, neboť jsou všechny zapojeny mezi dvěma stejnými uzly. Jednotlivé součástky se však liší velikostmi proudů jimi protékajícími. Pokud tedy chceme takové zapojení zjednodušit, potřebujeme spočítat celkový proud protékající mezi krajními uzly tohoto zapojení:

$$I = I_1 + I_2 + \dots = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \dots,$$

$$\frac{I}{U} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots,$$

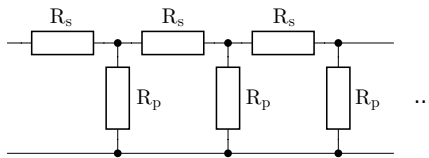
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots.$$

Paralelní spojení rezistorů můžeme nahradit jediným rezistorem, jehož převrácená hodnota odporu je rovna součtu převrácených hodnot jednotlivých odporů původního zapojení.

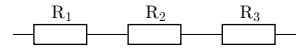
Obě tyto úlohy můžeme otočit a ptát se, jaké dva rezistory potřebujeme vzít, abychom na jednom z nich dostali nějaké napětí, resp. proud, pokud známe celkové napětí a vstupní proud, resp. vstupní napětí a celkový proud.

### Nekonečné obvody

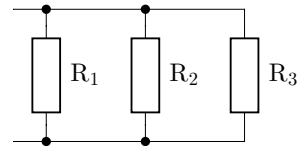
Občas se setkáme i s obvody, ve kterých se opakuje stejná část obvodu nekonečněkrát. Jako příklad tady máme následující síť odporů.



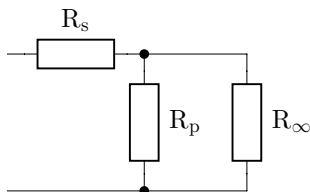
Zajímavé na nekonečných odporových sítích je, že ačkoliv jsou opravdu nekonečné, mají konečný odpor. Občas je potřeba zjistit, jaký tento výsledný odpor je. Řešením je takový malý fyzikální trik – celý nekonečný obvod chceme nahradit jediným odporem  $R_\infty$ , ale jelikož tento



Obr. 2: Sériové zapojení



Obr. 3: Paralelní zapojení



Obr. 4: Náhradní zapojení nekonečné odporové sítě

odpor reprezentuje celou nekonečnou síť, jeho hodnota se nijak nezmění, přidáme-li na začátek ještě jednu opakující se buňku.

Tímto krokem ale dostáváme zapojení tří odporů, o nichž víme, že jejich celkový odpor je stále  $R_\infty$ . Aplikací výše popsaných pravidel pro nahrazování paralelních a sériových zapojení odporů dostáváme rovnici

$$R_\infty = R_s + \frac{R_p R_\infty}{R_p + R_\infty},$$

což je kvadratická rovnice o jedné neznámé (při řešení se v ní vyskytne  $R_\infty^2$ ). Proto si z ní můžeme po troše úprav vyjádřit hledaný celkový odpor:

$$R_\infty = \frac{R_s + \sqrt{R_s^2 + 4R_s R_p}}{2}.$$

## Závěr

Tímto je Výfučení páté série u konce. Představili jsme si základní veličiny a prvky elektrických obvodů, ukázali jsme si, jak vypočítat odpor sériově či paralelně spojených rezistorů a také jsme si připomněli jeden ze základních vzorců a zákonů elektrických obvodů, Ohmův zákon, který nám vzájemně svazuje veličiny proud  $I$ , napětí  $U$  a elektrický odpor  $R$ . Společně jsme si také vysvětlili funkci známých zapojení, která nám kolikrát mohou usnadnit práci a pomoci i snadněji pochopit funkci zkoumaného obvodu. Ke konci Výfučení jsme se podívali i na nekonečnou rezistorovou síť, která má překvapivě konečný odpor.

*Josef Krška*

*Lubor Čech*

cech@vyfuk.mff.cuni.cz

---

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.  
Pro zobrazení kopie této licence navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.