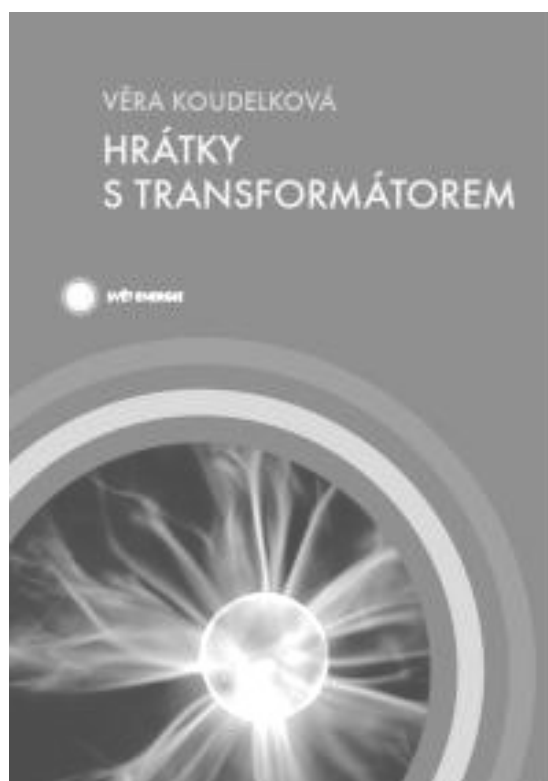


Pokusy s transformátorem

Věra Koudelková, KDF MFF UK, Praha



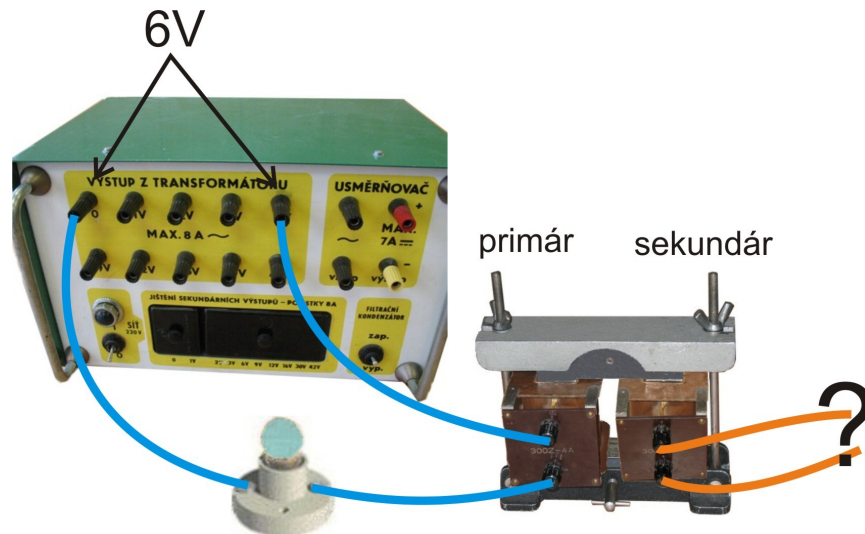
Pracovní materiál pro setkání KSE, Plzeň, 14. května 2009

1. Transformátor naprázdno

O transformátoru naprázdno se mluví tehdy, pokud sekundární cívka není zatížena žádným spotřebičem.

a) Zapojte transformátor s transformačním poměrem 1 – obě cívky se stejným počtem závitů. Primární cívku připojte na napětí 6 V. Na sekundární cívku připojte žárovku a rozsviňte ji.

b) Potom nechte sekundární stranu rozpojenou a nezatíženou, na primární stranu připojte sériově žárovku (viz schéma). Jak je možné, že žárovka nesvítí? Donuťte ji svítit! (Způsobů existuje několik.)



Jakým způsobem jste žárovku donutili, aby se rozsvítila?

.....

2. Závitů cívky

Středoškolský vzoreček pro transformační poměr transformátoru určitě znáte. Zkuste vypočítat, kolik závitů musí mít sekundární cívka, pokud má primární cívka 60 závitů, primární napětí je 6 V a chceme získat sekundární napětí 450 mV.

