

## Základní pojmy elektrotechniky

### Jednotky a jejich rozměry

Fyzikální veličina je objektivní vlastnost jevu, tělesa nebo látky, která má velikost, jež může být vyjádřena jako číslo a reference.

Soustava SI je mezinárodně domluvená soustava jednotek fyzikálních veličin, která se skládá ze sedmi základních jednotek, na nich aritmeticky záviselých odvozených jednotek a dekadickými předponami tvořených násobků a dílů jednotek.

Základním záměrem pro zavedení soustavy SI bylo sjednocení dosud používaných jednotek. Přesto se dosud například v angloamerických zemích používají jiné jednotky (například palec nebo míle). V Česku bylo uzákoněno používání soustavy jednotek SI v roce 1990.

Název veličiny	Značka	Název jednotky	Značka
čas	t	sekunda	s
délka	L (malé L)	metr	m
elektrický proud	I (velké I)	ampér	A
hmotnost	m	kilogram	kg
látkové množství	n	mol	mol
svítivost	I (velké I)	kandela	cd
termodynamická teplota	T	kelvin	K

*Příklad definice:* Ampér je „Stálý elektrický proud, který při průchodu dvěma přímými rovnoběžnými nekonečně dlouhými vodiči zanedbatelného kruhového průřezu umístěnými ve vakuu ve vzájemné vzdálenosti 1 metr vyvolá mezi nimi stálou sílu o velikosti  $2 \cdot 10^{-7}$  newtonu na 1 metr délky vodiče“.

Výše uvedená oficiální definice není v praxi ověřitelná, proto se používá také jiných, např. Proud, který teče odporem 1  $\Omega$  po připojení na napětí 1 Volt.

### Doplňkové jednotky

Název veličiny	Značka	Název jednotky	Značka
rovinný úhel	$\alpha, \beta, \gamma, \dots$	radián	rad
prostorový úhel	$\Omega$	steradián	sr

### Odvozené jednotky

Odvozené jednotky se tvoří kombinacemi (povoleny jsou výhradně součiny a podíly) základních jednotek, u významných veličin dostaly samostatné názvy i jednotky.

*Příklad:* Rychlost – metr za sekundu (značka m/s nebo  $m \cdot s^{-1}$ ). Výpočet  $v = s / t$  (dráha / čas).

Název veličiny	Značka	Název jednotky	Značka
náboj	Q	Coulomb	C
hustota	$\rho$	kilogram na metr krychlový	$kg \cdot m^{-3}$
rychlost	v	metr za sekundu	$m \cdot s^{-1}$
síla	F	Newton	N
odpor	R	Ohm	$\Omega$
tlak	p	Pascal	Pa
napětí	U	Volt	V
plocha	S	metr čtverečný	$m^2$
objem	V	metr krychlový	$m^3$

V praxi se používá mnoho dalších jednotek. Přehled jednotek používaných v elektrotechnice naleznete například zde: <https://barts.cz/domains/barts.cz/index.php/elektronika/teorie/28-zakladni-jednotky>

## Násobné a dílčí jednotky

K vyjádření násobků nebo dílů základních nebo odvozených jednotek (výhradně dekadických) slouží předpony. Dále uvedené předpony lze použít pro jakoukoliv jednotku soustavy SI. Následující tabulka obsahuje nejčastěji používané předpony.

Násobky					
předpona	značka	název	násobek		příklad
tera	T	bilion	$10^{12}$	1 000 000 000 000	TW – terawatt
giga	G	miliarda	$10^9$	1 000 000 000	GHz – gigahertz
mega	M	milión	$10^6$	1 000 000	MV – megavolt
kilo	k	tisíc	$10^3$	1 000	km – kilometr
Podíly (díly)					
mili	m	tisícina	$10^{-3}$	0,001	mm – milimetr
mikro	$\mu$	miliontina	$10^{-6}$	0,000 001	$\mu$ A – mikroampér
nano	n	miliardtina	$10^{-9}$	0,000 000 001	ns – nanosekunda
piko	p	biliontina	$10^{-12}$	0,000 000 000 001	pF – pikofarad

Kromě výše uvedených obsahuje kompletní tabulka SI také další méně používané násobky iotta ( $10^{24}$ ), zetta ( $10^{21}$ ), exa ( $10^{18}$ ), peta ( $10^{15}$ ) a podíly femto ( $10^{-15}$ ), atto ( $10^{-18}$ ), zepto ( $10^{-21}$ ), yocto ( $10^{-24}$ ). Nebo jiné běžně používané hekto ( $10^2$ ), deka ( $10^1$ ), deci ( $10^{-1}$ ) a centi ( $10^{-2}$ ).

V matematických výrazech a výpočtech je výhodnější používat zápis s exponentem ( $10^x$ ). Výhodou zápisu je, že čísla, která by bylo třeba vyjádřit pomocí mnoha míst před nebo za desetinnou čárkou, lze zapsat v krátké formě.

*Příklad použití předpon:*

Předpona kilo znamená vždy  $10^3$  tj. 1 000. Platí tedy, že 1 km = 1 000 m, 1 kg = 1 000 g, 1 k $\Omega$  = 1 000  $\Omega$ , 1 kW = 1 000 W, atd.

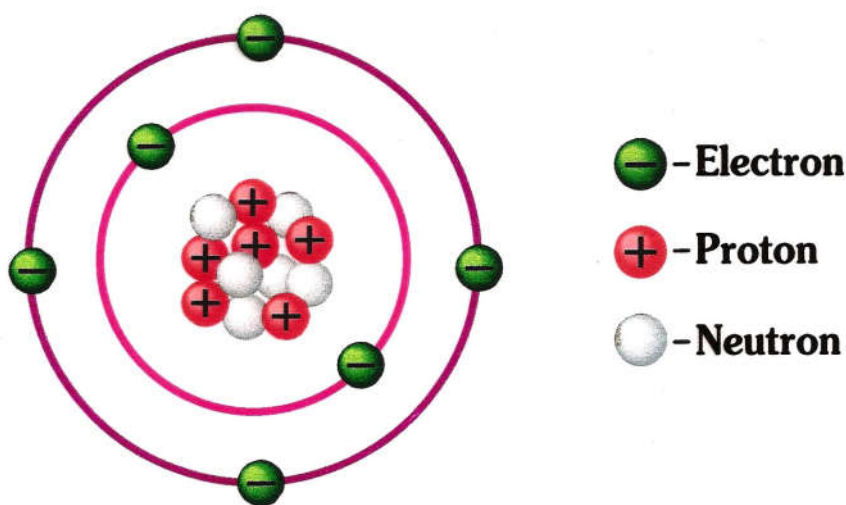
## Vedlejší jednotky

Vedlejší jednotky jsou jednotky, které byly dříve pro svoji všeobecnou rozšířenost a užitečnost řazeny do soustavy SI, přestože nebyly odvozeny ze základních jednotek. V současnosti se považují za mimosoustavové.

Soustava SI akceptuje používat souběžně s jednotkami SI následující jednotky: **minuta, hodina, den, úhlový stupeň, úhlová minuta, úhlová vteřina, hektar, litr, tuna.**

## Stavba hmoty, elektrická vodivost

Elektrina je druh energie, která se dokáže v jednom místě nahromadit, nebo z jednoho místa na druhé proudit. Elektrina nahromaděná na jednom místě se nazývá statická elektrina; elektrina, která se pohybuje z jednoho místa na druhé, se nazývá elektrický proud.



Elektrina je způsobena elektrony, malými částicemi, které „obíhají“ uvnitř obalu atomů (nejmenší částice, ze kterých se vše skládá). Elektrony mají negativní náboje. Atom obsahuje kromě obalu i jádro, ve kterém jsou protony s kladnými náboji a neutrony se žádnými náboji. Každý atom většinou má za normálních okolností stejný počet elektronů a protonů, jejichž náboje se vyruší a celkový náboj atomu je tak nula. Při ztrátě některé z částic se ale atom stává iontem, který může mít buď kladný, nebo záporný náboj. Ionty se stejným nábojem se pak odpuzují a s opačným se přitahují.

Statická elektrina je označení pro jevy, které jsou způsobeny nashromážděním elektrického náboje na povrchu různých těles a předmětů a

jejich výměnou při vzájemném kontaktu. Pokud materiál obsahuje elektrický náboj (ať už kladný, nebo záporný), je elektrostaticky nabitý. Náboj se poté může předat z jednoho tělesa na druhé dotykem nebo sršením (zejména z hrotů těles) či výbojem.

Různé látky mají různou schopnost přenášet elektrický náboj - říkáme, že mají různou vodivost. Vodivost látek závisí především na počtu volných nábojů v jejich struktuře - mohou jimi být buď volné elektrony (v kovech), nebo kladné a záporné ionty (v kapalinách a plynech). Podle vodivosti rozdělujeme látky do tří skupin:

- **Vodiče** - obsahují velké množství volných nábojů, které se mohou působením elektrického pole ve vodiči přemísťovat. Nejlepšími

vodiči jsou kovy, zejména stříbro, měď a hliník. Dobrymi vodiči jsou vodné roztoky solí a kyselin. Elektrický proud vede také lidské tělo. Za určitých okolností může proud procházet i v plynech.

- **Nevodiče** (izolanty) - neobsahují téměř žádné volné náboje a proto mají nepatrnou vodivost. Nevodiče se také nazývají izolanty neboli dielektrika. Výbornými izolanty jsou sklo, porcelán, guma, některé plasty, suchý vzduch apod. Dokonalý vodič ani dokonalý izolant však neexistuje.
- **Polovodiče** - jejich vodivost leží mezi vodiči a nevodíči, počet volných nábojů v jejich struktuře se může měnit např. změnou teploty nebo osvětlením. Nejznámějším polovodičem je křemík, ze kterého se vyrábějí polovodičové součástky od nejjednodušších diod až po nejsložitější mikroprocesory.

