

VĚRA KOUDELKOVÁ  
HRÁTKY  
S TRANSFORMÁTOREM



SVĚT ENERGIE





VĚRA KOUDELKOVÁ

HRÁTKY

S TRANSFORMÁTOREM





<b>ÚVOD PRO DĚTI A STUDENTY</b>	4
<b>NEŽ ZAČNEME...</b>	5
<b>ELEKTŘINA + MAGNETISMUS = ??</b>	7
Mapujeme magnetické pole v okolí vodiče s proudem	7
Vyrobte si cívku	10
Magnetické pole cívky	11
Elektromagnet?	12
Co nejsilnější elektromagnet	13
Vyrábíme proud	16
<b>TRANSFORMÁTOR</b>	19
Jak velké napětí vyrobíte?	19
Transformujeme? Transformujeme. Transformujeme!	20
Transformátor naprázdno...	21
Co je to vlastně závit cívky?	23
Z extrému do extrému, aneb zkratujeme transformátor!	24
Transformační poměr naruby	26
Chytrá cívka	28
Malá žárovka a velké napětí. A přesto vydrží!	30
Něco o jádře (ale ne tom zemském)	31
<b>K ČEMU JE TO DOBRÉ? (NĚKOLIK VYUŽITÍ V PRAXI)</b>	33
Transformátor v denním použití	33
Přenosová soustava	34
Tokamak – transformátor a jaderná fúze	36
<b>ŘEŠENÍ OTÁZEK Z TEXTU</b>	37
<b>LITERATURA</b>	39

# ÚVOD PRO DĚTI A STUDENTY

Milí kamarádi, určitě jste slyšeli, že se elektřina přenáší od elektrárny ke spotřebiteli při vysokém napětí. Přemýšleli jste někdy, proč se elektřina do domácností nevede tak, jak se vyrobí, ale transformuje se? Nevíte, jak takový transformátor funguje? Chtěli byste se dozvědět víc o tom, proč vůbec lidé začali spojovat pojmy elektřina a magnetismus? Dostává se vám do rukou brožurka, která by vám mohla pomoci některé z těchto otázek zodpovědět.

Najdete v ní řadu pokusů rozdělených do tří kapitol. V první kapitole jsou uvedeny pokusy, které vedly k tomu, že lidé začali spojovat pojmy elektřina a magnetismus. V druhé části budeme společně zkoumat transformátor a v poslední kapitole se dozvíte něco o tom, jak se zjištěné poznatky projevují v každodenní praxi.

Každý pokus obsahuje krátký úvod o tom, co budeme zkoumat, seznam pomůcek a dalšího materiálu, který budete ke zkoumání potřebovat, popis samotného pokusu a stručné vysvětlení toho, co jste pozorovali. Vzhledem k tomu, že brožurka není myšlena jako učebnice elektřiny a magnetismu, je většina vysvětlení dost stručná. Budete-li mít zájem se o některých věcech dozvědět víc, můžete nahlédnout do některé z knih ze seznamu literatury, uvedeného na poslední straně brožurky. U některých pokusů najdete náměty k dalšímu zkoumání či otázky k volnému přemýšlení. Odpovědi na většinu otázek jsou uvedeny na konci brožurky.

Na některé pokusy budete potřebovat vybavení, které asi většina z vás nemá doma k dispozici – cívky, jádra, zdroj napětí, ale i PVC trubku, měděný vodič apod. Některé pomůcky vám určitě rád zapůjčí váš fyzikář z kabinetu, zajděte se ho zeptat. V kapitole Než začneme... se dozvíte, kde se dá sehnat materiál, který si budete muset koupit či opatřit jinak. Snažili jsme se, aby cena tohoto materiálu byla co nejnižší. Vzhledem k tomu, že pojmenování některých součástí se může na různých školách lišit, najdete ve stejné kapitole i vysvětlení názvů, které budeme používat my.

**Hodně zábavy a poučení při pokusech!**

Věra Koudelková

# NEŽ ZAČNEME...

## KDE SEŽENETE MATERIÁL, KTERÝ BUDETE POTŘEBOVAT?

### Ocelové piliny

Nejjednodušeji je získáte tak, že si vezmete libovolný kus starého železa (případně si v železářství koupíte železnou tyčku) a pilníkem piliny vyrobíte.

### PVC trubka

V potřebách pro instalatéry, v některých domácích potřebách a v některých železářstvích lze koupit PVC trubky mnoha různých průměrů. Pozor, v obchodech měří vnější průměr trubky, budete si je muset nejspíše přeměřit. Podle našich zkušeností vám ochotně uříznou požadovanou délku.

### Měděný vodič

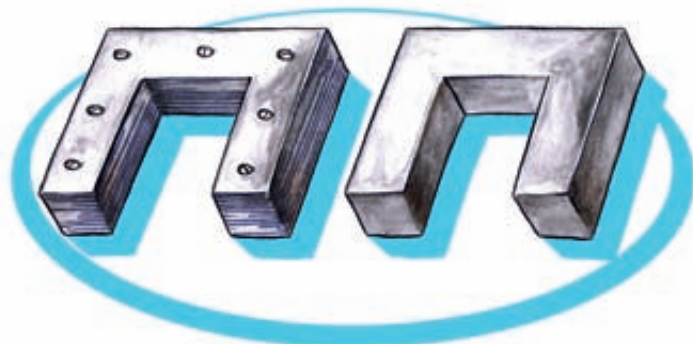
Pro naše potřeby je vhodný libovolný měděný izolovaný vodič s průřezem přibližně 0,5 až 1 mm<sup>2</sup>. Doporučujeme proto například „zvonkový drát“ (k dostání v elektroprodejnách). Vhodný je také drát z vnitřku datového kabelu k počítači (lze sehnat vyřazený, případně koupit v počítačových prodejnách).

**Poznámka:** V běžně používaných transformátorech můžeme najít cívky z vodičů o různých průřezích – od 0,1 mm<sup>2</sup> až po několik cm<sup>2</sup>.

### Magnetka

Můžete použít libovolný kompas nebo buzolu. Pokud jej nemáte, půjčte si magnetku od vašeho fyzikáře.

Kromě výše uvedeného materiálu budeme potřebovat i různé druhy jader cívek. Na školách se používají různá pojmenování pro různá jádra. Pojd'me si v nich udělat pořádek. Pro většinu pokusů se nám bude hodit víc jádro **lístkové** než **plné**.



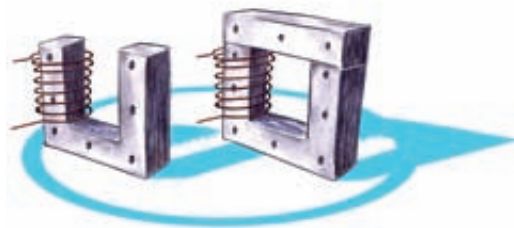
Lístkové jádro je vyrobeno z mnoha tenkých plechů, mezi kterými je izolační vrstva. Plné je oproti tomu vyrobeno z jednoho kusu železa. Na konci kapitoly o transformátoru najdete pokus vysvětlující rozdíly v chování obou typů jader.

Podle tvaru se jádra běžně označují jako „jádra U“ či „jádra I“. Oba tvary můžete vidět na obrázku.

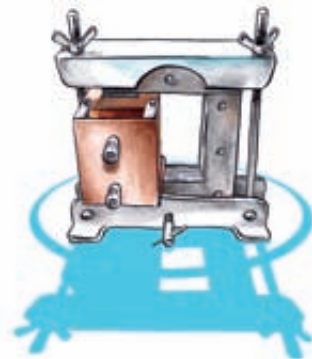


**Poznámka:** Jádro I se obvykle pro školní účely vyrábí ve dvou délkách – pro nás bude podstatné tzv. **krátké** jádro, které lze přesně nasadit na jádro U tak, že obě jádra vytvoří čtverec (viz dále), naopak tzv. **dlouhé** jádro je o něco delší než strana tohoto čtverce.

Nasadíme-li cívku pouze na jádro U, mluvíme o cívce na **otevřeném** jádře, pokud na toto jádro U nasadíme jádro I tak, že vytvoří zmíněný čtverec, hovoříme o **uzavřeném** jádře (viz obrázek).



Tečou-li cívkou na uzavřeném jádře větší střídavé proudy (řádově jednotky ampér), může se stát, že celá soustava vibruje. V těchto případech proto často uzavřené jádro i s cívkou (případně cívkami) upínáme do upínacího zařízení. Upínací zařízení používáme i tehdy, když chceme co nejvíc omezit ztráty v magnetickém obvodu.





# ELEKTŘINA + MAGNETISMUS = ??

Až do 19. století považovali lidé elektřinu a magnetismus za dvě zcela nesouvisející oblasti fyziky. Teprve pokusy několika fyziků (H. Ch. Oersteda, M. Faradaye a dalších) ukázaly, že elektřina neexistuje bez magnetismu a naopak. Pojďme společně zopakovat některé experimenty, které nakonec vedly k teorii elektromagnetismu a ke čtyřem slavným rovnicím Jamese Clerka Maxwella.

Začneme jednoduchým vodičem...

## MAPUJEME MAGNETICKÉ POLE V OKOLÍ VODIČE S PROUDEM

### CO BUDEME POTŘEBOVAT

- akumulátor nebo čerstvou plochou baterii
- malou objímku se žárovkou např. 3,5V / 0,2A nebo 2,4V / 0,5A (ta je trošku lepší)
- vodiče
- magnetku (kompas, buzolu)
- tvrdý papír (čtvrtku apod.)
- ocelové piliny

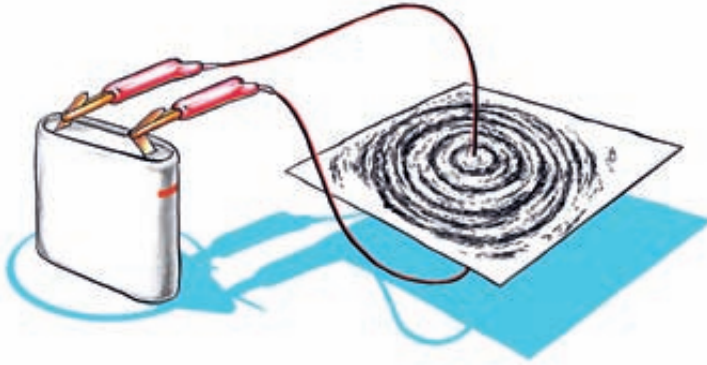
### JAK NA TO

Zapojte jednoduchý elektrický obvod se žárovkou. Pod kousek rovného vodiče vložte magnetku. Co vidíte? Změní se něco, pokud magnetku umístíte nad vodič? Pohybuje s magnetkou okolo vodiče a sledujte, co se s ní děje. Pozorujete totéž, pokud vodičem neprochází proud?