Místo pro výpočet:

$$U_1 = \dots\dots\dots$$

$$U_2 = \dots\dots\dots$$

$$N_1 = \dots\dots\dots$$

$$N_2 : N_1 = U_2 : U_1, \text{ proto } N_2 = \dots\dots\dots$$

Po vypočtení naviňte z vodiče potřebný počet závitů a obvod zapojte. Ověřte si svůj výsledek. Získali jste správné napětí?

Poznámka: Měli byste naměřit opravdu hodnotu 450 mV, ne pouze přibližně (tedy ne například 410 mV nebo 490 mV).

Naměřené napětí na sekundární cívce: $U_2 = \dots\dots\dots$

Zkuste navrhnout způsob, jak to udělat, aby opravdu šlo transformovat 6 V na 0,45 V pomocí primární cívky 60 závitů.

Jaké způsoby transformace 6 V na 450 mV jste vyzkoušeli?

.....

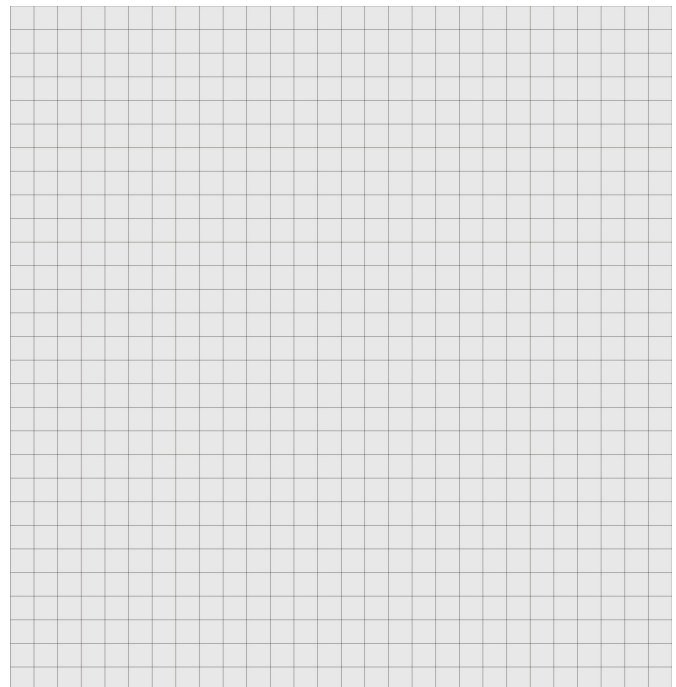
3. Indukované napětí

Zkuste odvodit výše použitý vzoreček pro transformační poměr.

Jako primární cívku použijte cívku se 600 nebo 300 závitů, vhodné primární napětí je 6 V. Na sekundární stranu transformátoru navíňte jeden závit, k němu připojte voltmetr. Transformátor uzavřete jádrem.

Postupně přidávejte závity na sekundární stranu, získaná indukovaná napětí vynášejte do grafu $U_2(N_2)$.

Dokážete z grafu odvodit vztah pro transformační poměr transformátoru?



Místo pro vaše poznámky:

4. Transformační poměr naruby

V učebnicích pro střední školy se často uvádí i vztah pro transformaci proudů. Cílem následujícího experimentu je tento vztah ověřit.

a) Zapojte postupně transformátor se sekundárem nakrátko (tedy do zkratu) pro několik kombinací primární a sekundární cívky. Pro každou kombinaci změřte primární a sekundární proud a ověřte vztah pro transformaci proudů.

Zkuste vymyslet, proč se poměr proudů nerovná přesně převrácenému poměru počtu závitů.

Poznámka: Sekundární vinutí je zkratováno přes ampérmetr, proud je pro některé kombinace cívek poměrně velký. Je proto třeba dbát na bezpečnost a použít největší rozsah ampérmetru.