## Elektrostatické pole

### Elektrický náboj, elektrické pole

Statický náboj vzniká při styku a opětovném oddělení dvou materiálů, nebo jejich třením. Třením se totiž atomům jednoho předmětu odebírají elektrony a převažuje v něm pak kladný náboj, zatímco v druhém předmětu elektrony přibudou, a proto je záporně nabit. Statickou elektřinu lze vyrábět i Van de Graafovým generátorem. Když se dotknete jeho kovové kopule, projde vámi záporný elektrický náboj, kterým se nabijí i konečky vlasů, a ty pak vstávají na hlavě, neboť stejné náboje se odpuzují.

Připojíme-li ke kovovému vodiči zdroj napětí, vznikne mezi konci vodiče elektrické pole. Původně neuspořádaný pohyb volných elektronů v kovu se změní - elektrony se začnou pohybovat uspořádaně od záporného ke kladnému pólu.

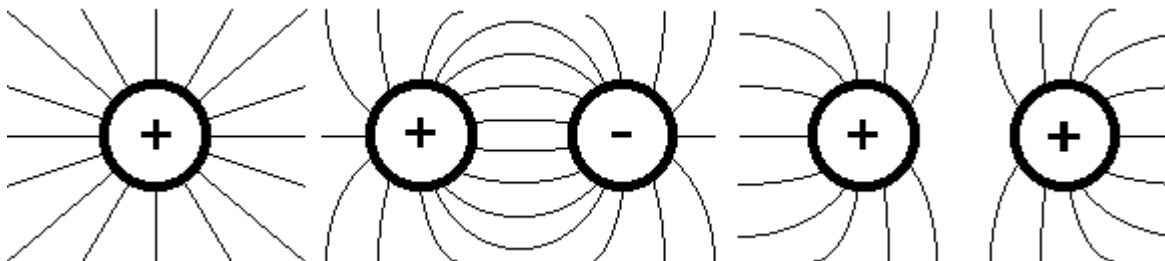
Uspořádaný pohyb volných elektronů se nazývá elektrický proud.

V kapalinách se musí nejprve molekuly rozštěpit na kladné a záporné ionty (tento jev se nazývá disociace) a teprve pak může dojít působením vnějšího elektrického pole k jejich usměrněnému pohybu a průchodu elektrického proudu. Kladné ionty přitom směřují k zápornému pólu a záporné ionty k pólu kladnému.

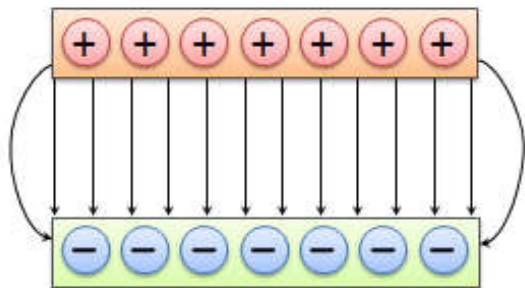
Plyny jsou za normálních podmínek téměř dokonalými nevodíči. Elektrický proud v nich může procházet teprve po rozštěpení jejich molekul na ionty (tento jev se nazývá ionizace plynu). Ionizaci může způsobit například zahřátí plynu nebo silné elektrické pole.

Statický náboj vzniká při styku a opětovném oddělení dvou materiálů, nebo jejich třením. Třením se totiž atomům jednoho předmětu odebírají elektrony a převažuje v něm pak kladný náboj, zatímco v druhém předmětu elektrony přibudou, a proto je záporně nabit. Statickou elektřinu lze vyrábět i Van de Graafovým generátorem. Když se dotknete jeho kovové kopule, projde vámi záporný elektrický náboj, kterým se nabijí i konečky vlasů, a ty pak vstávají na hlavě, neboť stejné náboje se odpuzují.

### Elektrostatické pole nehomogenní



### Elektrostatické pole homogenní



Už ve starověkém Řecku filozof Thales pozoroval přitažlivé síly vznikající jako následek tření jantaru. Řecké slovo pro jantar - ἤλεκτρον (elektron), se posléze stalo zdrojem pro novější slovo "elektřina".

Elektrický náboj „vzniká“ (resp. k oddělení nosičů kladného a záporného náboje dochází) např.:

- kontaktem těles rozdílného materiálu; příčinou přitom může být např.:
- rozdílná výstupní práce elektronu - u dvou kovů
- triboelektrický jev - u dielektrik (při jejich tření se rozloží po větším povrchu nevodíče, což umožní oddělení větších nábojů)
- elektrochemický proces (Voltův jev)

- zelektrováním vodiče elektrostatickou indukcí,
- teplem (tzv. pyroelektrický jev),
- tlakem (tzv. piezoelektrický jev),
- zářením (tzv. vnitřní fotoelektrický jev).

Náboj se předá z jednoho tělesa na druhé např.:

- Dotykem,
- sršením (zejména z hrotů těles) či výbojem (jedná se vlastně o elektrický proud v plynech či vakuu, přesto bývá někdy diskutován v rámci elektrostatických jevů v širším slova smyslu),
- vedením (elektrickým proudem) – již mimo rámec elektrostatiky.

Pokusy se statickou elektřinou se začaly provádět v 17. století. V následujícím století si už získaly nesmírnou popularitu i mezi laickou veřejností. Týkaly se hlavně působení elektrických nábojů, ale neměly v té době žádné praktické využití. Význam elektrostatiky začal růst až v polovině 20. století, dnes už najdeme elektrostatické aplikace všude kolem nás.

Statická elektřina způsobuje blesky, což jsou přírodní elektrostatické výboje, které vznikají při bouřkách tak, že se částičky vody a ledu v bouřkových mracích vzájemnými srážkami nabíjejí statickou elektřinou. Je-li náboj dost velký, prorazí si elektřina cestu atmosférou a nastává výboj v podobě blesku.

Nepříjemně může působit statická elektřina při nošení textilií z umělých vláken, které se "lepí" na spodní prádlo, při chození po kobercích z umělých vláken apod. Stačí pak například dotyk ruky s předmětem, kdy dojde k nepříjemnému vybití náboje a někdy i k přeskočení jiskry. Bránit se můžeme používáním vhodnějších textilních materiálů, které neobsahují umělá vlákna. Při svlékání problematických kusů oblečení se můžeme vodivě uzemnit dotykem ruky s vhodným kovovým předmětem (topení, zárubně dveří...). Při vystupování z auta se před vystoupením chytme karoserie, abychom při zavírání dveří nedostali "ránu". Z aut bývá elektrický náboj vzniklý třením odváděn přes pneumatiky do země, některá auta jsou vybíjena elektrostatickým páskem, který za nimi při jízdě vlaje. Pokud se chceme zbavit elektrostatického náboje, který získáme třením o podlahu či čalounění, pak v místnostech udržujeme vhodnou vlhkost vzduchu, se kterou se statická elektřina příliš nekamarádí.

Elektrostatické silové působení je možné demonstrovat na příkladech jako je přilnavost silonového sáčku k ruce, při česání suchých vlasů hřebenem přitažlivost vlasů a hřebenu, nebo hromadění prachu na televizní obrazovce. Na principu elektrického odpuzování souhlasných nábojů je založen elektroskop (přístroj na měření elektrických nábojů).

Zařízení, využívající elektrostatické jevy:

- kopírka - světlo se odráží od předlohy a na nabitém světlocitlivém válci vzniká její elektrostatický obraz, který se zviditelní tonerem a přetiskne na papír,
- laserová tiskárna - má podobnou konstrukci jako kopírka, obraz písmen se na světlocitlivém válci vykresluje laserovým paprskem,
- piezoelektrický zapalovač - stlačováním určitých krystalů vznikne na jejich povrchu vysoké napětí a přeskočí elektrická jiskra,
- obrazové čipy - používají se v digitálních fotoaparátech a kamerách, na ploše čipu vzniká elektrostatický obraz předmětu a zpracovává se elektronikou přístroje,
- elektrostatický filtr (odlučovač) - částice prachu v kouřových plynech se silným elektrickým polem nabíjejí a usazují se na opačně nabitých elektrodách,
- ultrazvukový generátor - střídavým napětím dochází k rychlému kmitání piezoelektrického krystalu, při kterém vzniká ultrazvuk; používá se např. v medicíně,
- elektrostatické lakování - nabitě částičky rozptýlené barvy jsou přitahovány opačně nabitým povrchem lakovaného předmětu a vytvářejí velmi kvalitní nátěr, např. automobilových karosérií,
- urychlovače - nabitě částice (protony, ionty) jsou urychlovány silným elektrostatickým polem a získávají přitom velkou energii, která se dá využít k různým jaderným reakcím (jeden z nejdůležitějších přístrojů jaderné fyziky).

## Elektrická indukce

Je elektrický jev, při kterém se na povrchu tělesa indukuje (vytváří) elektrický náboj přiblížením jiného elektricky nabitého tělesa, proto se označuje jako indukovaný náboj. Indukovaný náboj má opačnou polaritu než náboj, který tuto indukci vyvolal. U vodičů lze indukovaný náboj z tělesa odvést, u izolantů zůstává indukovaný náboj v tělese.

Pokud se v blízkosti tělesa nenachází jiný elektrický náboj, jsou elektrické náboje v tělese rozloženy rovnoměrně. Těleso se jeví jako neutrální.

Pokud se v blízkosti tělesa nachází jiný elektrický náboj, dochází elektrostatickou indukcí k nerovnoměrnému rozložení náboje v tělese.

*Elektrostatické pole a elektrická indukce – učebnice Základy elektrotechniky (Jiří Vlček), strana 19 až 23.*

## Kondenzátor – kapacita

Elektrostatická indukce se využívá především v kondenzátoru, kdy elektrická pole nabitých desek vzájemně indukují elektrické náboje opačné polarity, čímž lze elektrický náboj na deskách po nějakou dobu uchovat. Dielektrikum mezi deskami umožňuje zvětšit množství indukovaného náboje.

Schematická značka kondenzátoru:

Základní vlastnost: kapacita

Jednotka: Farad, značka F

Kondenzátor se skládá ze dvou vodivých desek označovaných jako polepy mezi kterými je dielektrikum (izolant).



Základní výpočet kapacity kondenzátoru:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{l}$$

C je kapacita kondenzátoru ve Faradech,  $\epsilon_0$  je permitivita vakua (dielektrická konstanta)  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ A.s.V}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} = 8,85 \text{ pF/m}$ ,  $\epsilon_r$  je relativní permitivita (velikost se nalezne v tabulce), S je plocha desek v metrech čtverečních a l vzdálenost mezi deskami (tloušťka dielektrika).

