

Nestandardní experimenty s rozkladným transformátorem

JAN HRDÝ

KEF PŘF UP v Olomouci

Úvod

Příspěvek popisuje sadu jednoduchých svépomocně vyrobených přípravků, které výrazně rozšiřují možnosti použití všeobecně známé pomůcky zvané *rozkladný transformátor* ve výuce fyziky nebo elektrotechniky. Realizované přípravy umožňují provádět **bezpečně** přesné kvantitativní pokusy demonstrující základní funkci transformátoru, kterou je změna velikosti střídavého napětí. Jistě není třeba připomínat velký význam transformátoru pro energetiku a tím pro další rozvoj naší společnosti.

Stávající stav – převážně kvalitativní pokusy

Provádět demonstrační pokusy na nezatíženém transformátoru nemá velký smysl, protože takto naměřené hodnoty vlastně nic nedokazují a nic nevypovídají o jeho skutečném použití při rozvodu elektrické energie (stejně jako např. hodnoty získané na nezatíženém usměrňovači). Pokusy na zatíženém transformátoru (tj. s připojenou zátěží) mají však svá úskalí. Napětí na zatíženém rozkladném transformátoru se totiž často hrubě odlišuje od hodnot daných teoretickým vztahem $U_1/U_2 = n_1/n_2$ (U_1 , U_2 – napětí na primárním a sekundárním vinutí, n_1 , n_2 – počty závitů primárního a sekundárního vinutí). Příčinou je nevhodná velikost počtu závitů použitých cívek vzhledem k velikosti použitého napětí. V takovém případě provádíme pokus s transformátorem vlastně pouze kvalitativně, protože se musíme spokojit s více méně obecným závěrem, že čím má sekundární cívka transformátoru více závitů, tím se v ní indukuje větší napětí (a samozřejmě i naopak) [1]. Pokud ale chceme pracovat **kvantitativně** a přesně potvrdit známý teoretický vztah $U_1/U_2 = n_1/n_2$ popisující činnost transformátoru, můžeme např. využít řešení navržené a realizované autorem tohoto příspěvku.

Nové řešení – přesné kvantitativní pokusy

Při práci s transformátorem s připojenou zátěží (tj. s nenulovým přenosem energie) je třeba respektovat empirický požadavek, který říká, že při průřezu jádra (rozkladného) transformátoru (přibližně) 11 cm^2 je optimální počet závitů primárního nebo sekundárního vinutí připadajících na 1 V přivedeného nebo indukovaného napětí roven **čtyřem závitům na jeden Volt** ($N = 4 \text{ V}^{-1}$). Uvedenou hodnotu můžeme snadno získat v elektrotechnických tabulkách nebo nomogramech a nebo můžeme použít zjednodušený výpočet: $N = 45 \text{ V}^{-1} \text{ cm}^2 / S$, kde $45 \text{ V}^{-1} \text{ cm}^2$ je vhodná číselná konstanta a S je plocha jádra transformátoru v cm^2 [2].

Pokud k demonstraci využijeme stávající sadu cívek (300, 600 a 1200 závitů), vychází při použití střídavého napětí 6, 12 a 24 V (vhodná velikost napětí pro školské pokusy) počet závitů na 1 V nevhodně vysoký: $N' = 50 \text{ V}^{-1}$. Tato hodnota je $50/4=12,5$ krát vyšší, než hodnota optimální, což samozřejmě výrazně zkresluje výsledky experimentu. Zase naopak, vhodné střídavé napětí pro uvedené cívky (300, 600 a 1200 závitů) pro optimální hodnotu $N = 4 \text{ V}^{-1}$ je 75, 150 a 300 Voltů. Použití střídavého napětí této velikosti by mělo ale mnoho nevýhod (kvůli velikosti použitého napětí by experiment nemohli provádět studenti – zejména ne studenti středních škol, experiment by kladl zvýšené bezpečnostní nároky i při jeho provádění vyučujícím (vyhl. 50, §11), rovněž nejsou obvykle k dispozici vhodné elektrické spotřebiče pro zatížení transformátoru (pro uvedená napětí) a střídavé napětí 300 V také ve škole nebývá k dispozici).