Počet závitů primární cívky	Počet závitů sekundární cívky	Poměr N_2/N_1	Proud v primárním obvodu	Proud v sekundárním obvodu	Poměr I_1/I_2
300	600	2			
300	60	0,2			
600	300	0,5			

b) Zopakujte stejný experiment pro „normálně“ zatížený transformátor – na sekundární vinutí transformátoru zapojte sériově k ampérmetru žárovku.

Počet závitů primární cívky	Počet závitů sekundární cívky	Poměr N_2/N_1	Proud v primárním obvodu	Proud v sekundárním obvodu	Poměr I_1/I_2
300	600	2			
300	60	0,2			
600	300	0,5			

Jak přesně vám vyšel vztah pro transformaci proudů? Rozmyslete si, proč nevyšel příliš přesně.

Místo pro vaše poznámky:

5. Chytrá cívka

Jako primární i sekundární použijte dvě cívky s 300 závitů. Na primární stranu transformátoru připojte sériově žárovku, druhou žárovku připojte na sekundární stranu. Sledujte jas obou žárovek. Jak se jas změní, pokud na sekundární stranu připojíte paralelně další žárovku?

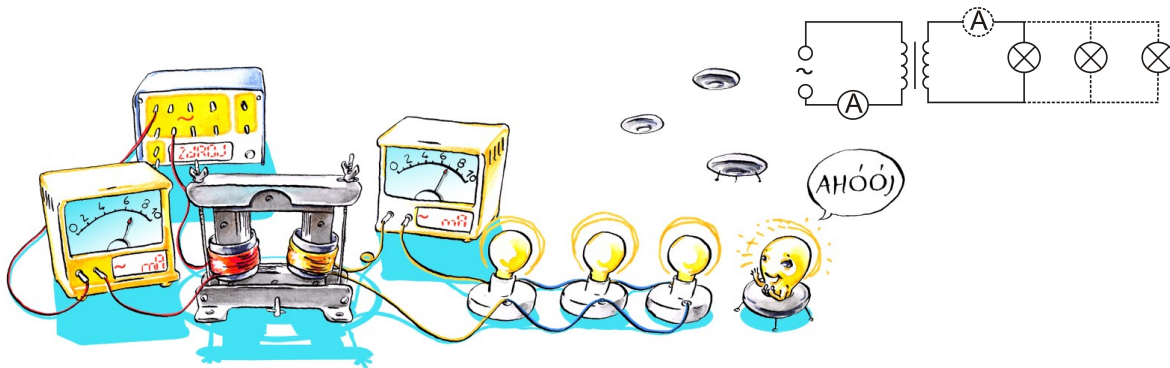
Případně můžete na primární straně místo žárovky použít ampérmetr a sledovat jeho výchylku při přidávání dalších žárovek na sekundární straně.

Zapište si, co jste pozorovali:

Při zapojování dalších žárovek paralelně na sekundární stranu:

Jas každé žárovky v sekundáru klesal / rostl.

Jas primární žárovky klesal / rostl.



Komentář:

Jas primární žárovky indikuje proud, který jí teče. Pokud na sekundární stranu transformátoru přidáváte paralelně další žárovky, měli byste pozorovat, že jas primární žárovky roste a naopak, jas sekundárních žárovek klesá. Tedy, proud každou sekundární žárovkou klesá (ale celkový proud odebíraný sekundární stranou roste) a proud primárním obvodem roste.

Jak je možné, že primární cívka „pozná“ jaký proud odebírá sekundární? Rozmyslete si, co se v transformátoru děje, pokud zvětšíme proud odebíraný sekundární cívkou.

Co se v transformátoru děje, pokud zvětšíme proud odebíraný sekundární cívkou?

.....

.....

.....

6. Jádru transformátoru aneb kudy teče magnetický tok?

Cílem několika následujících experimentů je ukázat, k čemu je v transformátoru jádro. Jako primární použijte cívku 300 závitů připojenou ke zdroji. Místo sekundární cívky použijte jeden závit připojený k voltmetru. Tento závit poslouží jako „detektor“ přítomnosti magnetického toku.

a) Nejdříve nechte cívku bez jádra a pomocí závitu vyzkoušejte, jak daleko od cívky lze ještě naindukovat nějaké napětí. Jak závisí velikost indukovaného napětí na natočení závitu v různých místech? Zavisí velikost indukovaného napětí na velikosti detekčního závitu?