**Poznámka:** Ve skutečnosti se s tím, jak na magnetku působí drát s proudem, „přetahuje“ magnetické pole Země. Střelka se proto nenatočí vždy až tak, jak je nakresleno na obrázku. Pokud je jev špatně pozorovatelný, vyřaďte z obvodu žárovku. Vodič pak k baterii připojte vždy jen na okamžik.



Potom udělejte doprostřed tvrdého papíru malý otvor a papír nasad'te na svislý kousek vodiče. Na papír nasyp'te ocelové piliny a vodič poté připojte na okamžik rovnou k baterii. Co pozorujete? (Při zapnutí proudu pomůž'e poklepat jemně na papír s pilinami. Všiměte si hlavně pilin v blízkém okolí vodiče.)



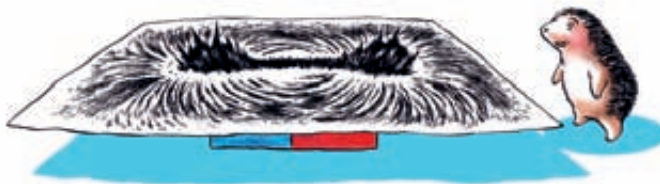
Pokud jste si ještě nikdy neměli možnost vyzkoušet, jak se chovají ocelové piliny v okolí permanentního (trvalého) magnetu, zkuste provést následující pokus:

### CO BUDETE POTŘEBOVAT

- permanentní tyčový magnet
- ocelové piliny
- papír

### JAK NA TO

Magnet polož'te na stůl tak, aby stěny, na kterých má póly, byly kolmo k rovině stolu. Polož'te na něj list papíru a na ten nasyp'te piliny. Jaké obrazce vidíte? Místo tyčového magnetu je možné použít i několik kulatých (nástěnkových) magnetů, které ovšem špatně drží v klidu. Můžete je potom přilepit ke stolu kouskem modelíny.



## VÝSLEDKY ZKOUMÁNÍ

Pokud vodičem prochází elektrický proud, vzniká okolo něj magnetické pole, na které reaguje například magnetka nebo ocelové piliny.

Tyto pokusy prováděl poprvé v roce 1820 Hans Christian Oersted, dánský fyzik a chemik, poté, co si všiml, že přítomnost vodiče s proudem ovlivňuje magnetku kompasu.



## PRO POKROČILÉ

(Ize vynechat, ale proč byste to nezkusili?)

Magnetické pole můžeme charakterizovat veličinou zvanou magnetická indukce (značíme ji velkým písmenem  $\vec{B}$ ). Tu si můžeme znázornit jako šipku, jejíž směr znázorňuje směr magnetického pole v daném místě a jejíž délka odráží „sílu pole“.

**Poznámka:** Možná víte, že veličinám, které mají nejen velikost, ale i směr, se říká vektory.

Pokud vodičem protéká proud, leží „šipka“ magnetické indukce v rovině kolmé na vodič. Její směr v daném místě určuje tečna kružnice, jejíž střed leží v ose vodiče a která daným místem prochází. Tyto kružnice jste mohli pozorovat na pilinách, říká se jim magnetické indukční čáry. Magnetka se v každém bodě nastaví ve směru tečen k magnetickým indukčním čarám, tj. ve směru magnetické indukce. Velikost magnetické indukce v daném místě závisí na vzdálenosti místa od vodiče (čím dál od vodiče jsme, tím je pole slabší) a na velikosti proudu, který vodičem protéká (čím větší proud, tím silnější pole).

## VYROBTE SI CÍVKU

V předchozím pokusu byla výchylka magnetky hodně malá. Co kdybychom ji dali ne k jednomu, ale k více vodičům najednou, tj. k cívce? Pojd'me se společně podívat, jak se v magnetickém poli chová cívka. Ovšem nejdříve ji musíme mít...

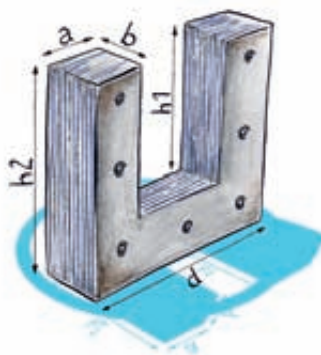
Váš učitel fyziky má určitě v kabinetě několik cívek s různými počty závitů. Mohli bychom sice použít tyto cívky, ale na některé pokusy se nám bude hodit mít cívku vlastní. Pojd'me si ji tedy nyní vyrobit.

Na některé pokusy budeme potřebovat, aby vaše cívka šla použít společně s cívkami a jádry z kabinetu fyziky na vaší škole. Bude proto vhodné, abyste její rozměry přizpůsobili rozměrům cívek a jader, které na vaší škole používáte. Půjčte si proto od vašeho fyzikáře jedno jádro U a změřte si jeho rozměry (viz obrázek).

**Poznámka:** Pro pokusy s transformátorem budete potřebovat dvě vámi vyrobené cívky. Uděláte dobře, pokud si obě vyrobíte už teď.

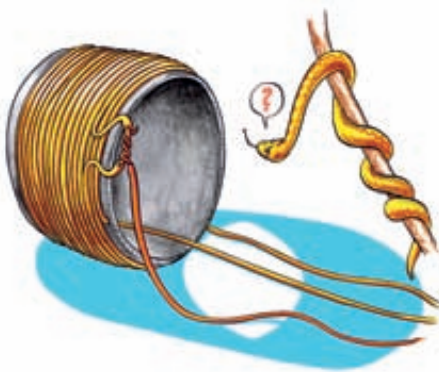
### CO BUDETE POTŘEBOVAT

- PVC trubku takového vnitřního průměru, aby šla nasadit na jádro U (Pro každou cívku budete potřebovat trubku o několik milimetrů kratší než je polovina rozměru  $h_1$ .)
- pilku na železo
- izolovaný měděný vodič (Na každou cívku budete potřebovat tolik vodiče, abyste mohli navinout 60 závitů na vaši trubku. Spočtete si proto obvod vaší trubky, vynásobte 60 a nakonec přidejte metr vodiče na odbočky a rezervu.)
- lístkové jádro U
- pravítko
- tužku
- nůžky
- štípací kleště
- pilník
- nůž nebo vrtáček
- izolační pásku, provázek apod.
- případně páječku, kalafunu a cín



## JAK NA TO

Z PVC trubky si uřízněte příslušnou délku, hrany zabruste pilníkem. Tato trubka bude tvořit „kostřičku“, na kterou budeme vinout cívku. Aby se vám cívka nerozmotávala, udělejte si kousek od kraje trubky díрку nebo zářez, kterými drát na počátku protáhnete. Od okraje trubky začněte vinout drát (nechte si na jeho začátku volných přibližně 15 cm na připojení k baterii apod.). Namotejte 20 závitů (do jedné nebo dvou vrstev nad sebe tak, aby dvacátý závit byl na některém kraji cívky). Na konci dvacátého závitu drát neštipujte, jen ho na asi 1 cm dlouhém kousku zbavte izolace. Protože budete potřebovat, aby vaše cívka měla proměnný počet závitů, odved'te v tomto místě od drátu „odbočku“ – přibližně 15 cm dalšího drátu očistěte na obou koncích od izolace a jeden konec namotejte na očistěný kousek cívky. Máte-li možnost, je vhodné tento spoj spájet. Stejným způsobem naviňte ještě 40 závitů, udělejte odbočku po dalších 20 závitěch. Na konci cívky si nechte volných asi 15 cm drátu. Je vhodné si na odbočky poznačit, kolikátý závit zde končí. Pokud vám drát sklouzává z trubky, lze celou cívku oblepit například izolační páskou apod. Vyrobili jste si tak cívku s 20, 40 nebo 60 závitě.



## MAGNETICKÉ POLE CÍVKY

Jak vypadá magnetické pole cívky? Liší se od magnetického pole vodiče?

### CO BUDETE POTŘEBOVAT

- cívku, kterou jste si vyrobili
- plochou baterii
- vodiče
- magnetku

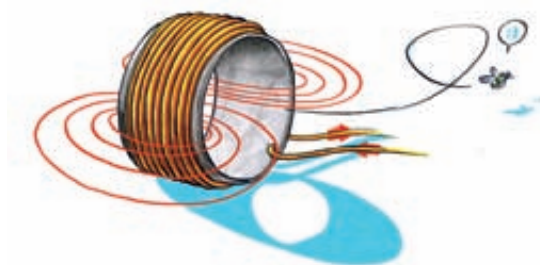


### JAK NA TO

Zapojte jednoduchý elektrický obvod s cívkou. Podobně jako v prvním pokusu použijte magnetky k prozkoumání magnetického pole cívky.

### VÝSLEDKY ZKOUMÁNÍ

Magnetka se natočí ve směru tečny k magnetickým indukčním čarám, tj. ve směru magnetického pole. Tvar magnetického pole cívky ukazuje obrázek.



## ELEKTROMAGNET?

Teď už víme, že okolo cívky, kterou protéká elektrický proud, je magnetické pole. Mohla by tedy sloužit jako magnet? Ano, samozřejmě mohla. Jistě jste se s takovými magnety již setkali, říká se jim elektromagnety.

Pojďme si jeden elektromagnet zapojit a zjistit, jak velkou hmotnost udrží.

### CO BUDETE POTŘEBOVAT

- vlastnoručně vyrobenou cívkou
- plochou baterii nebo akumulátor
- vodiče
- lístkové jádro I
- libovolná ocelová závaží – hřebíčky, kancelářské sponky apod.

### JAK NA TO

Nasad'te vaši cívkou na lístkové jádro I a připojte ji k akumulátoru nebo ploché baterii. Tím jste vyrobili elektromagnet schopný přitahovat kovové předměty. Zkuste na jádro pověsit závaží. Jak dlouhý „ocásek“ z kancelářských sponek, hřebíčků apod. váš elektromagnet udrží?

Odpojíte-li cívkou od zdroje, většinou všechna závaží spadnou.

Pokud jste pokus prováděli s kancelářskými sponkami či jinými lehkými závažími, nejspíše vám i při odpojení cívky zůstala nějaká závaží „přilepená“ na jádře. Zkuste si rozmyslet, čím je to způsobeno.



Možná vás napadlo, proč jsme cívku nasazovali na jádro. Nešlo by to bez něj? Zkuste si to. Řešení se dozvíte o několik odstavců později...

## DALŠÍ NÁMĚTY

- Pokud byste si chtěli vyrobit elektromagnet, na který nebudete potřebovat školní jádra, vezměte si 8–10 cm dlouhý železný hřebík a navíňte na něj hustě dvě vrstvy závitů. Kolik kancelářských sponek se na něm udrží, když ho připojíte k baterii?
- Chtěli byste si vyrobit i své jádro? V tom případě si v železářství kupte několik úhelníků, stáhněte je dohromady například lepicí páskou a nasad'te na ně vaši cívku. Úhelníky vám poslouží jako jádro.