Leydenská láhev – je nejstarším kondenzátorem. V 18. století sloužil jako zásobník elektrického náboje při experimentech s elektrinou. Původně se jednalo o skleněnou nádobu naplněnou vodou, do níž byl zaveden kovový drát procházející zátkou. Voda tvořila jednu elektrodu kondenzátoru, sklo sloužilo jako dielektrikum. Druhou elektrodou byla ruka držící láhev při experimentech. Později byla konstrukce upravena. Vnější i vnitřní povrch skleněné nádoby byl polepen vodivým materiálem, sklo nadále sloužilo jako dielektrikum, které oba polepy oddělovalo. Z vnitřního polepu vedl hrdlem láhve ven vodič, zakončený kovovou koulí. Leydenské lahve se obvykle nabíjely elektrostatickou indukcí.

Kondenzátor patří mezi základní, velmi často používané součástky v elektrotechnice. Vyrábí se v mnoha různých provedeních lišících se použitým dielektrikem, výrobní technologií i elektrickými parametry. Více o kondenzátorech naleznete například zde:

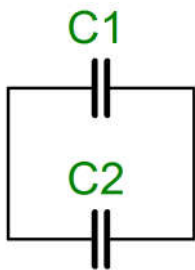
<https://barts.cz/domains/barts.cz/index.php/elektronika/soucastky/23-kondenzatory-kapacity>

Kondenzátory – učebnice Základy elektrotechniky (Jiří Vlček), strana 196 a 197.

### Kondenzátor – spojování kondenzátorů

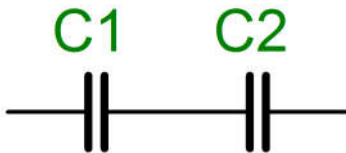
Více kondenzátorů lze (podobně jako jiné součástky) spojovat paralelně nebo sériově. Obě možnosti je také možné kombinovat.

1. Paralelní spojení 2 kondenzátorů:



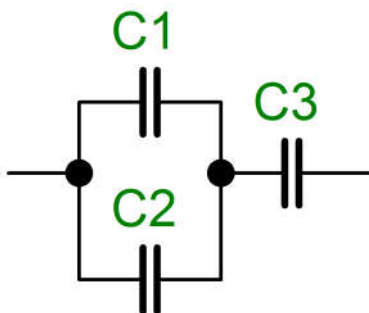
Výsledná kapacita C je součtem kapacit C1 a C2.  $C = C1 + C2$

2. Sériové spojení 2 kondenzátorů:



Převrácená hodnota výsledné kapacity C je součtem převrácených hodnot kapacit C1 a C2.  
 $1/C = 1/C1 + 1/C2$  nebo po zjednodušení  $C = C1 \cdot C2 / (C1 + C2)$

3. Kombinované spojení 3 kondenzátorů:



Sériové a paralelní spojení kondenzátorů – učebnice Základy elektrotechniky (Jiří Vlček), strana 23 až 25.

### Silové působení elektrostatických polí

Elektrické náboje, které jsou v klidu, se projevují silovými účinky a vytvářejí elektrické pole. Elektrické náboje jsou kladné (nedostatek elektronů) a záporné (přebytek elektronů). Souhlasné náboje se odpuzují, nesouhlasně přitahují. Coulombův zákon říká, že síla, kterou náboje na sebe působí, je přímo úměrná součinu jejich velikosti a nepřímo úměrná druhé mocnině jejich vzdálenosti.

Intenzita elektrického pole E je síla působící na jednotkový kladný náboj.

Elektrostatické pole – učebnice Základy elektrotechniky (Jiří Vlček), strana 19 a 20.

## Energie elektrostatického pole

Jestliže se desky nabitého kondenzátoru vodivě propojí, elektrický náboj z desek se odvede a kondenzátor se vybije. Tento přesun elektrického náboje způsobí v obvodu elektrický proud.

## Elektrická pevnost izolantů

Elektrické namáhání izolantu se posuzuje podle velikosti intenzity elektrického pole. Dosáhne-li při zvyšování napětí intenzita pole určité velikosti, dochází u izolantů pevného skupenství k průrazu, u izolantů kapalného nebo plynného skupenství k přeskoku. Napětí, při němž nastává průraz nebo přeskok, se nazývá průrazné napětí. Intenzita elektrického pole, příslušejícího tomuto napětí, se označuje jako elektrická pevnost **Ep**. Je dána poměrem průrazného napětí  $U_p$  k tloušťce izolantu  $d$  v místě průrazu podle vztahu:

$$E_p = U_p / d$$

Kde  $E_p$  je elektrická pevnost ve  $V \cdot m^{-1}$ ,  $U_p$  je průrazné napětí ve Voltech a  $d$  je tloušťka izolantu v metrech. V praxi se udává v  $kV \cdot cm^{-1}$  nebo  $kV \cdot mm^{-1}$ . Elektrická pevnost izolantu závisí na jeho chemické čistotě, znečištění povrchu, mechanickém namáhání, teplotě, tlaku a vlhkosti prostředí, ve kterém se izolant nachází.

Elektrický průraz vzniká nárazovou ionizací atomů izolantů. Tepelný průraz může nastat u pevných izolantů s velkým činitelem ztrát. Takový izolant se v elektrickém poli nadměrně zahřívá, neboť vzniklé teplo nestačí odvádět svým povrchem do okolí. Tepelný průraz na rozdíl od průrazu elektrického probíhá pomalu.

## Piezelektrický jev

Piezelektrický jev je schopnost krystalů generovat elektrické napětí při jejich deformaci, popřípadě jev opačný, kdy se krystal v elektrickém poli deformuje. Nejznámější piezelektrickou látkou je monokrystalický křemen.

Piezelektrické materiály se používají v řadě technických aplikací:



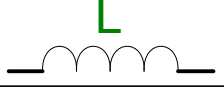
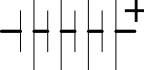
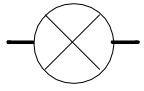

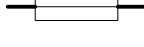
- plynové zapalovače,
- krystalové oscilátory (elektronika),
- čidla tlaku a chvění (strojírenství, stavebnictví),
- vysílání a přijímání i neslyšitelného ultrazvuku (medicína, měření vzdáleností, zabezpečovací technika),
- zdroje akustických signálů (reproduktory).

## Stojnosměrný proud

### Základní veličiny a pojmy

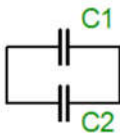
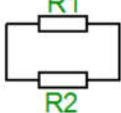
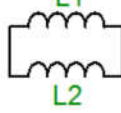

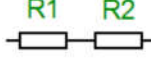

Název veličiny	Značka	Název jednotky	Značka
napětí	U	Volt	V
proud	I (velké I)	Ampér	A
odpor	R	Ohm	$\Omega$
výkon	P	Watt	W
kapacita	C	Farad	F
indukčnost	L	Henry	H

### Základní součástky, jejich vlastnosti a schematické značky

Název součástky	Základní vlastnost	Schematická značka	Poznámka
Kondenzátor	kapacita [F]		
Rezistor	odpor [ $\Omega$ ]		
Cívka (induktor)	indukčnost [H]		
Zdroj stejnosměrného napětí	zdroj napětí [V]		Používají se i jiné značky
Žárovka	svítí		
Vypínač	spíná elektrický obvod		Existuje více druhů vypínačů a přepínačů
Tavná pojistka	Jistí elektrický obvod proti překročení proudu		

Schematických značek se používá velké množství a existují rozdíly nejen mezi normami (např. Evropa – USA), ale také mezi oblastmi použití, např. silnoproud, elektronika, autotronika, apod.

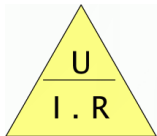
### Řazení součástek

Paralelně			Sériově		
Kondenzátory	Rezistory	Indukčnosti	Kondenzátory	Rezistory	Indukčnosti
					
$C = C_1 + C_2$	$1/R = 1/R_1 + 1/R_2$ $R = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$	$1/L = 1/L_1 + 1/L_2$ $L = L_1 \cdot L_2 / (L_1 + L_2)$	$1/C = 1/C_1 + 1/C_2$ $C = C_1 \cdot C_2 / (C_1 + C_2)$	$R = R_1 + R_2$	$L = L_1 + L_2$

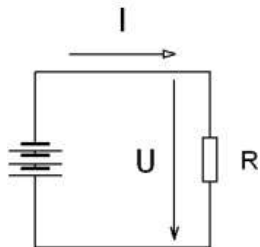
## Ohmův zákon

Vyjadřuje vztah mezi elektrickým odporem, napětím a proudem. Je pojmenován podle svého objevitele Georga Ohma.

Zákon říká, že **napětí na prvku je přímo úměrné procházejícímu proudu**.



Velmi jednoduchou pomůckou pro zapamatování správného tvaru výrazu, vyjadřujícího Ohmův zákon, je jeho grafické vyjádření v podobě trojúhelníku (viz obrázek). Stačí si zapamatovat, že značka napětí (U) je nahoře, zvýrazněná příčka pod U má význam jako zlomková čára a tečka mezi spodními symboly je znaménko násobení.



$$U = I * R \quad [V; A, \Omega]$$

$$I = \frac{U}{R} \quad [A; V, \Omega]$$

$$R = \frac{U}{I} \quad [\Omega; V, A]$$

### Příklad 1:

Rezistorem hodnoty 100  $\Omega$  protéká proud 0,5 A. Jaká je velikost napětí zdroje?

$$U = I * R = 0,5 * 100 = 50 \text{ V}$$

### Příklad 2:

Napětí zdroje je 12 V a velikost zatěžovacího rezistoru je 1,2 k $\Omega$ . Jaký proud protéká obvodem?

$$I = U / R = 12 / 1200 = 0,1 \text{ A}$$

### Příklad 3:

Napětí zdroje je 24V a obvodem protéká proud 100mA. Jaká je velikost rezistoru?

$$R = U / I = 24 / (100 * 10^{-3}) = 24 * 10^3 / 100 = 24000 / 100 = 240 \Omega$$

## Výpočet výkonu

V obvodech stejnosměrného proudu se výkon vypočítá ze vztahu:

$$P = U * I \quad [W; V, A]$$

$$U = P / I \quad [V; W, A]$$

$$I = P / U \quad [A; W, V]$$

### Příklad 1:

Jaký výkon odebírá žárovka, protéká-li jí proud 5 A při napětí 12 V?

$$P = U * I = 12 * 5 = 60 \text{ W}$$

### Příklad 2:

Jaké napětí je na rezistoru při výkonu 10 W, protéká-li jím proud 0,5 A?

$$U = P / I = 10 / 0,5 = 20 \text{ V}$$

### Příklad 3:

Jaký proud protéká žárovkou na které je uvedeno 12 V / 24 W?

$$I = P / U = 12 / 24 = 0,5 \text{ A}$$

V praxi se často používá vztah pro výpočet výkonu v kombinaci s Ohmovým zákonem

### Příklad 4:

Jaký výkon je na rezistoru 100  $\Omega$ , protéká-li jím proud 1 A?