Pokud je cívka **bez jádra**, na čem závisí velikost indukovaného napětí?

Na vzdálenosti závitu od cívky

Na náklonu závitu

Na velikosti závitu

Pro jakou polohu detekčního závitu se povedlo naindukovat největší napětí?

.....

b) Proveďte stejné experimenty s cívkou nasazenou na I jádře. Kde se dá naindukovat největší napětí?

Na čem závisí velikost indukovaného napětí, pokud je primární cívka nasazena na **jádře I**?

Na vzdálenosti závitu od cívky

Na náklonu závitu

Na velikosti závitu

Pro jakou polohu detekčního závitu se povedlo naindukovat největší napětí?

.....

c) A pokud je primární cívka nasazena na **uzavřeném jádře**?

Na vzdálenosti závitu od cívky

Na náklonu závitu

Na velikosti závitu

Pro jakou polohu detekčního závitu se povedlo naindukovat největší napětí?

.....

Komentáře k problémům a otázkám uvedeným u experimentů:

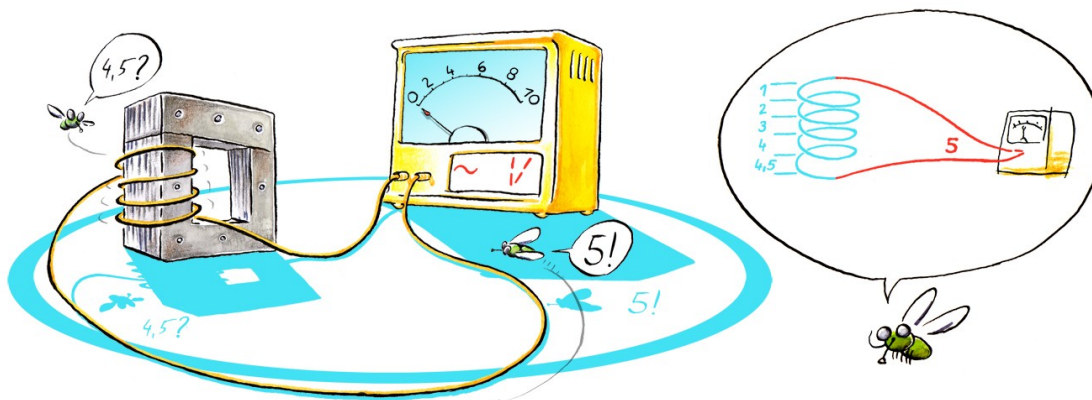
1. Transformátor naprázdno

Pokud je transformátor ve stavu naprázdno, protéká jím jen velmi malý proud (potřebný na magnetizaci jádra transformátoru), který na rozsvícení žárovky nestačí. Aby se žárovka rozsvítila, je třeba transformátor donutit odebírat větší proud. Toho lze dosáhnout několika způsoby (ale samozřejmě lze najít i další, kromě dále uvedených):

- na sekundární stranu připojit další žárovku
- částečně otevřít jádro a zmenšit tak indukčnost primární cívky (a tedy zvětšit odebíraný proud)
- zkratovat sekundární cívku

2. Závity cívky

Po výpočtu vyjde počet závitů sekundární cívky 4,5. Obvyklým řešením problému, jak navinout polovinu závitů, je navinutí vodiče okolo jádra jen z poloviny a ponechání zbytku daleko od jádra (viz obrázek). Toto ovšem není řešením, závit se stejně uzavře přes voltmetr (v případě uzavřeného jádra na velikosti závitů nezáleží). 4,5 závitů navinout nelze.