## CO NEJSILNĚJŠÍ ELEKTROMAGNET

Pro praxi se často hodí, aby byl elektromagnet co nejsilnější. Rozmyslete si, na čem všem by „síla“ elektromagnetu mohla záviset. Jak byste vysvětlili sousloví „síla elektromagnetu“?

### CO BUDETE POTŘEBOVAT

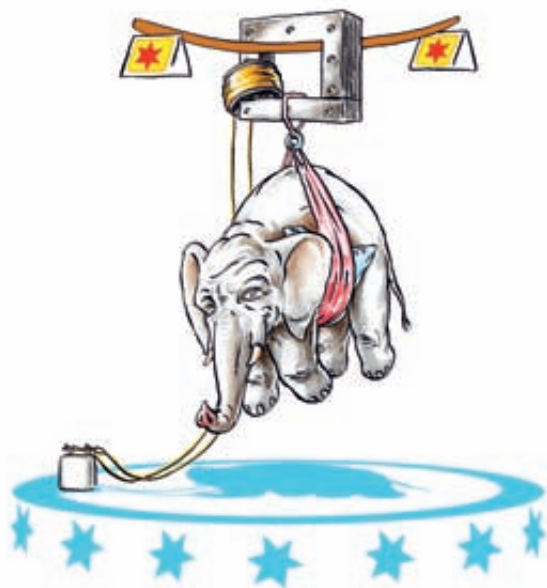
- plochou baterii nebo akumulátor
- vodiče
- vlastní cívku
- několik cívek z „originálních sad“ (např. 60, 300, 600 závitů)
- lístkové jádro U a I
- libovolná kovová závaží – hřebíčky, kancelářské sponky apod.
- několik těžších kovových závaží (např. 50 g, 100 g, 200 g)
- pevné pravítko, tyčku apod.

### JAK NA TO

Připojte elektromagnet ke zdroji napětí a prozkoumejte, zda „síla“ vašeho elektromagnetu závisí na vámi navržených parametrech. Pokud vás žádné nenapadly, můžete se inspirovat například následujícími: počet závitů cívky, polarita baterie či akumulátoru, materiál vložený do cívky (např. papír, dřevo, ocel), napětí baterie nebo akumulátoru (lze zkoumat např. zapojením několika baterií či různého počtu článků akumulátoru). Záleží na tom, zda cívku nasadíte na otevřené jádro, uzavřené jádro nebo ji necháte volně bez jádra?

Měňte vždy jen jeden parametr, ostatní nechte stejné. Pozorujte, jestli se změní hmotnost závaží, které se na jádru ještě udrží.

**Poznámka:** Pokud cívku vložíte na uzavřené jádro, není kam všet závaží. Pověste proto jádro U na vodorovnou tyčku mezi dva stoly. Závaží pověste na provázek na vodorovně položené jádro I (viz obrázek).



### VÝSLEDKY ZKOUMÁNÍ

Z pokusů by vám měla vyplynout závislost „síly elektromagnetu“ na počtu závitů cívky, napětí baterie (akumulátoru) a na materiálu vloženém do cívky. Výrazně by se měla projevit i uzavřenost jádra.

Vzpomínáte si ještě na veličinu zvanou magnetická indukce? Zmiňovali jsme se o ní v odstavci pro pokročilé na konci první kapitoly. Pokud jste odstavce přeskočili, řekněme si jen, že to je veličina charakterizující magnetické pole okolo vodiče. Právě magnetická indukce by nám měla pomoci vysvětlit to, na co jste přišli při svém zkoumání. Na čem tedy závisí „síla elektromagnetu“ neboli to, jak těžké závaží elektromagnet udrží?

Teorie říká, že velikost magnetického pole uvnitř cívky je úměrná proudu protékajícímu cívkou, počtu závitů cívky a v případě uzavřeného jádra také konstantě charakterizující materiál jádra.

Nejspíš jste zjistili, že mezi počtem závitů a „silou elektromagnetu“ není přímá úměrnost. Čím to je? Čím víc závitů cívka má, tím delší je drát, ze kterého jste ji navinuli, a tedy tím větší odpor cívka má. Můžeme předpokládat, že baterie i akumulátor dávají přibližně konstantní napětí bez ohledu na to, jak velkou zátěž zapojíme do obvodu, takže proud protékající cívkou je omezen právě odporem vodiče. Při jistém počtu závitů tedy bude negativní vliv odporu vodiče větší než pozitivní vliv počtu závitů. Pro jaký počet závitů je vaše cívka nejbližší ideálnímu stavu, tj. kdy je vliv odporu vodiče vzhledem k počtu závitů nejmenší?



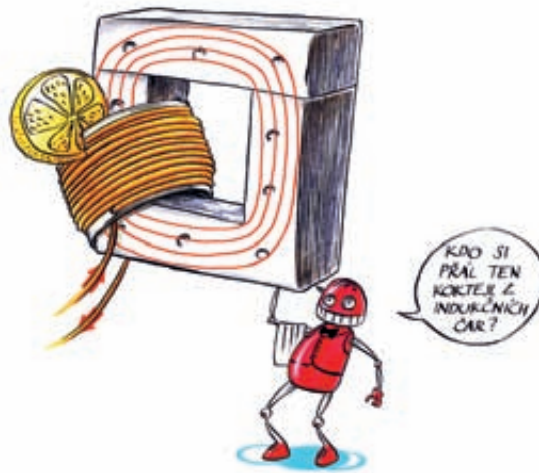
Pojďme se zamyslet nad významem konstanty charakterizující materiál uvnitř cívky. Vzpomínáte si na „čáry“ okolo vodiče či cívky, které jsme pozorovali pomocí pilin? Některými materiály (např. ocelí, ze které je jádro) tyto indukční čáry procházejí „snadněji“ než jinými (například vzduchem) a platí, že čím silnější je v daném místě pole, tím hustší jsou tam indukční čáry, kterými dané pole popisujeme. Proto se například budou kancelářské sponky snadněji chytat na jádro cívky než na její vnitřní okraj.

Konstanta charakterizující materiál (říká se jí permeabilita prostředí a značí se řeckým písmenem  $\mu$  „mí“) je tím větší, čím „snáze“ daným materiálem procházejí indukční čáry.

Pokud jádro uzavřeme celé, půjde většina indukčních čar jím a málokteré budou procházet vzduchem (viz obrázek).

K tomu, abychom v tomto případě jádro I oddělili od jádra U, potřebujeme závaží o velké hmotnosti...

Fyzikové v takovém případě hovoří o uzavřeném magnetickém obvodu.



## DALŠÍ NÁMĚTY

Máte ještě chvilku času a chce se vám dál přemýšlet o elektromagnetu? V tom případě jsou tu pro vás následující náměty:

- Kde všude se v praxi můžete setkat s elektromagnetem?
- Jaké jsou jeho výhody a nevýhody oproti permanentnímu magnetu?
- Změřte si odpor vaší cívky.
- Půjčte si od vašeho fyzikáře několik cívek s různým počtem závitů ze soupravy a vyberte „optimální cívku pro elektromagnet“ tj. cívku, která se nejvíce blíží ideálnímu stavu (viz výše), kdy je negativní vliv odporu vodiče nejmenší vzhledem k pozitivnímu vlivu počtu závitů. U cívek ze soupravy bývá vliv odporu mnohem výraznější, protože cívky s vyšším počtem závitů bývají vinuty z tenčího drátu, aby se dostatek závitů snadněji vešel na stejnou velikost „kostry“ cívky.

## VYRÁBÍME PROUD

V předcházející části jsme si zkusili některé z pokusů, které vedly k myšlence, že v okolí každého vodiče, kterým protéká el. proud, vzniká magnetické pole. Možná vás napadla otázka, zda platí i opačný případ, tedy jestliže vložíme vodič do blízkosti magnetu, zda jím bude procházet proud.

Pojďme si zkoumání trochu usnadnit. Již víme, že okolo cívky je silnější magnetické pole než okolo samotného vodiče, zkusme tedy vyrobit proud rovnou v cívce.

### CO BUDETE POTŘEBOVAT

- vlastnoručně vyrobenou cívku
- permanentní tyčový magnet (nemáte-li k dispozici tyčový magnet, spojte dohromady několik běžných nástěnkových magnetů)
- miliampérmetr s ručičkou uprostřed

**Poznámka:** V tomto i některých následujících pokusech budeme potřebovat použít miliampérmetr s ručičkou uprostřed. Nemáte-li ho k dispozici, můžete využít i běžně dostupný digitální multimetr. V tom případě bude výchylka ručičky na jednu nebo druhou stranu znázorněna kladným nebo záporným znaménkem u digitálního multimetru

### JAK NA TO

Položte na stůl cívku, její konce (60 závitů) připojte k miliampérmetru s ručičkou uprostřed. Přibližujte magnet k různým místům cívky a pozorujte, co dělá ručička miliampérmetru. Do kterého místa cívky musíte magnet přibližovat, aby byla výchylka miliampérmetru co největší?

Všimněte si, jak se chová ručička miliampérmetru, pokud magnet zastavíte, a jak se chová, pokud ho od cívky oddalujete nebo naopak přibližujete.

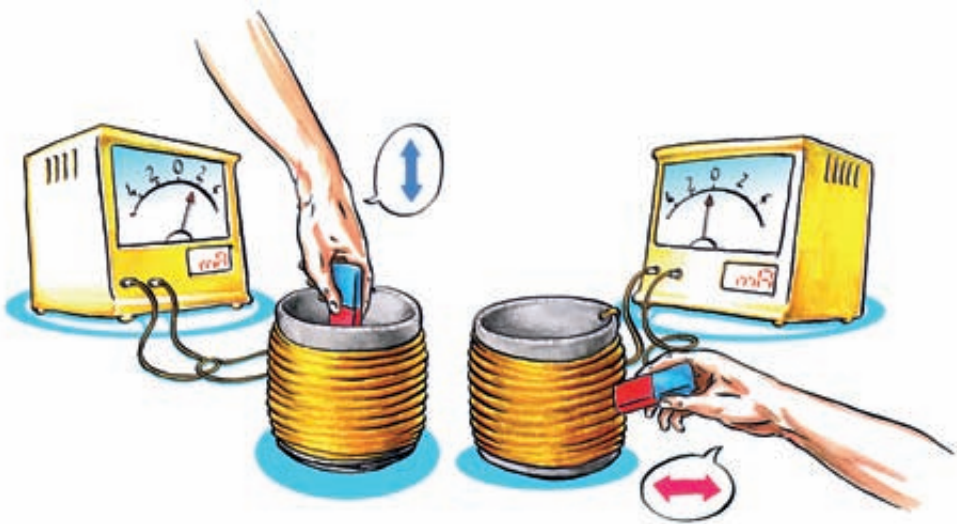


## VÝSLEDKY POZOROVÁNÍ

Miliampérmetr by měl ukazovat největší výchylku, pokud magnetem hýbete ve směru dutiny uvnitř cívky kolmo na závit cívky. Naopak by neměl ukazovat téměř žádnou výchylku, pokud s magnetem hýbete v rovině závitů.