Pro výpočet výkonu podle základního vztahu ( $P = U * I$ ) chybí velikost napětí. Tu lze vypočítat z Ohmova zákona ( $U = I * R$ ) a pak zadat do základního vztahu:

$$U = I * R = 1 * 100 = 100 \text{ V}$$

$$P = U * I = 100 * 1 = 100 \text{ W}$$

Můžete také vzorec nejprve upravit a teprve potom zadat konkrétní hodnoty.

$$P = U * I = I * I * R = I^2 * R = 1^2 * 100 = 100 \text{ W}$$

Podobně se postupuje i dalších případech.

## Zdroje elektrické energie

Elektrický zdroj je zařízení, které přeměňuje jiný druh energie na elektrickou energii.

Podle druhu energie můžeme zdroje rozdělit na:

- chemické zdroje (galvanické články),
- mechanické zdroje - generátory (dynamo, alternátor),
- tepelné zdroje - termoelektrický článek,
- fotoelektrické zdroje - Fotovoltaický článek (sluneční článek)

**Primární chemické zdroje napětí** (jednorázové) po spotřebování se energie nedá obnovit, např. Voltův článek, salmiakový článek, alkalický článek.



Při sestavování galvanického článku se pro elektrody a elektrolyty používají takové kombinace chemických látek, aby potenciál vznikající na elektrodě byl pokud možno co největší a zároveň aby článek co nejdéle vydržel. Vhodnými a nejčastěji používanými látkami pro zápornou elektrodu jsou zinek, kadmium, lithium a hydridy různých kovů, pro kladnou elektrodu uhlík (grafit) obklopený burelem  $MnO_2$ , nikl a stříbro. Jako elektrolyt se používá v suchých článcích a oloveném akumulátoru roztok kyselin nebo jejich solí, v alkalických článcích a akumulátorech roztok zásaditých sloučenin alkalických kovů.

První zdroj trvalého elektrického napětí byl sestaven počátkem 19. století italským fyzikem Alessandrem Voltou. Dnes se již nepoužívá. Skládá se z měděné a zinkové elektrody (desky) vložené do roztoku kyseliny sírové (elektrolyt). Elektrická energie v nich vzniká při chemických reakcích. Napětí Voltova článku je asi 1 V.

Nejznámějšími jsou tzv. tužkové články typu AA (větší) a AAA (menší). Kladným pólem je uhlík, záporným zinkový kalíšek. Elektrolytem je salmiak, tj. chlorid amonný, který se zahušťuje, aby z článku nevytéká. Často se používá více článků řazených v sérii (výsledné napětí je součtem napětí jednotlivých článků). Mají omezenou životnost a jejich napětí postupně klesá.



**Sekundární chemické zdroje napětí** (akumulátory) jsou dobíjitelné. To znamená, že po spotřebování energie se dají opětovně nabít, např. olovený akumulátor.

Nejstarším a dodnes nejpoužívanějším typem je akumulátor olovený s napětím 1,85 - 2,1 V (elektrody jsou z olova, elektrolytem je zředěná kyselina sírová). Stav akumulátoru se zjišťuje měřením hustoty elektrolytu nebo svorkového napětí při zatížení. Olovený akumulátor je náročný na údržbu a musí se udržovat v nabitěm stavu. Při nízkých teplotách klesá jeho kapacita, například při teplotě  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  se zmenší jeho kapacita na pouhou čtvrtinu. Používají se běžně v motorových vozidlech s napětím 12 V (6 článků zapojených v sérii) nebo 24 V (12 článků zapojených v sérii).



Výrobci nabízejí různé typy akumulátorů lišících se napětím (6, 12 nebo 24 V), kapacitou udávanou v Ah i provedením. Obvykle se jedná o tzv. bezúdržbové akumulátory, které nemají přístupná víčka jednotlivých článků, takže neumožňují kontrolu hustoty elektrolytu a jeho dolévání.

Gelové akumulátory mají elektrolyt ztužený ve formě gelu; kyselina sírová je smíchána s velmi jemným skelným práškem s částicemi asi setiny velikosti cementového prachu.

V mobilních telefonech, tabletech a mnoha dalších zařízeních včetně různých dopravních prostředků se používá akumulátorů na bázi Lithia, označovaných jako Li-Ion nebo Li-pol. Jejich výhodou je vysoká hustota energie vzhledem k objemu, proto se hodí pro přenosná zařízení. Jejich napětí je 3,7 V na článek. Mohou být vyráběny v různých tvarech a mají životnost 500–1200 nabíjecích cyklů.



Pro zásobování elektrickou energií domácností i průmyslu se využívá elektráren a rozvodných soustav. Elektrická energie vzniká převodem jiné energie (tepelná, kinetická, solární). Společným výstupem je střídavé napětí frekvence 50 Hz. Jeho velikost se liší podle typu rozvodné soustavy (čím vyšší je napětí, tím menší jsou ztráty na vedení). K převodu napětí se používají transformátory. Doma máme v zásuvce napětí 230 V, na které jsou konstruovány domácí spotřebiče.

Zdroje napětí – učebnice *Základy elektrotechniky* (Jiří Vlček), strana 67 až 69.

Jak funguje olovený akumulátor? <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektřiny/16090-jak-funguje-oloveny-akumulator>

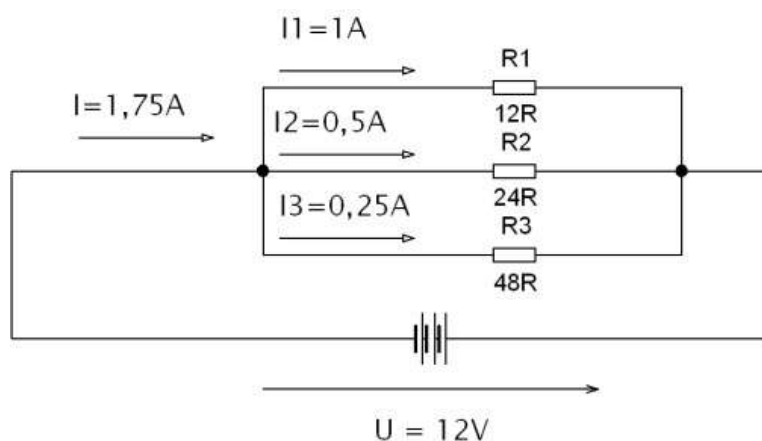
<https://www.youtube.com/watch?v=pkpWSNMZ90U>, <https://www.youtube.com/watch?v=rUv8RtiI6pw>

## Kirchhoffovy zákony

První Kirchhoffův zákon o uzlech popisuje zákon zachování elektrického náboje.

Říká, že v každém bodě (uzlu) elektrického obvodu platí, že:

**Součet proudů vstupujících do uzlu se rovná součtu proudů z uzlu vystupujících.**



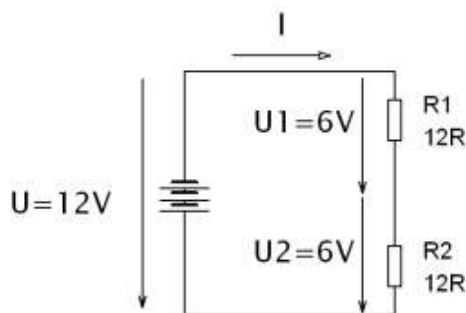
Příklad:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 1 + 0,5 + 0,25 = 1,75 A$$

Druhý Kirchhoffův zákon formuluje pro elektrické obvody zákon zachování energie.

Říká, že:

**Součet úbytků napětí na spotřebičích se v uzavřené části obvodu (smyčce) rovná součtu elektromotorických napětí zdrojů v této části obvodu.**



Příklad:

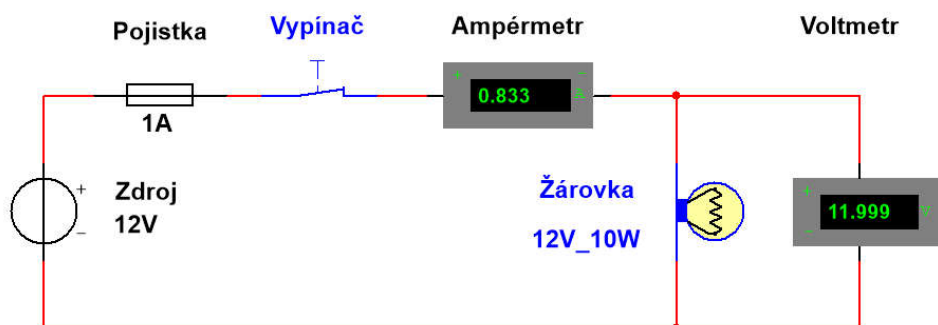
$$U = U_1 + U_2 = 6 + 6 = 12 V$$

Kirchhoffovy zákony – učebnice Základy elektrotechniky (Jiří Vlček), strana 69 až 71.

