

## Chcete rozkladný transformátor?

Věra Koudelková, Jan Geřko

Katedra didaktiky fyziky MFF UK

Abstrakt

*Příspěvek představuje rozkladný transformátor vyvinutý ve společnosti Bohemia Trafo, s.r.o. určený pro výuku fyziky do škol. V první části příspěvku je představen transformátor jako takový, druhá, větší část pak popisuje vybrané experimenty, které lze s transformátorem dělat.*

### Úvod

Na seminářích projektu Heuréka se pravidelně setkáváme s tím, že učitelům zcela chybí ve škole cívky, případně že jsou zničené. Nové cívky jsou ale pro školy často finančně nedostupné.

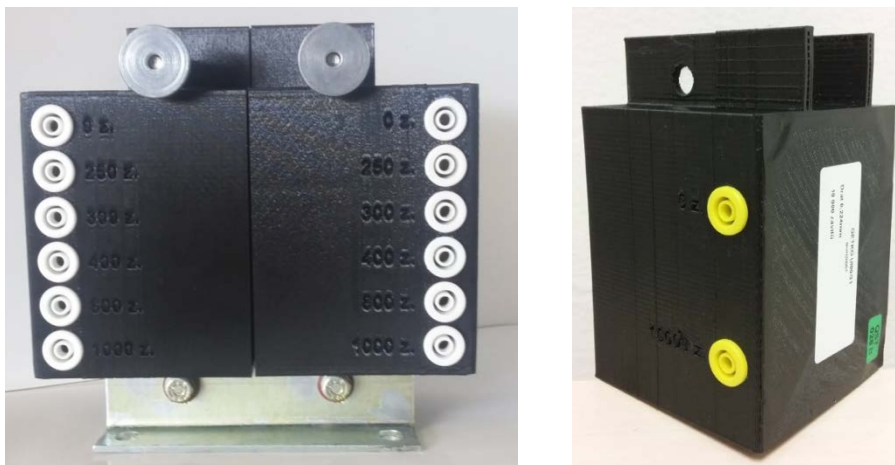
V příspěvku bychom proto rádi představili rozkladný transformátor, který vyvinula firma Bohemia Trafo s.r.o. ve spolupráci s KDF MFF UK. Velké poděkování patří J. Geřkovi, díky kterému se transformátor povedl vyvinout.

### Školní rozkladný transformátor „getko-E150“

Cívky transformátoru mají každá šest odboček (0, 250, 300, 400, 800 a 1000 závitů), lze zapojit libovolnou kombinaci (tj. k dispozici je 14 různých kombinací počtu závitů, některé i víckrát). Cívky jsou umístěné na uzavřeném lístkovém jádře o průřezu 30×30 mm, U jádro má výšku 120 mm, šířku 90 mm. Na něj lze jádro tvaru I buď jen položit, nebo připevnit pomocí šroubů.

Deklarovaný maximální proud je 2 A, dle naší zkušenosti transformátor krátkodobě vydržel okolo 5 A.

Kromě samotného transformátoru je k dispozici i cívka s 10 tisíci závitů, kterou lze v případě potřeby umístit místo pravé z cívek samotného transformátoru.



Obr. 1. Rozkladný transformátor (vlevo) a cívka 10 tisíc závitů (vpravo).

## Vybrané experimenty

S vyvinutým transformátorem lze dělat v podstatě všechny experimenty, které umožňují ostatní sady školních cívek a rozkladného transformátoru. Výjimkou je z naší zkušenosti pouze model indukční pece, na jádře není na žlábek dostatečný prostor.

V následujících odstavcích představíme pouze vybrané experimenty, na kterých ukážeme chování transformátoru a vhodné parametry cívek a příslušenství. Vzhledem k rozsahu příspěvku jsou experimenty popsány poměrně stručně – jejich podrobný popis (s parametry určenými pro cívky z jiné sady) lze najít ve studijních materiálech předmětu Praktikum školních pokusů II, viz [1].

### Transformační poměr

Cílem experimentu je ověření transformačního poměru (pro napětí i proud) pro různé počty závitů na primární a sekundární cívce. Pro měření jsme využili různé kombinace primárního a sekundárního počtu závitů a různé napětí zdroje. Vybrané výsledky jsou vidět v tabulkách 1 a 2.

Tab. 1. Transformační poměr napětí pro různé počty závitů cívek.