Při přibližování magnetu k cívce by se ručička přístroje měla vychýlit na jednu stranu, při oddalování na druhou. Pokud s magnetem nehýbete, zůstává ručička uprostřed. Můžete si zkusit, že pokud magnetem hýbete rychleji, výchylka miliampérmetru se zvětší.

**Poznámka:** Pokud budete magnetem hýbat příliš rychle, může se stát, že ručička bude zůstat v podstatě v klidu uprostřed. Nemůže za to malý proud v obvodu, ale setrvačnost ručičky, která už nestíhá přeskřítnout z jedné strany na druhou.



Čím to je? Jednoduše by se dalo říci, že v cívce vzniká (indukuje se) napětí, pokud je v proměnném magnetickém poli, tedy pokud se magnet a cívka vůči sobě pohybují. Indukované napětí je tím větší, čím víc se magnetické pole mění. Toto jednoduché vysvětlení ale naráží na jeden problém – jak je možné, že miliampérmetr neukazoval žádnou výchylku, pokud jsme magnet k cívce přibližovali ze strany?

V našem jednoduchém vysvětlení jsme se totiž dopustili jedné nepřesnosti. Napětí se neindukuje v samotném vodiči, ale ve smyčce, kterou vodič tvoří. Jinými slovy bychom mohli říct, že napětí se indukuje jen ve smyčce, kterou „protéká“ magnetické pole a tento „tok“ se navíc s časem mění. V našem případě jsme použili 60 smyček (závitů cívky).

## DALŠÍ NÁMĚTY

- Máte-li chuť a čas si s indukováním napětí ještě chvilku hrát, zkuste naindukovat jen v jedné smyčce napětí dostatečně velké k viditelné výchylce miliampérmetru.

Všechna tato pozorování shrnul v roce 1831 anglický chemik a fyzik Michael Faraday do zákona, kterému dnes říkáme Faradayův zákon elektromagnetické indukce:

**Indukované napětí je přímo úměrné časové změně magnetického toku smyčkou.**

## PRO POKROČILÉ

(Ize vynechat, ale proč byste to nezkusili?)

Magnetický tok (většinou ho značíme řeckým písmenem  $\Phi$  „Fí“) je veličina, která říká, kolik magnetické indukce „teče“ danou smyčkou. Určitě vás napadla podobnost s tokem vody. Stejně tak lze říci, že velikosti magnetického toku odpovídá celkový počet indukčních čar v dané smyčce.

V našem pokusu jsme použili 60 smyček, ve kterých se mohlo napětí současně indukovat. Výchylka miliampérmetru byla tedy mnohokrát větší, než kdybychom použili jen jednu smyčku.

Velikost indukovaného napětí záleží pouze na časové změně magnetického toku, ne na jeho absolutní velikosti. Proto bude ručička miliampérmetru zůstat uprostřed, nebudete-li magnetem pohybovat (bez ohledu na to, jak silný magnet do blízkosti cívky umístíte).

**Poznámka:** Často se míchají pojmy indukované napětí a indukovaný proud. Jak to tedy je? Ve smyčce, která je v proměnném magnetickém poli, se indukuje napětí. Zapojíme-li tuto smyčku do obvodu, protéká jí proud, jehož velikost závisí také na odporu vodiče podle Ohmova zákona. Proto můžeme pomocí ampérmetru indukované napětí detekovat.

## DALŠÍ NÁMĚTY

- Zkuste najít další parametry, které ovlivňují velikost indukovaného napětí. Ná-pověda: rozmyslete si, co vše může ovlivnit to, „jak moc se magnetické pole ve smyčce mění“ (resp. jak velká je časová změna magnetického indukčního toku smyčkou).

# TRANSFORMÁTOR

V předcházející části brožurky jsme dospěli ke dvěma velmi důležitým poznatkům, které můžeme zjednodušeně shrnout do hesel: „Okolo každého vodiče protékajícího proudem je magnetické pole“ a „pokud se v okolí vodiče mění magnetické pole, indukuje se ve vodiči napětí“.

Nyní nastal čas oba poznatky spojit – necháme měnit magnetické pole, které vznikne okolo cívky, kterou prochází elektrický proud, a tím budeme v druhé cívkce indukovat napětí. Nejspíše již víte, že takovému zařízení se říká transformátor. Pokud jste si pro předcházející pokusy vyrobili jen jednu cívku, je teď přesně ta správná chvíle k tomu, abyste si vyrobili i tu druhou.

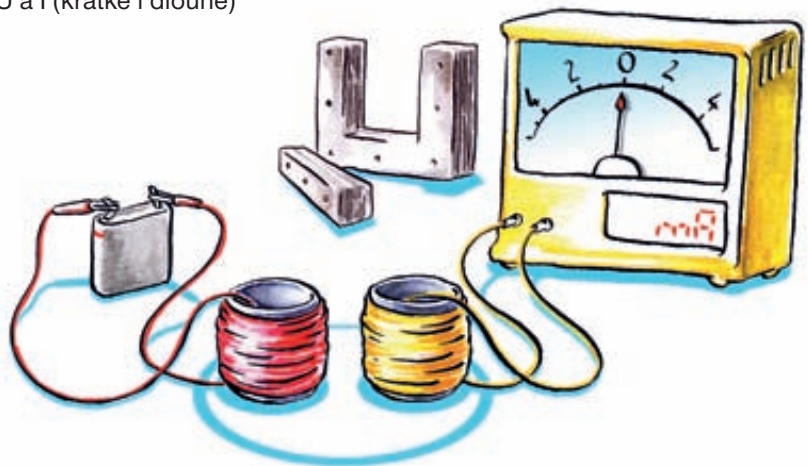
Nejdříve si pojďme domluvit dvě označení: Cívce, která „vyrábí“ magnetické pole, budeme říkat primární, druhou cívku, ke které obvykle připojujeme spotřebič, budeme nazývat sekundární. Obdobně budeme používat označení primární resp. sekundární proud, obvod apod.

## JAK VELKÉ NAPĚTÍ VYROBÍTE?

Než začneme zkoumat, jak transformátor funguje, měli bychom zkusit, že vůbec funguje. Zkusme tedy naindukovat alespoň nějaké napětí.

### CO BUDEME POTŘEBOVAT

- dvě vyrobené cívky
- vodiče
- plochou baterii
- miliampérmetr s ručičkou uprostřed
- lístkové jádro U a I (krátké i dlouhé)



## JAK NA TO

Připojte jednu vyrobenou cívku k ploché baterii, druhou k miliampérmetru. Zkuste v tomto zapojení naindukovat v sekundární cívce napětí dostatečně velké k viditelné výchylce miliampérmetru. Kromě jader již nic dalšího použít nesmíte.

Zkuste dosáhnout co největší výchylky miliampérmetru.

## VÝSLEDKY ZKOUMÁNÍ

Z předcházející části brožurky víme, že největší napětí se na cívce indukuje, pokud v jejích smyčkách dochází k co největším změnám magnetického toku. Ty můžeme zařídit například tím, že jednou z cívek co nejrychleji pohybujeme. Velké změny lze dosáhnout i při zapnutí resp. vypnutí proudu protékajícího primární cívkou (magnetické pole se poměrně rychle změní z nuly resp. na nulu).

Stejně tak již víme, že pokud cívku nasadíme na uzavřené jádro, jde většina indukčních čar jím. Pokud nasadíme na společné jádro obě cívky, půjdou indukční čáry magnetického pole primární cívky i do sekundární cívky. Změna magnetického pole, kterou způsobíme například přerušením proudu do primární cívky, se tak může projevit víc, než pokud necháme obě cívky bez jádra.

V našem pokusu jsme největší výchylky dosáhli, pokud jsme obě cívky nasadili na společné uzavřené jádro a potřebnou změnu jsme provedli zapnutím/vypnutím proudu do primární cívky. Takto naindukované napětí má ale jen málo praktických využití, neboť se na sekundární cívce objeví jen na okamžik. Stejně tak výchylka ampérmetru nemá velkou vypovídací hodnotu. Na její velikosti se nemalou měrou projevuje setrvačnost ručičky přístroje.

## TRANSFORMUJEME? TRANSFORMUJEME. TRANSFORMUJEME!

V předchozím pokusu jsme zjistili, jak to udělat, abychom v sekundární cívce naindukovali alespoň nějaké napětí. Víme také, jak dosáhnout co největšího naindukovaného napětí při daných podmínkách. Většinou ale na výstupu transformátoru, tedy na sekundární cívce, potřebujeme mít stálé napětí dané velikosti. Co bychom tedy měli přivést na vstup (na primární cívku)?

Abychom nemuseli cívkou pohybovat nebo proud přerušovat, budeme k napájení primární cívky používat střídavý proud, který bude sám měnit její magnetické pole. Zdroj střídavého napětí (nejlépe 6V či 12V) vám jistě ochotně půjčí váš fyzikář.

**Nikdy nepřipojujte vaše cívky přímo k síti 230V! (Tedy nezapojte je do zásuvky!)**

Zatím jsme na primární i sekundární stranu zapojovali cívky se stejným počtem závitů. V následujících pokusech budeme zkoumat chování transformátoru i v případě, že se počty závitů na obou cívkách liší.

Vzhledem k tomu, že chování transformátoru se mění podle toho, jak velkou zátěž připojíme na sekundární cívku, rozebereme postupně tři případy. Začneme jedním extrémem...

## TRANSFORMÁTOR NAPRÁZDNO...

...o něm mluvíme tehdy, jestliže konce sekundární cívky necháme rozpojené nebo k nim připojíme spotřebič (např. voltmetr) o velmi velkém odporu (sekundární cívkou tedy nebude procházet žádný nebo jen velmi malý proud).

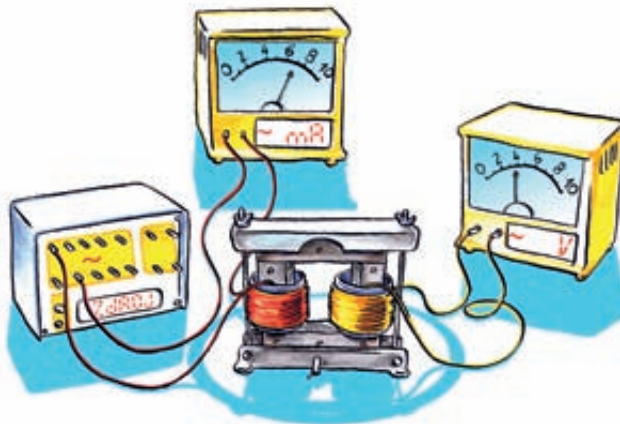
### CO BUDEME POTŘEBOVAT

- dvě vyrobené cívky
- upínací zařízení
- vodiče
- zdroj střídavého napětí 6 V
- miliampérmetr
- voltmetr
- lístkové jádro U, I

### JAK NA TO

Vložte obě cívky na společné uzavřené jádro a upněte je do upínacího zařízení. Primární cívku připojte přes ampérmetr na zdroj střídavého napětí, k sekundární cívce připojte voltmetr. Na obou cívkách použijte všech 60 závitů. Všimněte si, jaké hodnoty ukazují přístroje.