Stejný experiment lze provádět i například s primárním napětím 12 V a sekundárním 0,9 V. Přesně lze požadovaného napětí dosáhnout několika způsoby, například:

- částečně otevřít jádro a zvětšit tak ztráty v magnetickém obvodu
- využít rozptylu magnetického toku a navinout další závity okolo sekundární části jádra případně i okolo celého transformátoru
- do primárního obvodu zapojit vhodný rezistor

3. Indukované napětí

Po vynesení do grafu vyjde přímá úměrnost. Sklon vynesené přímky závisí na parametrech primárního obvodu – počtu závitů primární cívky a velikosti primárního napětí. Z grafu je vidět, že poměr $U_2 : N_2$ je konstantní a přibližně roven poměru $U_1 : N_1$.

4. Transformační poměr naruby

Při tomto experimentu je transformátor ve stavu nakrátko – sekundární vinutí je zkratováno. Na rozdíl od stavu naprázdno, kdy se ztráty v transformátoru téměř neprojeví, ve stavu nakrátko mají velký vliv. Proto obvykle poměr nevychází příliš přesně (obzvláště se školní soupravou rozkladného transformátoru, kde jsou ztráty v jádře poměrně velké). Pro reálný transformátor lze říct, že vztah pro transformaci proudů platí pro stav nakrátko, ale rozhodně ne pro zatížený transformátor.

Proud v sekundárním obvodu je pro některé kombinace cívek poměrně velký. Proto je třeba dbát na bezpečnost a správný rozsah ampérmetru.

5. Chytrá cívka

Jak primární cívka „pozná“, jak velký proud do ní má téct? Tedy jak „pozná“, jak má reagovat na proud sekundárem?

Do primární cívky teče takový proud, aby se napětí, které se v této cívce indukuje (plus úbytek napětí na odporu vodiče, jímž je cívka vinuta – ten ale budeme v následujících úvahách zanedbávat) právě rovnalo napětí zdroje. (Pozn.: Můžete si představit analogickou situaci, rezistor připojený k baterii. Rezistorem teče právě takový proud, že úbytek napětí na rezistoru se rovná napětí baterie.)

Velikost indukovaného napětí se rovná velikosti změny magnetického indukčního toku, je tedy úměrná velikosti (amplitudy) tohoto toku. Tedy, zadanému napětí zdroje (například našim 6 V) odpovídá určitá *pevná* hodnota amplitudy magnetického indukčního toku. A to bez ohledu na to, jaký proud odebíráme ze sekundáru, případně jaký proud teče primárem.

Teď už je to jednoduché. Odebíráme-li proud ze sekundáru, budí proud tekoucí sekundární cívkou také magnetické pole v jádře. Toto pole ale působí *proti* magnetickému poli buzenému primární cívkou. (Jak nám říká Lenzův zákon, indukovaný proud působí proti změně, která ho vyvolala.) Magnetický tok buzený sekundárem se tedy *odčítá* od magnetického toku, buzeného primárem. A protože celkový magnetický tok musí zůstat *stejný*, musí se magnetický tok buzený primárem *zvýšit*. To znamená, že do primáru musí téci vyšší proud.

6. Jádro transformátoru aneb kudy teče magnetický tok?

V jádře se soustředí většina magnetického toku. Pokud není cívka vůbec nasazena na jádře, většina magnetického pole se rozptýlí, největší napětí lze proto obvykle naindukovat těsně u cívky. Velikost naindukovaného napětí závisí i na náklonu závitu. Pokud zvětšíme závit, obvykle se zvětší naindukované napětí. Rozmyslete si proč a zkuste vymyslet protipříklad, kdy to neplatí. Pokud je cívka nasazena na jádře I, jde většina magnetického toku jádrem a rozptyluje se až za ním. Velikost indukovaného napětí se proto se vzdáleností od cívky mění méně (pokud je závit nasazen na jádře). Stejně tak téměř nezávisí na náklonu závitu.

Jestliže jádro uzavřeme, je rozptyl magnetického toku velmi malý. Na závitu naindukujeme téměř stejné napětí bez ohledu na jeho sklon, velikost a umístění na jádře.

Poznámka: V praxi se používá mnoho jiných typů jader kromě lístkových, pro některé typy transformátorů jsou běžná i jádra vzduchová (tedy vlastně transformátor bez jádra).