N1	250	250	250	400	400	200	250	400	200	400	200	200
N2	250	400	700	1000	200	600	1000	600	600	1000	800	1000
U1 (V)	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	14,0	13,9	13,9	14,0	13,9	13,9
U2 (V)	7,1	11,4	20,0	17,8	3,6	21,4	55,0	20,5	41,2	34,3	54,9	68,6
N2/N1	1,0	1,6	2,8	2,5	0,5	3,0	4,0	1,5	3,0	2,5	4,0	5,0
U2/U1	1,0	1,6	2,8	2,5	0,5	3,0	3,9	1,5	3,0	2,5	3,9	4,9

Tab. 2. Transformační poměr proudů pro různé počty závitů cívek.

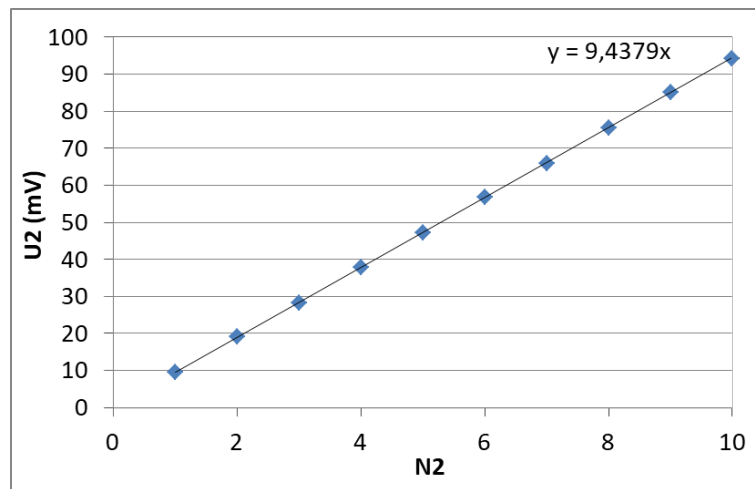
N1	600	600	200	200	100	200	200	200	100
N2	600	300	400	100	1000	700	400	100	1000
I1 (A)	0,2	0,2	1,6	1,2	5,3	1,6	1,6	1,2	5,3
I2 (A)	0,2	0,4	0,8	2,3	0,5	0,4	0,8	2,3	0,5
N2/N1	1,0	0,5	2,0	0,5	10,0	3,5	2,0	0,5	10,0
I1/I2	1,1	0,5	2,1	0,5	10,5	3,6	2,1	0,5	10,5

Je vidět, že transformační poměr pro napětí vychází velmi dobře. U měření transformačního poměru pro proud vychází některé hodnoty hůře, ale stejná zkušenost je i s transformátory v současnosti používanými – ve výsledcích měření se projevují ztráty v transformátoru.

### Odvození transformačního poměru

Smyslem experimentu je odvodit transformační poměr pro napětí a současně ukázat, že kolikrát více závitů má sekundární cívka, tolikrát větší napětí se na ní indukuje (používá se termín „napětí na závit“).

Experiment velmi dobře vychází například s cívkou 600 závitů či 300 závitů na primární straně, vhodné napětí je 6-12 V. Na sekundární straně je připojen voltmetr k dlouhému vodiči, pomocí kterého se postupně navíjí 1-N závitů.

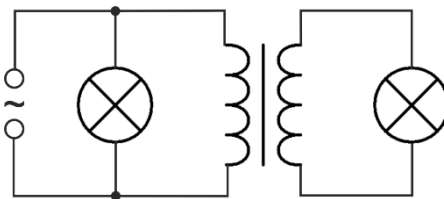


Obr. 2. Odvození transformačního poměru.

Z grafu na obrázku 2 je vidět, že indukované napětí je přímo úměrné počtu závitů na sekundární cívce. „Napětí na závit“ je v tomto případě přibližně 9,4 mV/závit. Měření bylo provedeno s primární cívkou 600 závitů a primárním napětím 6 V, transformační poměr pro primární stranu je tak 10 mV/závit.