Měňte počet závitů na primární a sekundární cívce, pro každou kombinaci počtu závitů odečtěte hodnoty na přístrojích a zapište je do následující tabulky (hodnotu napětí na primární cívce odečtěte na zdroji střídavého napětí):



počet závitů primární cívky	počet závitů sekundární cívky	proud procházející primární cívkou (mA)	napětí na primární cívce (V)	napětí na sekundární cívce (V)	poměr napětí na sekundární a primární cívce
60	60				
40	60				
20	60				
60	40				
60	20				

Do posledního sloupečku tabulky dopočtete poměr napětí na primární a sekundární cívce.

### VÝSLEDKY ZKOUMÁNÍ

První věc, které jste si určitě všimli, je, že pokud mají obě cívky 60 závitů, neprochází primárním obvodem téměř žádný proud. Než budete číst dál, zkuste si sami rozmyslet, čím by to mohlo být.

Pokud jste dopočetli i hodnoty v posledním sloupečku tabulky, možná jste postřehli, že poměry napětí na sekundární a primární cívce odpovídají poměru počtu závitů na obou cívkách, konkrétně poměru počtu závitů na sekundární cívce ku počtu závitů na primární cívce. To je obecný zákon, který platí pro transformátor ve stavu naprázdno, tedy pro transformátor s „nekonečným“ odporem v obvodu sekundární cívky.

#### Pro transformátor ve stavu naprázdno platí:

**Poměr napětí na sekundární cívce a napětí na primární cívce je roven poměru počtu závitů sekundární cívky a počtu závitů primární cívky.**

Ověřte si u vámi naměřených hodnot, že tento vztah platí.

Je možné, že pro vaše cívky vám poměr nevyšel přesně. Je to způsobeno hlavně tím, že ne všechny indukční čáry „vyrobené“ primární cívkou procházejí i cívkou sekundární.

### TROCHA „NÁZVOSLOVÍ“ PRO POKROČILÉ

Poměru počtu závitů sekundární cívky ku počtu závitů primární cívky říkáme transformační poměr a často ho značíme písmenem  $k$ .

Je-li  $k > 1$  (tedy pokud sekundární cívka má víc závitů než primární), mluvíme o transformaci nahoru, naopak, pokud je  $k < 1$ , mluvíme o transformaci dolů.



## DALŠÍ NÁMĚTY

- Mohl by být k něčemu dobrý transformátor, jehož transformační poměr by byl roven jedné? Pokud ano, zkuste najít konkrétní příklady použití.
- Jaký poměr počtu závitů cívek by měl mít například transformátor v rozvodně v Litvínově, který transformuje napětí ze 110 kV na 22 kV?

## CO JE TO VLASTNĚ ZÁVIT CÍVKY?

Stále mluvíme o „závitech cívky“, ale uvědomili jste si, co vlastně závit je?

## CO BUDEME POTŘEBOVAT

- cívku 60 závitů
- vodiče
- voltmetr
- lístkové jádro U, I
- zdroj střídavého napětí 12 V
- upínací zařízení

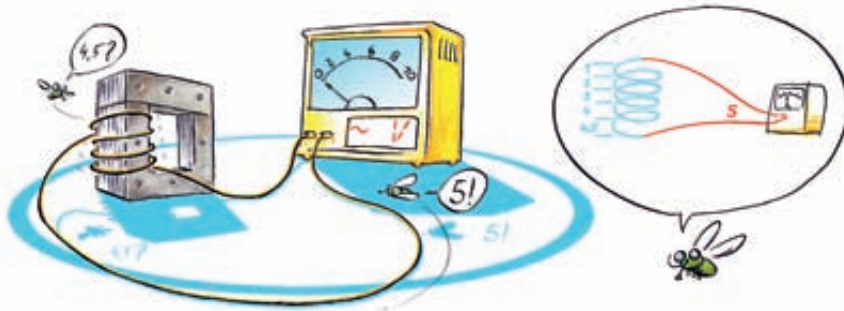
## JAK NA TO?

Představte si, že potřebujete transformovat napětí 12 V na napětí 0,9 V. Na primární straně máte cívku se 60 závitů. Kolik závitů by měla mít cívka na sekundární straně? Než budete číst dál, sami si na otázku pomoci výpočtu odpovězte.

Naviňte příslušný počet závitů sekundární cívky přímo na jádro U, magnetický obvod uzavřete jádrem I. Primární cívku připojte ke zdroji 12 V k sekundární cívce připojte voltmetr. Jak velké napětí naměříte?

## VÝSLEDKY ZKOUMÁNÍ

Pokud jste dobře počítali, víte, že sekundární cívka by měla mít 4,5 závitů. Otázka je, co s tou polovinou závitů. Možná i vaše první myšlenka byla, obtočit vodičem jádro „jen z půlky“ (viz obrázek).



Navinuli jste v tom případě opravdu jen polovinu závitů? Bohužel nenavinuli. Oba konce vodiče přece také pokračují a někde se celý obvod (a tedy i závit) uzavře. Co tedy s úvodním problémem, jak transformovat napětí z hodnoty 12V na hodnotu 0,9V? Lze to? Ano, lze, ale jen v případě, že na primární straně použijeme jinou cívku – takovou, abychom na sekundární straně mohli mít celočíselný počet závitů. Zkuste navrhnout vhodné hodnoty počtu závitů obou cívek.

**Poznámka:** Je možné, že jste při navinutí „4,5 závitů“ voltmetrem naměřili opravdu 0,9V. Zkontrolujte si v tom případě, zda váš zdroj dává přesně 12V.

### DALŠÍ NÁMĚTY

- Nemohl by poslední závit fungovat jen jako polovina závitů, pokud by byl hodně velký? Ověřte si tuto myšlenku pokusem.
- Zkuste poslední závit obtočit okolo jádra i jinak než z půlky a ověřit tak, že výsledné sekundární napětí nezávisí na tom, zda má sekundární cívka zdánlivě například „4,2 závitů“ nebo „4,9 závitů“.

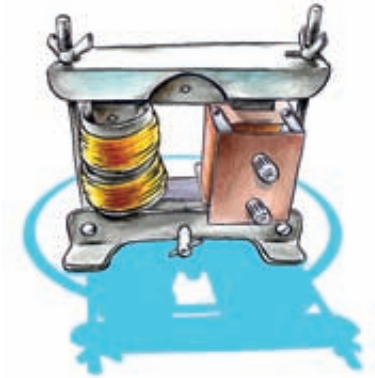
## Z EXTRÉMU DO EXTRÉMU, ANEB ZKRATUJME TRANSFORMÁTOR!

V předchozím pokusu jsme zkoumali, jak se chová transformátor, pokud na sekundární cívku připojíme spotřebič o velmi velkém odporu (v ideálním případě nekonečně velkém). Jak se bude transformátor chovat, pokud naopak bude mít sekundární obvod co nejmenší odpor?

### CO BUDEME POTŘEBOVAT

- vyrobené cívky
- cívku se 300 závitů
- lístkové jádro U a I, případně dvě jádra U
- upínací zařízení
- zdroj střídavého napětí 6V/12V
- vodiče
- ampérmetr
- libovolný hliníkový či měděný kroužek takového průměru, aby ho šlo nasadit na jádro (viz obrázek)





### JAK NA TO

Jako primární cívku použijeme obě vyrobené cívky zapojené do série. Nasadíte je na jednu stranu jádra a spojte vodičem tak, aby vám vznikla jedna „dvojcívka“ se 120 závitů (dodržte stejný smysl vinutí, tj. jako byste cívku vinuli dál). Tu potom připojte přes ampérmetr ke zdroji střídavého napětí. Jako sekundární použijte cívku s 300 závitů. Celou soustavu uzavřete jádrem I a upevněte do upínacího zařízení (viz obrázek).

**Poznámka:** Je možné, že se vám dvě vyrobené cívky nevejdou na jádro U na sebe tak, abyste ho mohli ještě uzavřít jádrem I. V tom případě jádro uzavřete druhým jádrem U a místo upínacího zařízení celou soustavu přidržte rukou.

Zatím je uspořádání velmi podobné uspořádání z předchozího pokusu. Můžete si ověřit, že primárním obvodem protéká velmi malý proud. Na okamžik zkratujte konce sekundární cívky. Co pozorujete na ampérmetru?

Dříve, než si povíme, proč jste na ampérmetru viděli to, co jste tam viděli, zkuste si ještě jeden pokus.

Jeden stačí...

Odpojte primární obvod od zdroje napětí. Místo sekundární cívky s 300 závitů vložte na jádro kovový kroužek. Na krátkou chvíli opět zapněte proud v primárním obvodu. Co cítíte, pokud se dotknete kroužku?



### CO JSTE ZJISTILI?

Pokud zkratujete sekundární cívku, bude primárním obvodem protékat velký proud. Stejně tak, pokud místo sekundární cívky zapojíte jen kovový kroužek – cívku s jedním závitem – a krátce sepnete primární obvod, zjistíte, že se kroužek zahřívá proudem několika desítek ampér, který jím prochází. Na tomto principu pracuje například transformátorová páječka.

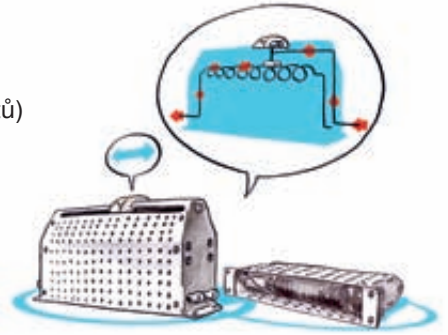
Pokud u transformátoru zkratujeme sekundární cívku, mluvíme o transformátoru nakrátko.

## TRANSFORMAČNÍ POMĚR NARUBY

Pro transformátor ve stavu naprázdno jsme zjistili, že poměr počtu závitů na sekundární a primární cívce je roven poměru napětí na těchto cívkách. Pojdme se nyní podívat, jak je to ve stavu nakrátko.