### Stejnoseměrné obvody

Základem je zdroj stejnosměrného napětí (např. akumulátor) a spotřebič (např. žárovka). K ovládní žárovky (rozsvícení a zhasínání) se používá vypínač. Pro ochranu proti zkratu tavná pojistka. Potřebujeme-li měřit napětí a proud použijeme ampérmetr zapojený v sérii a voltmetr zapojený paralelně k měřenému objektu (žárovka nebo zdroj napětí).

Následující obrázek ukazuje zapojení výše uvedeného obvodu:



Naměřené hodnoty můžete ověřit výpočtem:

Ampérmetr měří proud 0,833 A, voltmetr napětí 11,999 V.

$$\text{Ohmův zákon: } R = U / I = 11,999 / 0,833 = \underline{14,4 \Omega}$$

$$\text{Výpočet výkonu: } P = U * I = 11,999 * 0,833 = \underline{9,96 W}$$

Podobným způsobem se zapojují také jiné elektrické obvody. Jako spotřebič mohou být použity jiné součástky, například rezistor (i více zapojených v sérii nebo paralelně).

## Polovodiče

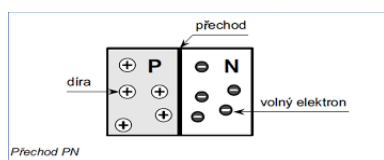
Polovodiče tvoří zvláštní skupinu prvků. Na rozdíl od vodičů, které vedou elektrický proud prostřednictvím volných elektronů nebo izolantů, které nevedou elektrický proud, závisí jejich stav na polaritě napětí. Nejčastěji se používá čtyřmocný křemík, který v čistém stavu nevede elektrický proud.

Přidáme-li do čistého křemíku se čtyřmi valenčními elektrony prvek s pěti valenčními elektrony (fosfor, arsen nebo antimon), vznikne polovodič typu N. Prvku příměsi, který má o jeden elektron více, říkáme donor. Čtyři valenční elektrony arsenu se naváží se sousedními atomy křemíku, ale jeden (pátý) elektron partnera nenajde, proto se může velmi snadno uvolnit z vazby s vlastním atomem a pohybovat se prostorem krystalové mřížky. Tyto zbylé volné elektrony dárce zprostředkovávají svým pohybem záporných (negativních) nábojů elektronovou vodivost (nevlastní vodivost typu N).

Přidáním prvku se třemi valenčními elektrony (bor, hliník, gallium nebo indium), vznikne polovodič typu P. Prvku příměsi, který má o jeden elektron méně, říkáme akceptor. Při použití trojmocného prvku chybí jeden elektron k tomu, aby se mohla vytvořit kovalentní vazba vytvořená ze čtyř dvojic elektronů. Toto volné místo po chybějícím elektronu se chová jako díra (defektní elektron). Tyto díry cizího atomu způsobují děrovou vodivost polovodiče (nevlastní vodivost typu P). Děry, které jsou do polovodiče dodány, je mnohem více, než vlastních nosičů náboje polovodiče, a proto jsou většinovými (majoritními) nosiči náboje.

## Diody

Polovodičová dioda se skládá ze dvou příměsových polovodičů - jeden polovodič je typu N (katoda) a druhý polovodič je typu P (anoda). Na rozhraní polovodičů vznikne přechod P-N (hradlová vrstva), který v ideálním případě propouští proud pouze jedním směrem. Základem diody bývá křemíková nebo germaniová destička, obohacená z jedné strany o prvek s pěti valenčními elektrony (fosfor, arsen), z druhé strany o prvek s třemi valenčními elektrony (bor, hliník, gallium, indium). Vzájemným silovým působením mezi částicemi se na přechodu P-N vytvoří vnitřní elektrické pole.



Dioda propouští elektrický proud je-li na anodě (P) kladnější napětí než na katodě (N).

Schematické značky některých diod:

### Dioda univerzální

### Zenerova dioda

### LED

### Fotodioda



Typické použití diod:

- Univerzální – usměrňování střídavého napětí, spínání
- Zenerova – stabilizace stejnosměrného napětí (závěrný směr)
- LED – zdroj světla
- Fotodioda – indikace světla

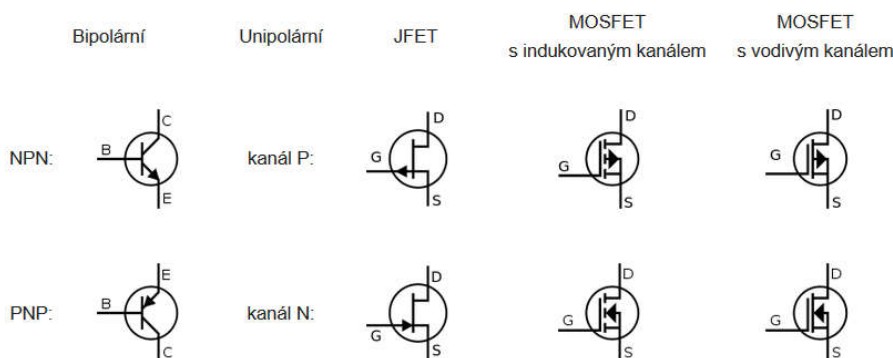
## Tranzistory

Tranzistor je třívrstvá polovodičová součástka, kterou tvoří dvojice přechodů PN. Tranzistory jsou základní aktivní součástky, které se používají jako zesilovače, spínače a invertory. Jsou základem všech dnešních integrovaných obvodů, jako např. procesorů, pamětí atd. Základní vlastností tranzistoru je schopnost zesilovat – malé změny napětí nebo proudu na vstupu mohou vyvolat velké změny napětí nebo proudu na výstupu.

Tranzistory se podle konstrukce rozdělují na bipolární a unipolární. Bipolární – (BJT) Jsou řízeny proudem tekoucím do báze.

Unipolární – (FET) Jsou řízeny napětím (elektrostatickým polem) na řídicí elektrodě (gate).

Schematické značky tranzistorů:



Dioda – učebnice *Základy elektrotechniky (Jiří Vlček)*, strana 75 až 79.

Tranzistor – učebnice *Základy elektrotechniky (Jiří Vlček)*, strana 82 až 92.

PN přechod – dioda [http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/elektross/soucastky/jeden\\_prechod/dioda.html](http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/elektross/soucastky/jeden_prechod/dioda.html)

Bipolární tranzistory <http://old.spsemoh.cz/vyuka/zel/tranzistory-bip.htm>

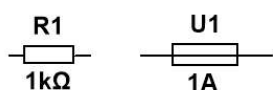
Unipolární tranzistory <http://old.spsemoh.cz/vyuka/zel/>

## Simulace elektrických obvodů (Multisim)

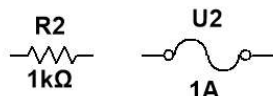
Program MULTISIM umožňuje simulaci elektrických obvodů a je určen pro práci v prostředí MS Windows. Na pracovní plochu, která zabírá největší část obrazovky se umísťují schematické značky jednotlivých součástek z knihovny prvků. Ta obsahuje velké množství různých součástek, rozříděných podle typu, například Source – napájení, Basic – základní součástky, Diode – diody, Indicator – signalizační a měřicí přístroje, apod.

Po rozmístění všech součástek a měřicích přístrojů se tyto propojí a spustí simulace. Pokud je vše zapojeno správně (program nezjistí závažnou chybu), je možné na připojených virtuálních měřicích přístrojích „měřit“ různé elektrické veličiny. Program poskytuje velmi reálné výsledky – žárovka nebo LED se rozsvítí, vypínače lze ovládat klávesami, pojistka se při překročení maximálního proudu přepálí, apod. Program zvládá simulaci složitých analogových nebo číslicových obvodů včetně měření různých parametrů. Schematické značky je možné zobrazovat podle norem ANSI používané např. v USA, nebo IEC používané v Evropě. Přepnutí se provede v nabídce Options / Global Options / Components. Řada schematických značek je stejná, některé se ale výrazně odlišují:

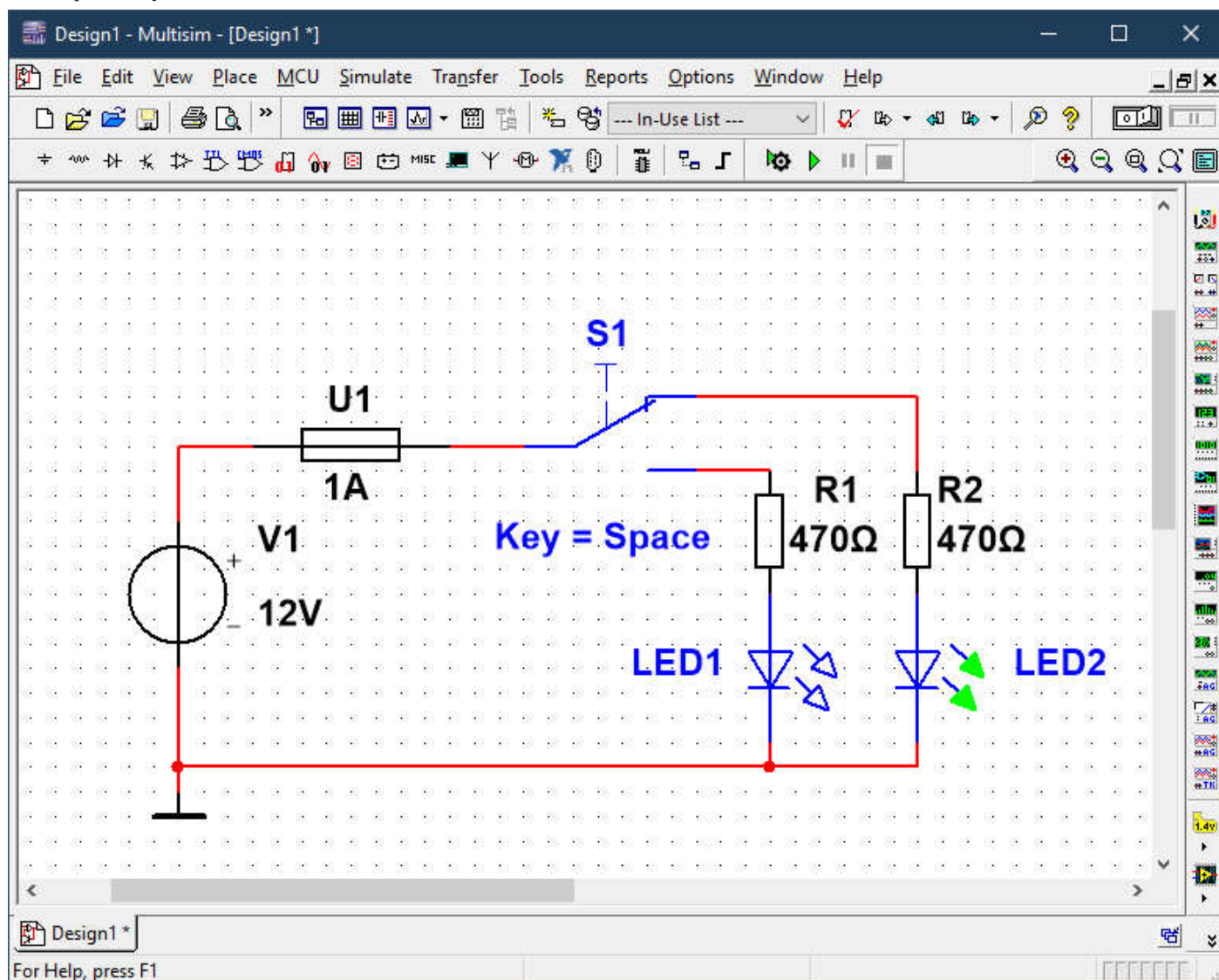
Norma IEC (evropská)