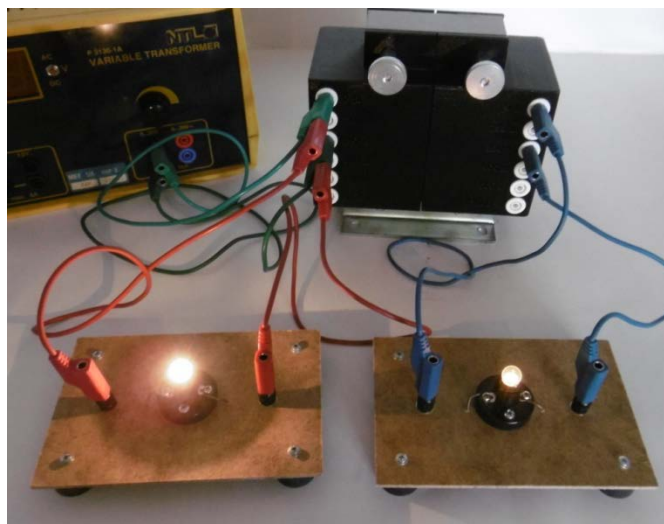
### Ztráty v transformátoru

Experiment názorně ukazuje, že školní rozkladný transformátor není ideální a že tedy pro něj neplatí příkon = výkon. Schéma zapojení je na obrázku 3. Na obou cívkách je stejný počet závitů (osvědčilo se nám 300 závitů), transformátor je tedy ve stavu 1:1. Paralelně k oběma cívkám jsou připojeny žárovky 3,5 V/0,3 A. Vhodný zdroj napětí je 3,5 V.



Obr. 3. Ztráty v transformátoru – schéma zapojení obvodu.

Vzhledem k tomu, že transformátor je ve stavu 1:1, měly by v případě ideálního transformátoru svítit obě žárovky stejně. Z fotografie na obr. 4 je vidět, že tomu tak rozhodně není.



Obr. 4. Ztráty v transformátoru – pravá žárovka připojená k sekundární straně svítí výrazně méně.

Experiment může pokračovat demonstrací toho, proč má vůbec transformátor jádro – lze jádro postupně otevírat, případně cívky umístit k sobě zcela bez jádra apod. Je vidět, že při otevírání jádra jas žárovky v sekundárním obvodu výrazně klesá (až žárovka zcela přestane svítit) – dochází k velkému rozptylu magnetického indukčního toku.

### Levitující kroužek

Experiment demonstruje Lenzův zákon – hliníkový kroužek se vznáší nad cívkou s proudem.

Z transformátoru použijeme primární cívku 300 závitů. I jádro postavíme na U jádro tak, aby se na něm mohl vznášet kroužek (viz obrázek 5). Primární cívku připojíme ke zdroji napětí přibližně 30–40 V. Je potřeba zdroj připojit vždy jen krátce, primární cívkou protéká proud okolo 4 A.



Obr. 5. Levitující kroužek.

Experiment lze rozšířit o problémovou otázku tak, že se ve stejném uspořádání umístí nad jádro druhý hliníkový kroužek, který ale nelevituje. Je vhodné nechat žáky diskutovat, v čem by mohl být problém (a dbát, aby si předčasně nikdo nevšiml, že je kroužek

přeríznutý). Žáci si při diskuzi mohou uvědomit, že magnetické pole vzniká okolo vodiče s proudem – a tedy, že pokud vodičem (přeríznutým kroužkem) neteče proud, nevznikne okolo něj magnetické pole a nemůže se tedy od cívky odpudit.

### Elektromagnetická indukce s LED

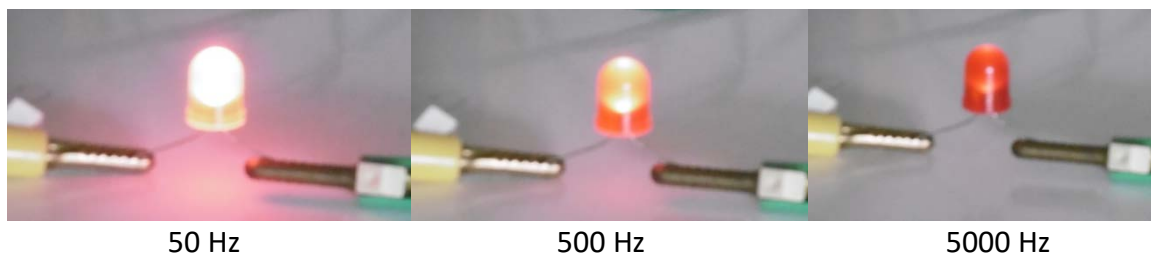
Cívka 10 tisíc závitů byla do sady přidána jako volitelné příslušenství mimo jiné i kvůli demonstraci elektromagnetické indukce – jde o variantu běžně známého experimentu, ve kterém je indukované napětí detekováno pomocí LED místo voltmetru.

K cívce je připojena dvojice antiparalelně zapojených LED, pomocí kterých lze ukázat závislost indukovaného napětí na polaritě magnetu, na pohybu směrem k či od cívky apod. Na rozdíl od často používaných ručičkových měřáků reagují LED velmi rychle a lze tak snadno ukázat i závislost velikosti napětí na rychlosti změny mag. indukčního toku (tj. rychlosti pohybu magnetu) bez nutnosti diskutovat setrvačnost ukazatele měřáku.