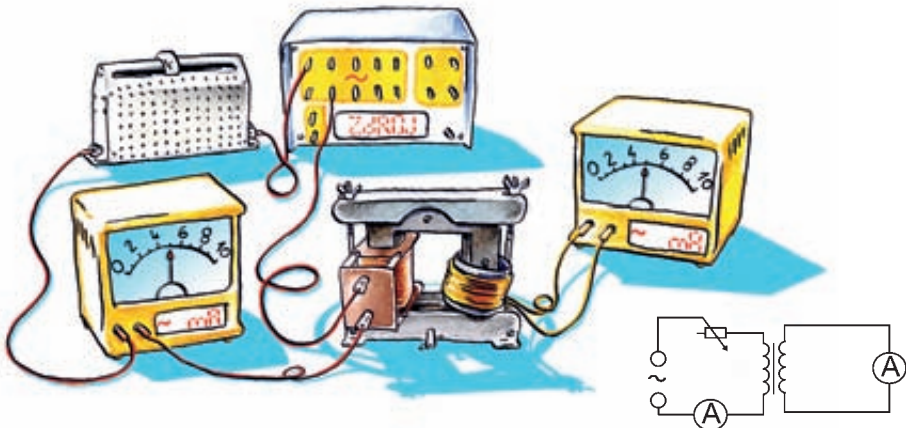
### CO BUDEME POTŘEBOVAT

- dvě vyrobené cívky
- cívky 300 závitů a 600 závitů (lze použít i např. 1200 závitů)
- lístkové jádro U a I
- zdroj střídavého napětí 6V/12V
- dva ampérmetry
- reostat 100  $\Omega$
- vodiče



### JAK NA TO

Tentokrát na sekundární stranu transformátoru nasadíte vaši cívku se 60 závitů, jako primární použijte postupně cívku se 60, 300 a 600 závitů. Pokaždé ji připojte přes ampérmetr a reostat ke zdroji napětí a celý transformátor uzavřete jádrem I. Proud v sekundárním obvodu měřte ampérmetrem připojeným přímo k sekundární cívce (viz obrázek).



K pokusu potřebujeme, aby primárním obvodem protékal „rozumně velký“ proud. K tomu nám poslouží reostat – nastavte ho tak, aby ampérmetr ukazoval proud okolo hodnoty 150 mA.

Do následující tabulky si napište, jaké hodnoty ukazují oba ampérmetry. Zapište si i hodnoty pro další kombinace cívek.

počet závitů primární cívky	počet závitů sekundární cívky	Proud v primárním obvodu (mA)	proud v sekundárním obvodu (mA)	poměr sekundárního a primárního proudu
60	60			
300	60			
600	60			

Opět v posledním sloupci dopočtete poměr primárního a sekundárního proudu. Tipněte si, jakému poměru by se čísla v posledním sloupci mohla rovnat?

## VÝSLEDKY ZKOUMÁNÍ

Stejně jako v případě transformátoru naprázdno, i tentokrát můžeme najít mezi počty závitů cívek a změřenými proudy odpovídající si poměry.

**Jsou-li konce sekundární cívky zkratovány (spojeny vodičem o zanedbatelném odporu) platí:**

**Poměr proudu v sekundárním obvodu a proudu v primárním obvodu je roven poměru počtu závitů primární cívky a počtu závitů sekundární cívky.**

Ve vašem pokusu vám nejspíš rovnost nevyšla moc přesně. Je to tím, že na rozdíl od transformátoru naprázdno, kde odpor cívky příliš nevadí, má tentokrát celkový odpor sekundárního obvodu poměrně velký vliv. Projeví se tak odpor cívky i odpor ampérmetru a spojovacích vodičů. Vztah proto pro reálné cívky platí jen přibližně.

## DALŠÍ NÁMĚTY

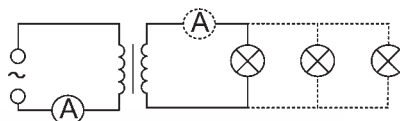
- Zkuste si změřit, jak velký vliv má ve vašem případě odpor sekundárního obvodu. Zapojte stejný obvod jako v předchozím případě, na obě strany transformátoru zapojte cívky se 60 závitů. Reostatem měňte proud v primárním obvodu a odečítejte hodnoty na obou ampérmetrech. Vzhledem k tomu, že obě cívky mají stejný počet závitů, měl by poměr proudů na sekundární a primární cívce být roven jedné. Jaký poměr vychází ve vašem pokusu?
- Jak to udělat, abychom mohli změřit napětí na sekundární cívce? Zamyslete se nad tím, jak a kam připojit voltmetr, aby transformátor zůstal ve stavu nakrátko. Jaké napětí by v tomto případě voltmetr ukazoval?

## CHYTRÁ CÍVKA

V předcházejících pokusech jsme zkoumali, jak se chová transformátor v extrémních případech: je-li k sekundární cívice připojen velký odpor (transformátor naprázdno) nebo naopak malý odpor (transformátor nakrátko). Pojdme se nyní podívat, jak se chová transformátor mezi těmito mezními případy.

### CO BUDEME POTŘEBOVAT

- dvě vyrobené cívky
- lístkové jádro U a I
- upínací zařízení
- zdroj střídavého napětí 6 V/12 V
- vodiče
- několik stejných žárovek 6 V nebo 12 V
- jeden nebo dva ampérmetry



### JAK NA TO

Obě vlastní cívky nasadte na jádro U, uzavřete ho a transformátor upevněte do upínacího zařízení. Primární stranu opět připojte přes ampérmetr ke zdroji napětí. K sekundární cívice připojujte postupně jednu, dvě, tři ... žárovky paralelně a sledujte výchylku ampérmetru. Máte-li další ampérmetr, můžete jej vložit na sekundární stranu do hlavní větve (viz obrázek) a sledovat výchylku také na něm.

### VÝSLEDKY POZOROVÁNÍ

Co se stane, pokud přidáváme žárovky paralelně na sekundární cívku? Jistě si vzpomenete, že při paralelním zapojení je proud v hlavní větvi součtem proudů v jednotlivých větvích. Můžete si na ampérmetru v sekundární větvi ověřit, že pokud přidáváme paralelně žárovky, procházející proud roste.

Stejně tak s přidáváním dalších žárovek roste i proud v primárním obvodu. Lze tedy říct, že proud v primárním obvodu se zvětšuje se zvětšováním proudu odebíraného ze sekundární cívky. Primární cívka proto „musí vědět“, jaký proud odebíráme ze sekundární.

**Jak primární cívka pozná, jaký proud odebírá sekundární?**  
Zkusme se jí zeptat.

### CO BUDEME POTŘEBOVAT

- dvě vyrobené cívky
- lístkové jádro U a I, případně dvě lístková jádra U
- cívka 60 závitů
- zdroj střídavého napětí
- dva ampérmetry
- voltmetr
- vodiče
- reostat  $100\ \Omega$

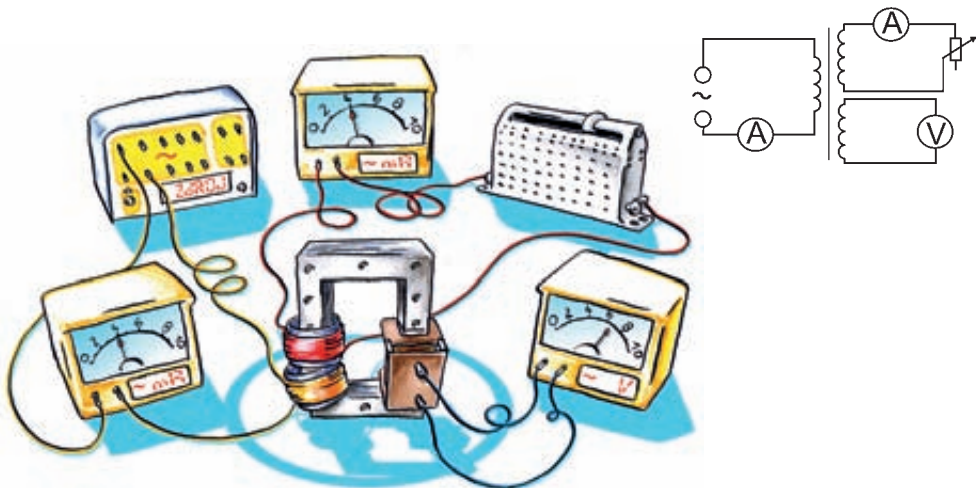
### JAK NA TO

Jako primární i sekundární cívku transformátoru použijte vyrobené cívky. Kromě nich na jádro nasad'te ještě jednu, „sondovací“ cívku (viz obrázek). Ta nám pomůže zjistit, co se v transformátoru děje při zapnutém zdroji.

**Poznámka:** Pokud se vám dvě vyrobené cívky nevejdou nad sebe na jádro tak, abyste ho mohli ještě uzavřít jádrem I, uzavřete ho jádrem U podobně jako v pokusu „Z extrému do extrému aneb zkratujeme transformátor“.

Primární cívku připojte opět přes ampérmetr na zdroj střídavého napětí, na sekundární cívku připojte reostat a ampérmetr. K „sondovací“ cívce zapojte voltmetr.

Zmenšujte odpor reostatu a sledujte výchylku ampérmetrů a voltmetru. Co vidíte?



## VÝSLEDKY POZOROVÁNÍ

Nejspíše jste si všimli, že pokud měníte odpor reostatu, mění se jednak proud v sekundárním obvodu, ale také proud v primárním obvodu. Ověřili jsme tak ještě jednou závěry z předchozího pokusu.

Napětí „sondovací cívky“ zůstává konstantní. Než budete číst dál, zkuste sami s pomocí těchto informací odpovědět na otázku v záhlaví – Jak primární cívka pozná, jaký proud odebírá sekundární?

Pojďme si rozebrat, co se v obvodu děje. Jestliže zmenšíme odpor reostatu, naroste proud v sekundární cívce. Podobně jako proud v primární cívce, i tento proud ovlivňuje celkový magnetický tok jádrem transformátoru. Změřené napětí na sondovací cívce však zůstává konstantní, nemění se tedy ani celkový magnetický tok. Jeho ovlivnění sekundární cívkou musí být proto vyrovnáno zvýšeným tokem od primární cívky, tedy i zvýšením proudu primární cívkou.

## MALÁ ŽÁROVKA A VELKÉ NAPĚTÍ. A PŘESTO VYDRŽÍ!

Už víte o transformátoru hodně. Zkuste si teď své znalosti ověřit v praxi. Kolik závitů musí mít cívky transformátoru, aby se malá žárovka plně rozsvítila ze zdroje o napětí 6V respektive 12V?