Norma ANSI (USA)



Příklad použití v jednoduchém elektrickém obvodu:



Ovládání programu je poměrně složité, základní popis je například zde:

<https://docplayer.cz/14854028-Zaklady-prace-se-simulacnim-programem-multisim2001.html>

Pod názvem *MultiSIM - elektronická laboratoř na PC* byla také vydána kniha, jejíž autorem je Ing. Antonín Juránek.

## Elektrolýza

je děj probíhající na elektrodách (anodě a katodě) při průchodu stejnosměrného elektrického proudu roztokem nebo taveninou, které obsahují volně pohyblivé ionty (kationty a anionty)

Při elektrolýze probíhá redoxní reakce:

- na katodě, která je nabitá záporně, probíhá redukce – pohybují se k ní kationty a zde přijímají elektrony
- na anodě, která je nabitá kladně, probíhá oxidace – pohybují se k ní anionty a odevzdávají zde přebytečné elektrony

Z iontů se tak stanou elektricky neutrální atomy prvků, které se vylučují na elektrodách.

### Příklady elektrolýzy

#### Elektrolýza vody

Při elektrolýze vody se jako elektrolyt používá roztok kyseliny sírové  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a ve vodě elektrody z platiny, která s kyselinou sírovou nereaguje. Disociací molekul kyseliny sírové vznikají v roztoku kladné ionty vodíku  $\text{H}^+$  a záporné ionty  $\text{SO}_4^{2-}$ . Kationty vodíku se pohybují k záporné elektrodě, od které přijímají elektron a slučují se do molekuly vodíku  $\text{H}_2$ . Anionty  $\text{SO}_4^{2-}$  se pohybují ke kladné elektrodě, které odevzdají své přebytečné elektrony a elektricky neutrální molekula  $\text{SO}_4$  okamžitě reaguje s vodou - vzniká nová molekula  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Při této reakci se uvolňují molekuly kyslíku  $\text{O}_2$ . U záporné elektrody se tedy vylučuje z roztoku vodík, u kladné elektrody se vylučuje kyslík. Přitom v elektrolytu zůstává stejný počet molekul kyseliny sírové  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , zatímco ubývá molekul vody  $\text{H}_2\text{O}$ , koncentrace roztoku se zvyšuje.

#### Galvanické poměďování

Elektrolytem při galvanickém poměďování může být roztok síranu měďnatého  $\text{CuSO}_4$  ve vodě, kladná elektroda musí být z mědi, zápornou elektrodu tvoří vodivý předmět, který má být pokovován.  $\text{CuSO}_4$  se ve vodě disociuje na kationty mědi  $\text{Cu}^{2+}$  a anionty  $\text{SO}_4^{2-}$ . Ionty  $\text{Cu}^{2+}$  jsou přitahovány k záporné elektrodě, na které postupně vytváří měděný povlak. Ionty  $\text{SO}_4^{2-}$  jsou přitahovány ke kladné měděné elektrodě, z které vytrhují kationty mědi  $\text{Cu}^{2+}$ . Koncentrace roztoku zůstává stejná, měděná elektroda se časem rozpouští.

#### Využití

- průmyslová výroba některých kovů (např. hliníku, sodíku, hořčíku, vápníku), nekovů (např. vodíku, chloru) nebo sloučenin (např.  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ )
- pokovování neušlechtilých kovů (např. pochromování, posříbřování, pozinkování)
- čištění kovů (např. mědi)

<http://home.tiscali.cz/chemie/elektrolýza.htm>

[https://sps-cl.cz/public/MatFyz/Soubory/Fyzika/13\\_proud\\_v\\_kapalinach/proud\\_v\\_kapalinach.htm](https://sps-cl.cz/public/MatFyz/Soubory/Fyzika/13_proud_v_kapalinach/proud_v_kapalinach.htm)

<https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/elektricky-proud/elektricky-proud-v-kapalinach/elektrolýza>

### Faradayovy zákony

První Faradayův zákon se zabývá vztahem mezi množstvím látky, které vznikne při elektrolýze na elektrodě a množstvím prošlé elektřiny. Tento zákon říká, že hmotnost látky vyloučené při elektrolýze na elektrodě ( $m$ ) je přímo úměrná prošlému náboji ( $Q$ ).

Hmotnost látky vyloučené na elektrodě závisí přímo úměrně na elektrickém proudu, procházejícím elektrolytem, a na čase, po který elektrický proud procházel.

$$m = A \cdot I \cdot t$$

kde  $m$  je hmotnost vyloučené látky,  $A$  je elektrochemický ekvivalent látky,  $I$  je elektrický proud,  $t$  je čas.

Druhý Faradayův zákon zkoumá vztah mezi množstvím dvou látek vyloučených na elektrodách stejným nábojem a říká, že hmotnosti dvou látek vyloučených při elektrolýze tímž nábojem jsou v poměru příslušných elektrochemických ekvivalentů.

Látková množství vyloučená stejným nábojem jsou pro všechny látky chemicky ekvivalentní, neboli elektrochemický ekvivalent  $A$  závisí přímo úměrně na molární hmotnosti látky.

$$A = M / (F \cdot z)$$

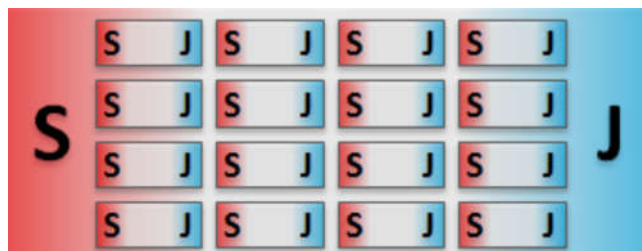
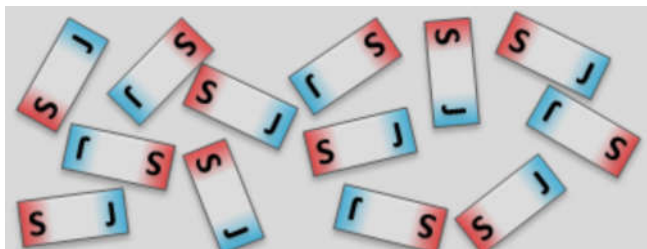
kde  $F$  je Faradayova konstanta  $F = 9,6485 \times 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$  a  $z$  je počet elektronů, které jsou potřeba při vyloučení jedné molekuly.

### Chemické zdroje elektrického proudu

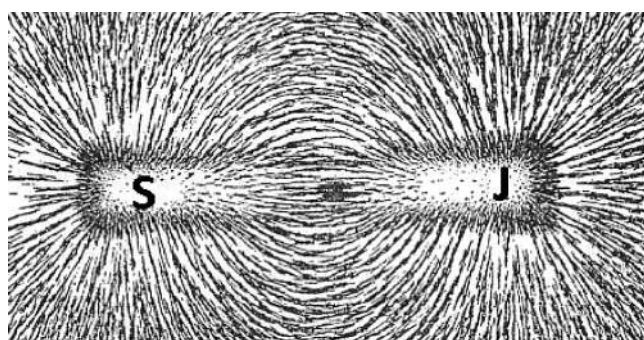
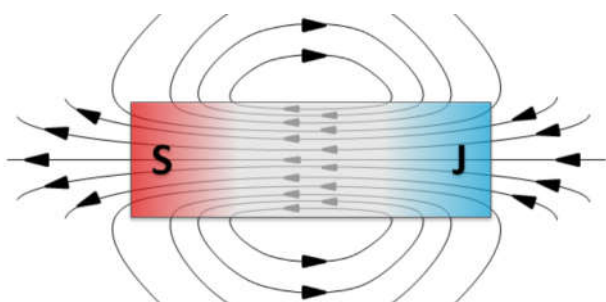
Viz Zdroje elektrické energie.

## Magnetické pole

Magnetické pole vzniká kolem pohybujících se elektrických nábojů. V případě elektromagnetů jde o pohyb volných elektronů (nosičů elektrického náboje) tvořený elektrickým proudem. U permanentních magnetů je magnetické pole vytvářeno pohybem elektronů kolem jádra atomu. Pokud jsou směry těchto miniaturních (elementárních) magnetů náhodné, magnetická pole jednotlivých atomů se vyruší a materiál nevykazuje magnetické vlastnosti. Pokud jsou všechny uspořádané v jednom směru, navzájem se sčítají a materiál trvale (permanentně) vytváří magnetické pole.