### Cívka ve střídavých obvodech

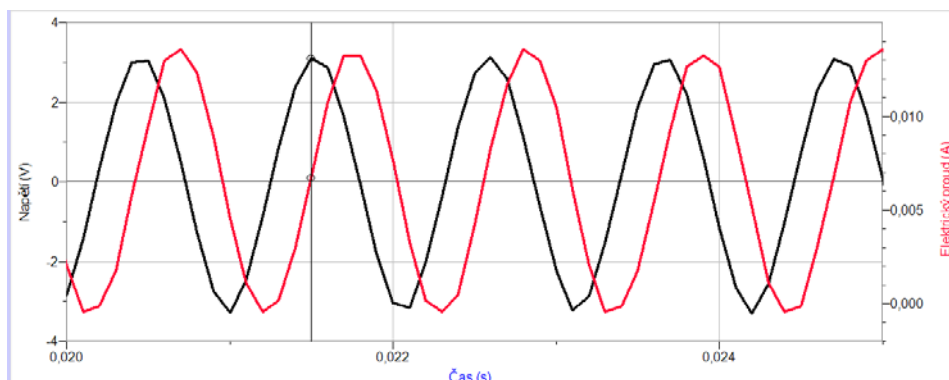
Cívky z rozkladného transformátoru lze samozřejmě použít i pro demonstraci vlastností ve střídavých obvodech.

Pro demonstraci závislosti indukčnosti na frekvenci je vhodná cívka 600 závitů na otevřeném jádře. Pokles proudu v obvodu (a tedy vzrůst indukčnosti) je demonstrován pomocí LED. Na obr. 6 je vidět pokles jasu LED s rostoucí frekvencí zdroje.



Obr. 6. Jas LED zapojené sériově s cívkou při různých frekvencích zdroje.

Na cívce 600 závitů je dobře vidět fázový posun mezi napětím a proudem. Při frekvenci 1 kHz je fázový posun téměř  $\pi/2$  (viz graf na obr. 7, černě je křivka napětí, červeně křivka proudu).



Obr. 7. Fázový posun napětí a proudu na cívce při frekvenci 1 kHz (černě je napětí, červeně proud).

## **Sériová rezonance**

Pro demonstraci sériové rezonance lze využít cívku 600 závitů na otevřeném jádře. Tato kombinace má indukčnost přibližně 60 mH, s kondenzátorem o kapacitě 48  $\mu\text{F}$  nastává rezonance na frekvenci okolo 75 Hz. K detekci maximálního proudu lze použít žárovku s vhodnými parametry vzhledem k použitému zdroji (v našem případě byla použita žárovka 3,5 V/0,3 A a zdroj napětí okolo 4 V). Rezonance nastává při maximálním jasu žárovky.

V experimentu lze ukázat i závislost indukčnosti cívky na parametrech jádra – rezonanci lze místo změnou frekvence „ladit“ i otevíráním či uzavíráním jádra, změnou počtu závitů cívky apod.

## **Další experimenty**

Výše uvedený výčet experimentů zdaleka není kompletní. Další experimenty lze nalézt ve studijních materiálech k Praktikum školních pokusů II (viz [1]), případné nutné úpravy parametrů transformátoru a příslušenství lze v případě potřeby konzultovat s autory příspěvku.

## **Závěr**

Rozkladný transformátor si lze objednat přímo u firmy Bohemia Trafo (viz [2]) pod objednacím číslem „getko-E150“ pro samotný transformátor, případně „getko-UI90/31“ pro cívku 10 tisíc závitů. Současně jsou transformátory dostupné ve vybraných regionálních centrech Elixíru do škol, kde si je mohou učitelé půjčit – máte-li o zapůjčení zájem, domluvte se s příslušným vedoucím centra, viz [3].

V případě zájmu lze ve firmě Bohemia Trafo nechat na zakázku udělat i cívky k jiným soupravám rozkladného transformátoru – lze se domluvit přímo s firmou.

## **Literatura**

- [1] Praktikum školních pokusů. [cit. 11. 9. 2020]. Dostupné online: <https://kdf.mff.cuni.cz/vyuka/psp2/>
- [2] Bohemia Trafo, s.r.o. [cit. 11. 9. 2020]. Dostupné online: <https://bohemia-trafo.cz/>
- [3] Elixír do škol – regionální centra. [cit. 11. 9. 2020] Dostupné online: <https://www.elixirdoskol.cz/regionalni-centra/>