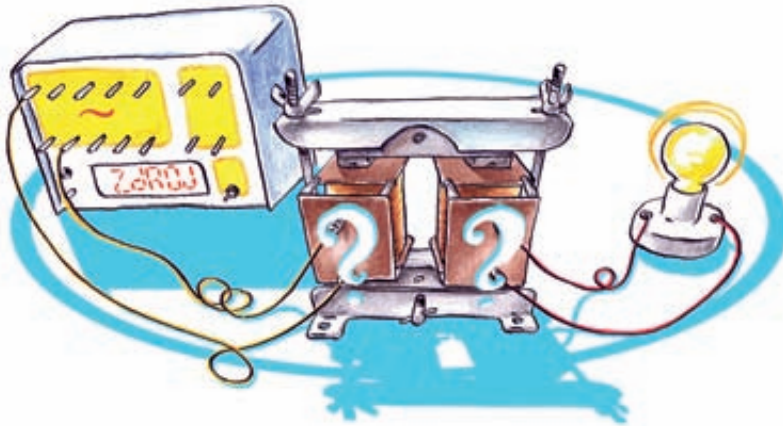
### CO BUDEME POTŘEBOVAT

- několik různých cívek
- vodiče
- zdroj střídavého napětí 6V / 12V
- lístková jádro U a I
- upínací zařízení
- libovolná malá žárovka (např. 3,5V / 0,2A či 2,4V / 0,5A)

### JAK NA TO

Nejdřív si spočtete, jaký musí být poměr závitů obou cívek, aby se žárovka nespálila a přitom svítila. Zkuste s těmito cívkami zapojit obvod a vaši žárovku rozsvítit. Udělejte si s kamarády soutěž, kdo rozsvítí žárovku dřív!





### VÝSLEDKY ZKOUMÁNÍ

Pokud použijete zdroj 12 V a žárovku 2,4 V, je transformační poměr 0,2, na transformátor proto můžete použít například cívky 300 závitů a 60 závitů. Pokud použijete zdroj 12 V a žárovku 3,5 V, vyjde vám transformační poměr 0,3. Transformátor proto můžete vyrobit například z cívek 1200 závitů a 300 závitů. Přestože poměr nebude splněn přesně, žárovka bude svítit. Použijete-li zdroj 6 V a žárovku 3,5 V, bude žárovka svítit například pro transformátor s cívkami 600 závitů a 300 závitů.

## NĚCO O JÁDŘE (ALE NE TOM ZEMSKÉM)

Dosud jsme ve všech pokusech používali tzv. uzavřené lístkové jádro. Vzpomínáte si ještě na pokus, kde jsme zkoumali, na čem všem závisí „síla“ elektromagnetu? V jeho vysvětlení jsme dospěli k tomu, že většina indukčních čar jde právě jádrem a proto transformátor s jádrem je mnohem účinnější než transformátor bez jádra. Proč ale používáme jádro složené z mnoha tenkých plíšků? Nestačilo by takzvané plné jádro (viz kapitola „Než začneme...“)?

### CO BUDEME POTŘEBOVAT

- dvě vyrobené cívky
- lístkové jádro U a I
- plné jádro U a I (nebo dvě plná jádra U)
- žárovka 6 V nebo 12 V
- zdroj střídavého napětí 6 V / 12 V
- ampérmetr
- vodiče

## JAK NA TO

Nasad'te obě vámi vyrobené cívky na lístkové jádro a uzavřete ho tak, jak jste byli dosud zvyklí. Primární cívku připojte přes ampérmetr ke zdroji střídavého napětí, na sekundární připojte žárovku 6 V (resp. 12 V).

Zapamatujte si výchylku ampérmetru a jas žárovky a poté vyměňte lístkové jádro I za plné (pokud nemáte plné jádro I, použijte místo něj plné jádro U). Změnil se jas žárovky a výchylka ampérmetru?

Zkuste vyměnit i lístkové jádro U za plné a pozorujte změnu jasu a výchylku. Proveďte stejné pozorování i pro otevřené jádro a pro cívky nasazené jen na jádro I.

## VÝSLEDKY ZKOUMÁNÍ

Pokud místo lístkového jádra použijete plné, jas žárovky se výrazně zmenší nebo dokonce žárovka přestane svítit úplně. Proto můžeme říct, že pokud použijeme plné jádro, jsou v transformátoru výrazně větší ztráty, než pokud použijeme jádro lístkové. Pokud už jste listovali brožurkou Hrátky s magnetismem, dost možná umíte sami zodpovědět otázku, co v transformátoru tyto ztráty způsobuje.

Pokud odpověď ještě neznáte, vzpomeňte si, že ve vodiči, který je v magnetickém poli, se indukuje napětí a jestliže je tento vodič uzavřený, začne jím protékat proud. V případě, že je vodič dostatečně tlustý (a na plné jádro se v tuto chvíli můžeme dívat jako na hodně tlustý vodič), začne se obvod „uzavírat“ i přímo ve vodiči. Proud, který potom ve vodiči vzniká působením magnetického pole, netečou jedním směrem, jak bychom očekávali, ale v uzavřených smyčkách. Proto tyto proudy označujeme jako vířivé. Více o vířivých proudech a jejich působení se můžete dozvědět v brožurce Hrátky s magnetismem.

# K ČEMU JE TO DOBRÉ? (NĚKOLIK VYUŽITÍ V PRAXI)

Teď, když už víte, jak transformátor funguje a co zajímavého se mezi cívkami děje, pojďme se podívat, kde všude okolo nás ho můžeme najít. Než budete číst dál, rozhlédněte se doma a spočítejte, kolik transformátorů najdete ve vaší domácnosti.

## TRANSFORMÁTOR V DENNÍM POUŽITÍ

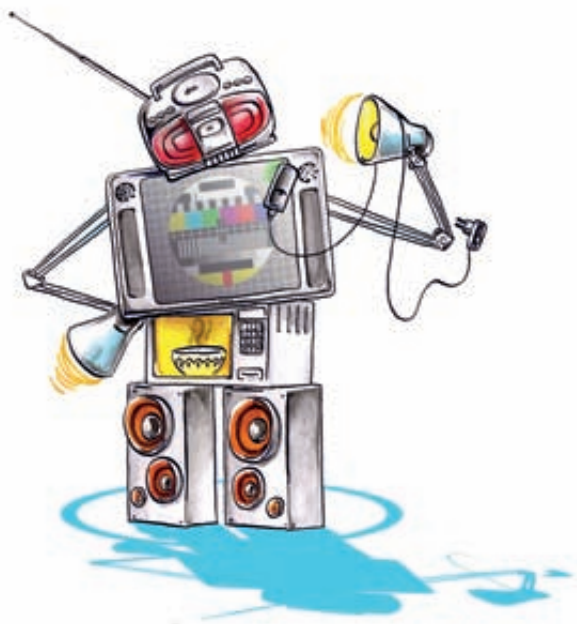
Kolik transformátorů jste napočítali? Ve většině domácností jich je více než 10, napočítat byste jich měli alespoň šest.

Asi nejčastěji se setkáte s transformátorem v podobě černé krabičky na konci či uprostřed síťového kabelu. Tyto transformátory transformují síťové napětí na napětí nižší. Například transformátor v nabíječce na mobilní telefon transformuje napětí na jednotky voltů podle typu telefonu, síťový adaptér notebooku přibližně na 20V a transformátor ve stolní lampičce na 12V. Další transformátory, které transformují na nižší napětí než je síťové, můžete najít například v nabíječce baterií, rádiu, reproduktorech k počítači apod.

Přemýšleli jste někdy, jak je udělaný zdroj napětí radiomagnetofonu, který dovoluje použít napájení ze sítě i bateriemi? Ano, i v něm je schovaný transformátor.

V některých zařízeních naopak potřebujeme mnohem vyšší napětí než je 230V. Transformátor je proto i v mikrovlnné troubě či televizi.

Ale nejen v domácnosti se s transformátorem setkáváme...

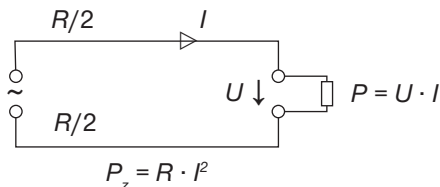


## PŘENOSOVÁ SOUSTAVA

Tak nazýváme soustavu zařízení sloužící k přenosu elektřiny od elektráren ke spotřebitelům. Transformátory jsou, kromě drátů elektrického vedení, její hlavní součástí. Přemýšleli jste někdy nad otázkou, proč vůbec potřebujeme transformovat napětí u elektrárny nahoru na vyšší napětí a u spotřebitele zase naopak dolů? Běžná odpověď zní, že se transformace provádí kvůli menším ztrátám. Čeho? Zkuste si rozmyslet, co všechno se může na oněch „ztrátách“ (ať už se jimi myslí cokoliv) podílet. Jako malá nápověda vám může posloužit informace, že „ztráty“ znamenají, že se k nám dostane méně výkonu (méně elektrické energie), než v elektrárně vyrobili.

Hlavní věcí, která má vliv na ztráty výkonu na vedení, je samotný odpor drátů, kterými se elektřina vede. Tento ztrátový výkon je závislý kromě odporu drátů také na druhé mocnině proudu, který vedením teče. Tedy, chceme-li zmenšit výkon, který se na vedení ztratí, měli bychom kromě odporu drátů snížit i proud ve vedení.

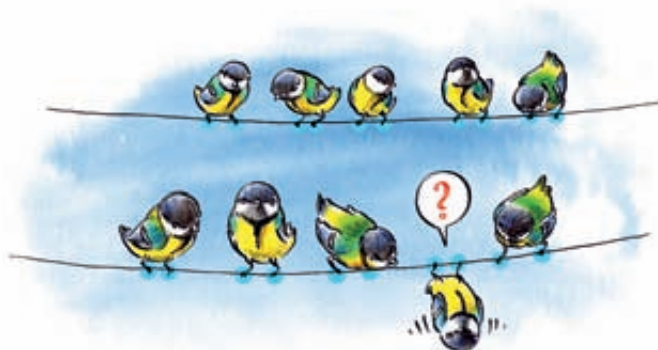
Odpor vedení  $R$  je závislý na délce vedení, na tloušťce drátů a na materiálu, ze kterého jsou dráty vyrobeny. Ani jeden z těchto parametrů nejde příliš zlepšit aniž by se výrazně zvýšila cena celé soustavy. Výkon  $P$  přenášený vedením je roven součinu napětí  $U$ , které je na konci vedení, a proudu  $I$ , který tímto vedením teče. Pokud potřebujeme do konkrétního místa dodat daný výkon a učiníme to například při napětí 400 kV (což je napětí, pod kterým se u nás elektřina přenáší na velké vzdálenosti) budeme potřebovat mnohem menší proud než při napětí 230 V (což je napětí, které máte doma v zásuvce).



Proto, pokud chceme ušetřit (zmenšit ztrátový výkon  $P_z$ ), je velmi výhodné napětí transformovat nahoru a co největší vzdálenost od elektrárny ke spotřebitelům vést při velmi vysokém napětí (a tedy malém proudu). V České republice se na vedení elektřiny na velké vzdálenosti používá napětí 400 kV, na kratší potom napětí 220 kV a 110 kV. Tato napětí se potom u spotřebitelů postupně transformují na síťové napětí 230 V.