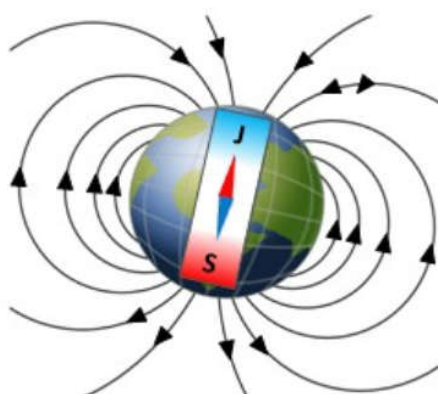
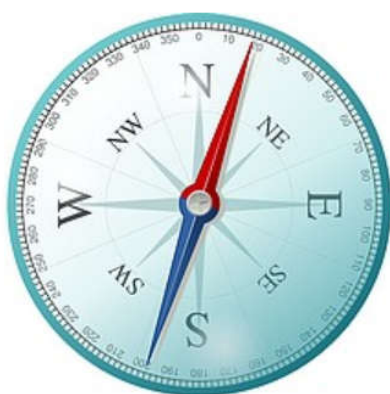
Magnetické pole se projevuje silovými účinky – magnety přitahují železné kovy. Magnetické pole zobrazujeme pomocí magnetických indukčních čar, které lze skutečně vidět s pomocí železných pilin.



Magnetické indukční čáry vždy tvoří uzavřené křivky, procházející magnetem a vystupující u severního pólu do prostoru kolem magnetu, aby se do něj vrátily u jeho jižního pólu. Směr indukčních čar vyznačujeme vně magnetu od severního k jižnímu pólu (uvnitř magnetu od jižního k severnímu). Magnetické pole vytváří permanentní magnet nebo elektromagnet.

Permanentní magnety mohou mít nejrůznější tvary. Silové účinky se projevují nejvíce na tzv. pólech magnetu označovaných jako Severní a Jižní (anglicky North a South). Dva magnety na sebe silově působí tak, že souhlasné póly se odpuzují a opačné póly se přitahují.

Označení pólů magnetů bylo odvozeno od pólů zeměkoule, která má také své magnetické pole (vytvářené otáčejícím se roztaveným železným jádrem země). Volně uchycené magnety (magnetické štelky kompasů) se ustálí tak, že jejich severní pól směřuje k severu zeměkoule (kde se nachází její jižní magnetický pól).



### Magnetické pole tvořené elektrickým proudem

Průchodem proudu vodičem vzniká magnetické pole, jehož magnetické indukční čáry mají tvar soustředných kružnic, které jsou orientovány dle pravidla pravé ruky (palec ukazuje směr proudu vodičem a prsty ukazují směr magnetických indukčních čar).

Magnetické pole v okolí cívky je tvořeno součtem magnetických polí jednotlivých závitů a podobá se magnetickému poli tyčového magnetu. Pravidlo pravé ruky – prsty ukazují směr proudu v závitěch a palec ukazuje sever.

### Intenzita magnetického pole

Magnetické pole se projevuje silovými účinky. Permanentní magnety se přitahují nebo odpuzují, taktéž vodiče a cívky, kterými protéká elektrický proud, vykazují silové účinky jak navzájem, tak na permanentní magnety nebo železné kovy. Tato síla se mění podle vzdálenosti magnetů. Míru silového působení magnetického pole na myšlený kousek železa popisuje veličina Intenzita magnetického pole H.

## Magnetická indukce

Intenzita magnetického pole je nezávislá na prostředí, ve kterém se magnetické pole nachází. Silové účinky se ale podle prostředí mění. Vliv prostředí se liší podle typu látky. Některé látky magnetické pole ovlivňují velmi málo, jiné (například železné kovy) ho zesilují - tím že se samy zmagnetují, zesilují výsledné pole a zvětšují hustotu siločar.

Míru silových účinků magnetického pole v různých prostředích popisuje veličina Magnetická Indukce  $B$ . Jednotkou magnetické indukce je T (Tesla).

## Magnetické vlastnosti látek

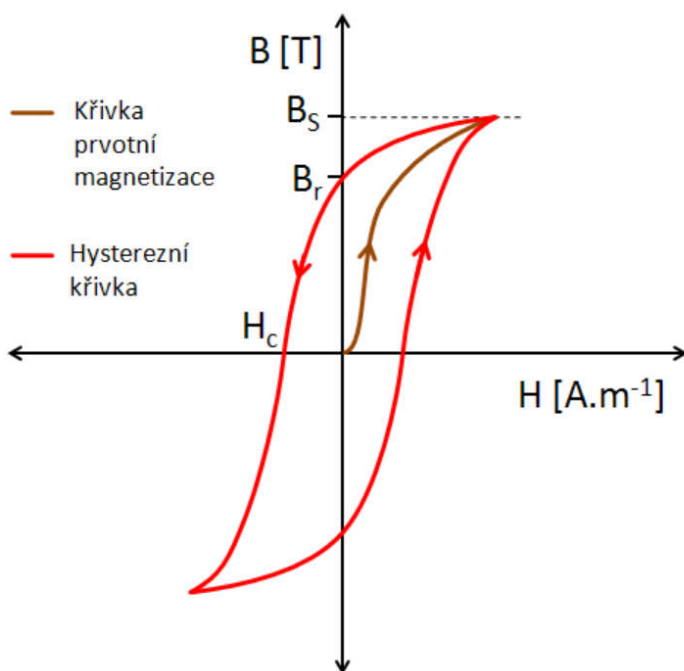
Většina látek magnetické pole neovlivňuje, nebo jen velmi málo. Vliv prostředí reprezentuje veličina **Permeabilita  $\mu$** , kterou můžeme chápat jako měrou magnetickou vodivost látek (jak snadno magnetické pole prostupuje daným prostředím). Absolutní permeabilita se skládá z permeability vakua  $\mu_0$  a bezrozměrné relativní permeability prostředí  $\mu_r$ .

- Diamagnetické látky mají relativní permeabilitu jen o něco málo menší než 1 a vnější magnetické pole mírně zeslabují, jako například voda nebo měď.
- Paramagnetické látky mají relativní permeabilitu o něco málo větší jak 1 a magnetické pole mírně zesilují, jako například kyslík nebo hliník, ale bez vnějšího pole neudrží vlastní magnetismus.
- Feromagnetické látky mají relativní permeabilitu mnohem větší jak 1 a magnetické pole hodně zesilují, jako například železo nebo kobalt. Tyto látky lze více či méně zmagnetovat, neboli po odstranění vnějšího magnetického pole vykazují permanentní magnetické vlastnosti.

V elektrotechnice jsou nejdůležitější látky feromagnetické.

## Magnetizační křivka

Feromagnetické materiály se ve vnějším magnetickém poli chovají tak, že nízké intenzity vnějšího pole nezvládnou natočit vnitřní magnety a materiál se chová spíše jako paramagnetický  $\mu_r \approx 1$ . Pokud intenzita vzroste natolik, že se vnitřní magnety začnou natáčet, materiál bude zesilovat vnější magnetické pole  $\mu_r \gg 1$ . Pokud intenzita bude dále růst, při maximální hodnotě už se všechny vnitřní magnety natočí. Dojde k magnetickému nasycení při indukci  $B_S$  - materiál se opět jeví jako paramagnetický a dále už magnetické pole nezesiluje. To znamená, že permeabilita feromagnetických materiálů není konstanta, ale mění se podle intenzity vnějšího magnetického pole.



Grafické vyjádření této závislosti se nazývá křivka prvotní magnetizace.

Když bude intenzita vnějšího pole klesat, podle typu materiálu se některé vnitřní magnety opět natočí náhodně, ale některé zůstanou ve směru vnějšího magnetického pole a materiál vykazuje zbytkový (remanentní) magnetismus  $B_r$ . Pro vynulování zbytkového magnetismu je zapotřebí intenzita  $H_c$ . Pokud se orientace vnějšího magnetického pole otočí, vnitřní magnety se musí také obrátit, což způsobí, že bude zapotřebí větší hodnota intenzity vnějšího pole, než u prvotní magnetizace.

Grafické vyjádření tohoto chování feromagnetického materiálu se nazývá hysterezní křivka.

Čím víc je materiál zmagnetovatelný (magneticky tvrdší), tím širší je jeho hysterezní křivka a tím také větší hodnota  **$B_r$** .

Výrobci udávají v katalogových listech magnetizační charakteristiky, ze kterých se při výpočtech odečítají skutečné hodnoty intenzity, nebo indukce.

## Magnetické obvody

Jako magnetický obvod se označuje cest (dráha), kterou se uzavírá magnetický tok. Skládá se z feromagnetických materiálů, které se vyznačují velkou vodivostí pro magnetický tok. Dráha magnetického toku je upravena tak, že většina toku jí prochází a jen malá část tvoří rozptylový tok.

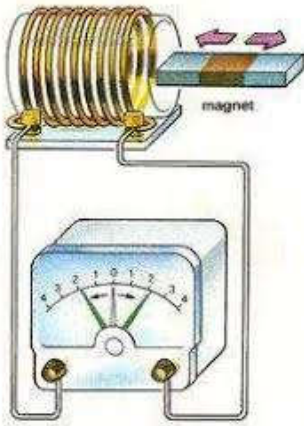
Magnetické pole můžeme chápat jako obdobu elektrického pole. Magnetické napětí tvořené průchodem proudu vodičem vybudí v okolním prostředí magnetický tok ve formě siločar. Celkové množství siločar procházejících danou plochou kolmou na siločáry (neboli magnetický tok touto plochou) můžeme určit z hustoty siločar, neboli z magnetické indukce.

## Energie magnetického pole

Elektrický proud po zapnutí během vytváření magnetického pole kolem vodiče vykonává práci. Do prostoru kolem vodiče se tak nahromadí energie. Na udržování magnetického pole už se další práce nevykonává, energie je v prostoru akumulována a lze ji zase odebrat (podobně jako z nabitého kondenzátoru).

## Elektromagnetická indukce

Elektromagnetická indukce je důsledkem vzájemného silového působení elektrického a magnetického pole. Jestliže pohybujeme elektrickým vodičem v magnetickém poli tak, že protínáme magnetické indukční čáry, vzniká na koncích vodiče indukované elektrické napětí. Je-li vodič zapojen do uzavřeného obvodu, protéká jím elektrický proud. Podle Faradayova zákona elektromagnetické indukce platí, že čím rychleji pohybujeme vodičem v magnetickém poli, tím je indukované napětí větší.