### DALŠÍ NÁMĚTY

- Představte si dvou vodičové vedení délky 100 km, kterým přenášíme výkon 22 MW při napětí 110 kV. Zkuste vypočítat, kolikrát větší by byl ztrátový výkon na stejném vedení, pokud bychom chtěli elektřinu přenášet při napětí 230 V. Jak velký by byl ztrátový výkon v obou případech?
- Najděte v tabulkách materiál, který má menší odpor na danou délku (tzv. měrný odpor) než měď, ze které je vedení nyní. Proč myslíte, že se tohoto materiálu v praxi nevyužívá?



Pojďme se podívat ještě na jeden problém, který s vedením elektřiny velmi úzce souvisí.

Možná vás již někdy napadla otázka, jak je možné, že ptáci mohou sedět na vedení, aniž by se jim něco stalo. Představte si například sýkorku sedící na drátě. V tom případě se drátu dotýká jen ve dvou blízkých místech. Na sýkorku se proto můžeme zjednodušeně dívat jako na rezistor zapojený paralelně k vodiči.

Vzhledem k tomu, že odpor sýkorky je o mnoho řádů větší než odpor vodiče mezi jejíma nohama, bude proud, který sýkorkou prochází, jen zlomkem proudu ve vodiči před a za sýkorkou, proto se sýkorce nic nestane. Jiný případ by samozřejmě nastal, pokud by si sedla mezi dva dráty (což ale vzhledem k vzdálenosti drátů není příliš běžné) nebo mezi drát a uzemněný sloup. Možná jste si všimli, že některé sloupy mají „hroty“ nebo natolik šikmou konstrukci, aby na ně ptáci nemohli usednout. Tyto sloupy ročně zachrání životy mnoha tisíc ptáků.



## TOKAMAK – TRANSFORMÁTOR A JADERNÁ FÚZE

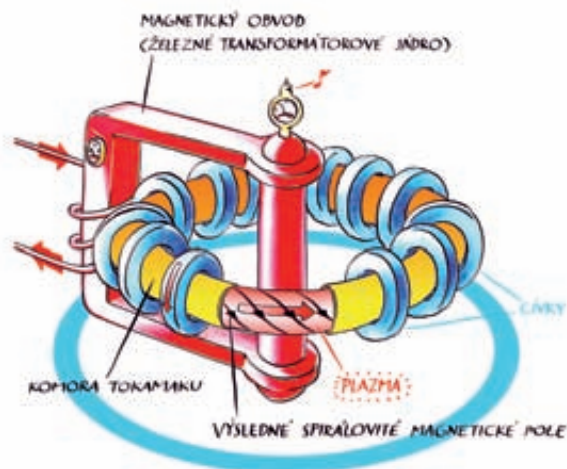
Tokamak (z ruského **то**roidальная **ка**мера в **ма**гнитных **кату**шках – toroidní komora v magnetických cívkách) je zařízení, které slučuje jádra vodíku na jádra helia za současného uvolnění velkého množství energie. Tomuto procesu se říká (termo) jaderná fúze. Předpokládá se, že v budoucnosti by fúze mohla vyřešit energetickou krizi na Zemi.

Myšlenka jaderné fúze není originální – lidé ji vlastně „okopírovali“ od Slunce. Aby se jádra mohla sloučit, je zapotřebí vysoké teploty. Vzhledem k obrovským rozměrům stačí ve Slunci k pozvolnému jadernému slučování teplota okolo 10 milionů stupňů Celsia. Na Zemi však potřebujeme postavit elektrárnu co možná nejmenších rozměrů a s co největším výkonem, proto ke spuštění fúzní elektrárny budeme potřebovat dosáhnout teploty přes 100 milionů stupňů Celsia. Zní to neuvěřitelně? Přesto je v současné době na Zemi postaveno již několik desítek reaktorů (zatím pouze experimentálních), ve kterých lze tak vysoké teploty dosáhnout a kde vědci jadernou fúzi zkoumají.

Jak celé zařízení funguje?

Zjednodušeně si můžeme tokamak představit jako transformátor, jehož sekundární vinutí představuje jen jeden závit. Možná si vzpomínáte na pokus, ve kterém jsme zjistili, že pokud transformátor zapojíme do obvodu, protéká vodičem na sekundární straně proud a tento vodič se zahřívá. V tokamaku je „závit“ tvořen zředěným plynem, skládajícím se převážně z izotopů vodíku, který je uzavřen v komoře prstencovitého tvaru. Dutý prstencový tvar se též nazývá torus. I u tokamaku platí, že pokud zapojíme primární cívku do obvodu, začne sekundárním vinutím procházet proud a plyn se ohřívá. Při vysokých teplotách se z plynu stává „plazma“, ve kterém jsou zcela odděleny elektrony od jader. Plazma je výborný vodič a může jím procházet obrovský proud (řádově desítky milionů ampér), díky kterému se plazma jednak dále ohřívá a jednak se okolo něj tvoří magnetické pole, které ho spolu s polem od „vnějších“ cívek pomáhá udržet uvnitř prstencové komory.

Nastínili jsme si jen základní princip. Ve skutečnosti je celé zařízení ještě „o něco málo“ složitější. Budete-li mít zájem se o tokamaku dozvědět víc, nahlédněte do kapitoly Literatura, ve které naleznete některé další zdroje.



# ŘEŠENÍ OTÁZEK Z TEXTU

## Kapitola **Co nejsilnější elektromagnet**

- S elektromagnetem se nejčastěji můžete setkat všude tam, kde je vhodné, aby se magnetické pole dalo vypnout a zapnout. Používají ho proto na šrotišti při manipulaci s vraky automobilů, ale i například při výrobě elektřiny v elektrárně.
- Kromě toho, že ho lze vypnout a zapnout, patří mezi další výhody možnost regulovat jeho sílu. Nevýhodou je například nutnost vnějšího napájení.
- Při našem pokusu nejlépe vychází cívka se 600 závitů. Má oproti cívce 300 závitů dvojnásobek závitů, ale stále je navinuta z poměrně silného drátu.

## Kapitola **Vyrábíme proud**

- Mezi parametry ovlivňující velikost indukovaného napětí patří: rychlost, jakou hýbete magnetem, směr, kterým jím pohybuje, počet a velikost smyček cívky, velikost magnetického pole magnetu.

## Kapitola **Transformátor naprázdno...**

- Ano, mohl. Hodí se například tam, kde nepotřebujeme měnit velikost napětí, ale potřebujeme galvanicky oddělit spotřebič od sítě.
- Poměr primárního a sekundárního napětí v transformátoru je 0,2, stejný poměr by měl mít i počet závitů cívek. Například cívky transformátorů 110 kV / 22 kV, které se běžně používají při dálkovém přenosu elektřiny, mají 765 a 160 či 612 a 128 závitů.

**Poznámka:** U takto velkých transformátorů je celá problematika trochu složitější, jistě jste si například všimli, že poměr 0,2 není dodržen zcela přesně. Nám však bude stačit vědět, že jednou z hlavních příčin této nepřesnosti jsou ztráty v jádře a ztráty způsobené ohmickým odporem drátů.

## Kapitola **Co je to vlastně závit cívky?**

- Pátý závit by jako polovina nefungoval bez ohledu na jeho velikost. Vzhledem k tomu, že většina indukčních čar jde jádrem a ne vzduchem okolo, na velikosti závitu záleží jen velmi málo.

## Kapitola **Transformační poměr naruby**

- V našem pokusu vyšel poměr přibližně 0,8. Toto číslo se ale může dost lišit kvůli různým tloušťkám vodiče, z kterých jsou cívky vinuty.

- O transformátoru nakrátko mluvíme jen v případě, že je sekundární cívka zkratovaná. Voltmetr má velký vnitřní odpor, proto, pokud bychom ho připojili k sekundární cívce přímo, už bychom nemohli mluvit o transformátoru nakrátko. Z tohoto důvodu máme jen jeden způsob, jak změřit napětí na sekundární cívce – připojit voltmetr paralelně k části vodiče (viz obrázek). Měříme tak vlastně napětí na části závitů cívky. Ovšem v tomto případě nebude voltmetr ukazovat žádnou výchylku...



#### Kapitola Přenosová soustava

- Z textu víme, že ztrátový výkon je součin odporu vodičů a druhé mocniny proudu. Současně je přenášený výkon roven součinu napětí na konci vedení a proudu. Proto můžeme ztrátový výkon vyjádřit jako součin odporu vedení, druhé mocniny přenášeného výkonu a převrácené hodnoty druhé mocniny napětí vedení. Odpor vedení i přenášený výkon zůstávají konstantní, proto je hledaný poměr ztrátových výkonů roven převrácenému poměru druhých mocnin napětí. Konkrétně: ztrátový výkon by byl na stejném vedení při napětí 230 V přibližně 230 000 krát větší než při napětí 110 kV.

Předpokládejme dráty s průřezem  $1 \text{ cm}^2$ , jejich celkový odpor je potom na vzdálenosti 100 km téměř zanedbatelný (můžete si spočítat, že vychází řádově několik málo desítek ohmů). Pokud dosadíme všechny hodnoty, zjistíme, že při napětí 110 kV ztratíme asi 1,4 MW (tedy přibližně 6,5% přenášeného výkonu), při napětí 230 V (na konci vedení) by to už bylo řádově 320 000 MW (tedy mnohonásobně více, než je přenášený výkon). Určitě uznáte, že kvůli takovémuto ušetření se vyplatí budovat transformační stanice.

**Poznámka:** Náš odhad není zcela přesný, protože pokud vedeme elektrinu při vysokém napětí, ztratí se nějaký výkon také na transformátorech. Přesto jsou celkové ztráty mnohonásobně nižší, než kdybychom elektrinu vedli při nízkém napětí.

- Menší měrný odpor než měď, ze které je vedení nyní, má například stříbro. Ovšem vzhledem k ceně stříbra by se takové vedení neuvěřitelně prodražilo...



# LITERATURA

Pokud se chcete o transformátoru dozvědět víc, můžete kromě svých učebnic sáhnout například po následujících knihách a internetových odkazech:

- Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.: Fyzika. VUTIUM, Brno, 2000 – učebnice fyziky na přibližně středoškolské úrovni, s mnoha obrázky a praktickými příklady
- Malina, V.: Poznáváme elektroniku II.. KOPR, České Budějovice, 2002 – praktická konstrukce transformátoru
- McCracken G., Stott P.: Fúze – energie vesmíru, Mladá fronta, 2006
- [www.ipp.cas.cz/Tokamak/](http://www.ipp.cas.cz/Tokamak/) – oddělení tokamaku Ústavu fyziky plazmatu Akademie věd ČR, v.v.i.
- [www.iter.org](http://www.iter.org) – projekt ITER – mezinárodní tokamak, ve výstavbě v jižní Francii
- [www.jet.efda.org](http://www.jet.efda.org) – v současnosti největší tokamak