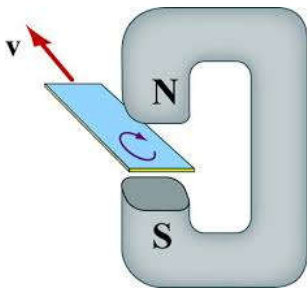
- Jev při kterém vzniká elektrické napětí změnou magnetického pole se nazývá elektromagnetická indukce. Ke změně magnetického pole může dojít pohybem permanentního magnetu nebo cívky, případně změnou intenzity magnetického pole elektromagnetu v důsledku změny procházejícího proudu.
- Napětí a proud, které vznikají při elektromagnetické indukci se nazývají indukované napětí a indukovaný proud.
- Indukované napětí a indukovaný proud závisí na velikosti změny magnetického pole a rychlosti jeho změny.

Příklady využití elektromagnetické indukce:

- Generátory elektrického napětí (výroba elektrické energie)
- Transformátory (pomocí nich měníme velikost napětí)
- Mikrofony a reproduktory

## Vířivé proudy

Pokud vodivou smyčkou pohybujeme v magnetickém poli, indukuje se proud jako důsledek změny magnetického toku. Proud však můžeme indukovat také, vezmeme-li místo smyčky velký vodič. Indukované proudy ve vodiči víří, proto jsou označovány jako vířivé proudy.



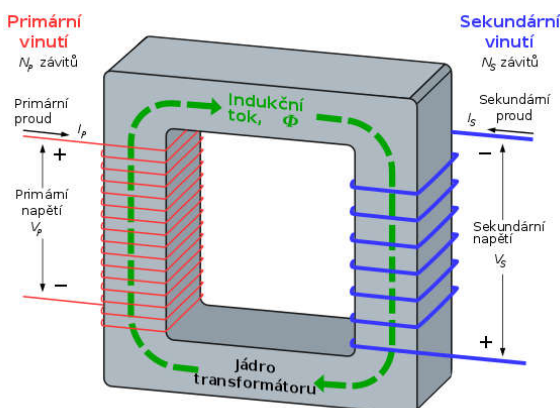
Indukované vířivé proudy generují magnetickou sílu, která působí proti pohybu a ztěžuje pohybování vodičem v magnetickém poli.

Protože vodič má nenulový vnitřní odpor  $R$ , Jouleovo teplo způsobuje ztrátu výkonu. Ztráty ve vodiči lze redukovat vyšším odporem  $R$ . Odpor vodiče můžeme zvětšit rozřezáním na tenké proužky a slepením nevodivým lepidlem.

Vířivé proudy mohou být například využity pro tlumení nežádoucích mechanických oscilací. Vířivé proudy jsou také využívány v brzdách systémů nákladních automobilů.

## Transformátor, ztráty

Transformátor je elektrický netočivý stroj, který umožňuje přenášet elektrickou energii z jednoho obvodu do jiného pomocí vzájemné elektromagnetické indukce. Používá se většinou pro přeměnu střídavého napětí (např. z nízkého napětí na vysoké) nebo pro galvanické oddělení obvodů.



Skládá se ze tří hlavních částí: vinutí, magnetický obvod, izolační systém.

Primární vinutí slouží k převodu elektrické energie na magnetickou. Procházejícím proudem se vytváří magnetický tok  $\Phi$  [F]. Tento tok je veden magnetickým obvodem (jádre) k sekundární cívce. Účelem magnetického obvodu většiny transformátorů je zajistit, aby co nejvíce magnetických siločar procházelo zároveň primární a sekundární cívkou.

V sekundární cívce se podle principu Faradayova indukčního zákona (viz elektromagnetická indukce) se indukuje elektrické napětí. Transformátor pracuje jen na střídavý nebo pulzující proud, protože u stejnosměrného proudu se nemění magnetický tok a na sekundárním vinutí nevzniká žádné napětí.

Ztráty v transformátoru:

Nakrátko („v mědi“) jsou způsobeny ohmickým odporem vodiče tvořícího vinutí primární a sekundární cívky.

Naprázdo („v železe“) jsou to ztráty především v magnetickém obvodu transformátoru. Mají tyto složky: ztráty magnetizační a ztráty vířivými proudy. Magnetizační ztráty jsou ztracená energie potřebná k přemagnetování feromagnetického materiálu při střídavém magnetování.

Magnetismus – učebnice Základy elektrotechniky (Jiří Vlček), strana 26 až 35.

[https://www.youtube.com/watch?v=GV\\_O4frLLmo](https://www.youtube.com/watch?v=GV_O4frLLmo)

<https://www.youtube.com/watch?v=g3oXvy0J4PE>

<https://www.itnetwork.cz/maturitni-otazka-fyzika-magneticke-pole>

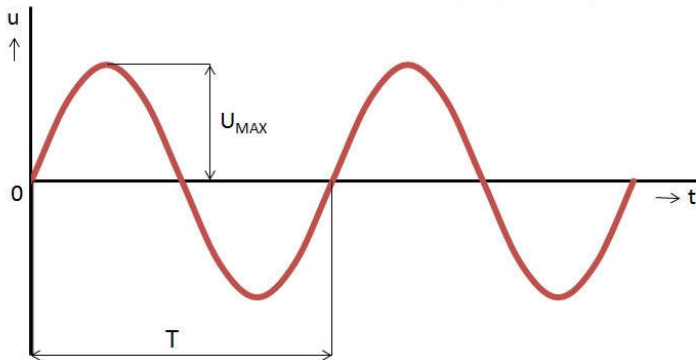


## Střídavé proudy

Stejnsměrný proud (například z galvanického článku) teče stále stejným směrem i když se jeho velikost může měnit. U střídavého proudu se v závislosti na čase směr proud mění. U střídavého napětí hovoříme o změně polarity.

### Časový průběh střídavých veličin

Typickým příkladem je sinusový průběh střídavého napětí. Okamžitá hodnota napětí se v závislosti na čase mění od nuly do maximální kladné přes maximální zápornou zpět do nuly. Vše se periodicky opakuje v čase označovaném T. Převrácená hodnota T se nazývá kmitočet nebo také frekvence, základní jednotkou je Hertz (Hz). Napětí v rozvodné síti má frekvenci 50 Hz, to znamená že za 1 sekundu proběhne 50 period signálu. Čas jedné periody je 1/50, tj. 0,02 s (20 ms).

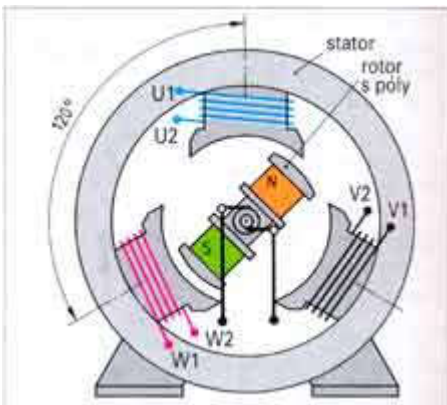


T = perioda  
jednotka: [s] (sekunda)

f = frekvence (kmitočet)  
jednotka hertz [Hz]

$$T = 1/f \quad f = 1/T$$

### Vznik střídavého proudu



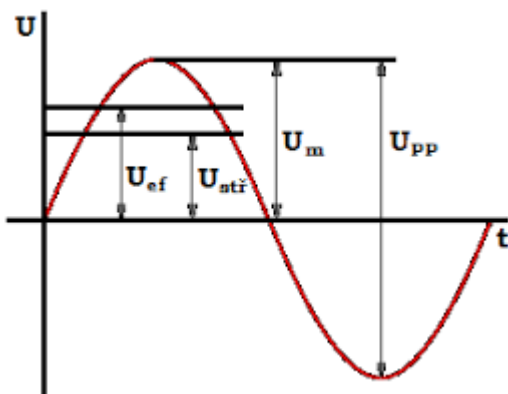
Střídavé napětí (sinusové) se získává využitím elektromagnetické indukce ve strojích nazývaných generátory (alternátory). Jsou to točivé stroje, uvnitř kterých se otáčí rotor, na rotoru je uloženo vinutí (cívka). Pokud cívkou prochází elektrický proud, vytváří se magnetické pole (cívka se točí = její magnetické pole je točivé). Na pevné části generátoru (statoru) jsou uloženy další cívky (většinou tři = třífázový generátor). Točivé magnetické pole rotoru indukuje v cívkách statoru střídavé napětí.

Jinou možností je získat střídavé napětí pomocí elektronického obvodu, který se nazývá oscilátor. To se používá zejména při měření elektronických obvodů. Tímto způsobem je možné generovat střídavé napětí s různým periodickým průběhem sinusový, obdélníkový trojúhelníkový, pilový a další s nastavitelnou frekvencí i výstupním napětím.

### Efektivní a střední hodnota

Efektivní hodnota střídavé veličiny je nejpoužívanější hodnotou ve střídavých obvodech. Značí se velkým písmenem bez indexu, napětí U nebo proud I. Efektivní hodnota střídavého proudu se rovná hodnotě stejnosměrného proudu, který vyvolá za stejnou dobu stejné tepelné účinky, jako uvažovaný střídavý proud. Je to hodnota, kterou měří většina elektrických měřících přístrojů.

Střední hodnota střídavé veličiny je nejméně používaná hodnota ve střídavých obvodech. Značí se velkým písmenem s dolním indexem s. Napětí  $U_s$  nebo proud  $I_s$ . Střední hodnota střídavého proudu se rovná myšlené hodnotě stejnosměrného proudu, který přenesne za stejnou dobu stejný náboj, jako uvažovaný střídavý proud.



- Hodnota maximální  $U_m$
- Hodnota efektivní  $U_{ef}$   $U_{ef} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$
- Hodnota střední  $U_{stř}$   $U_{stř} = \frac{2U_m}{\pi}$
- Hodnota špička-špička  $U_{pp}$   $U_{pp} = 2U_m$
- Okamžitá hodnota  $u$  (označuje se malým písmenem)  
 $u = U_m \cdot \sin \omega t$

Uvedené vzorce platí pouze pro sinusový průběh signálu!