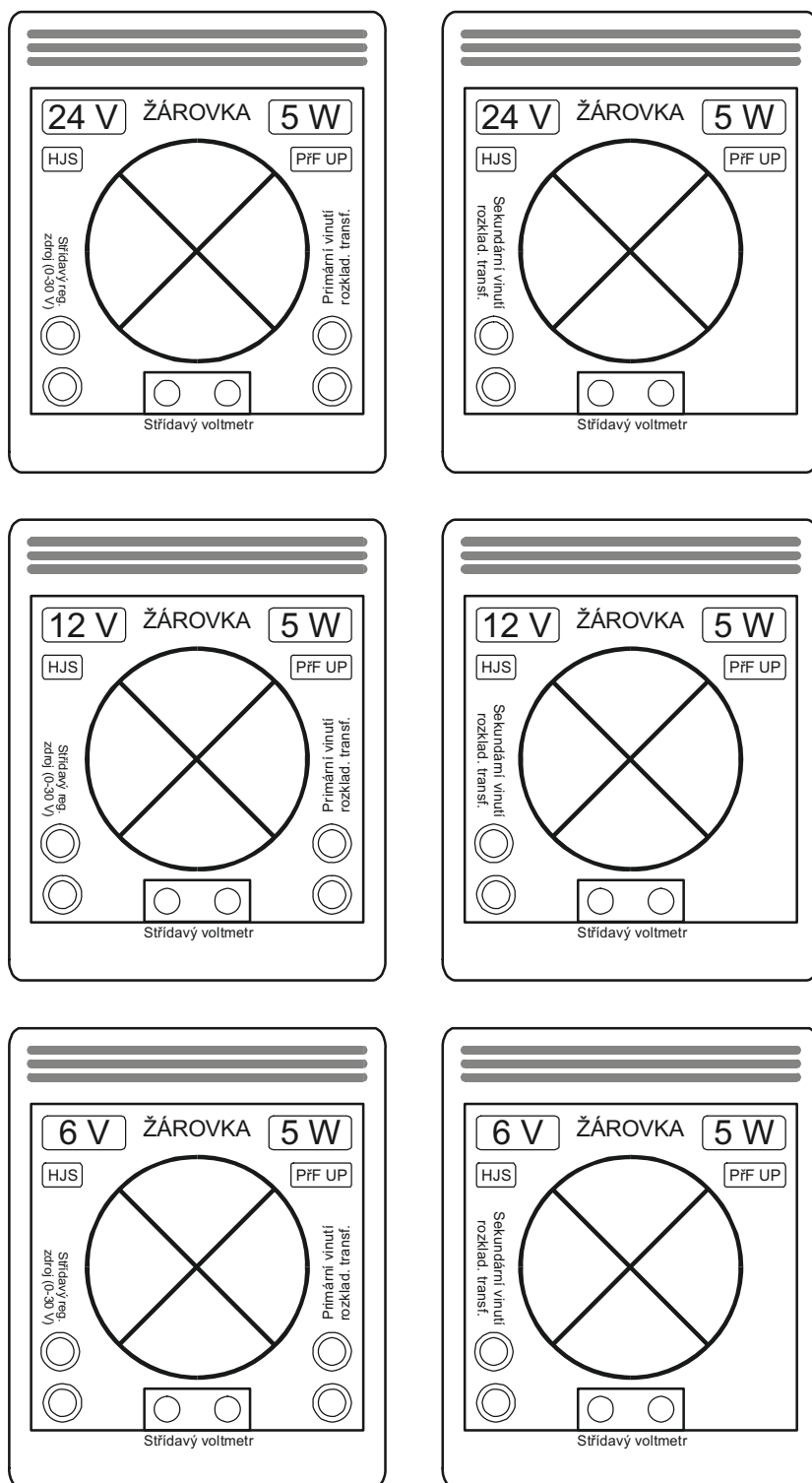
Vlastní realizace pomůcky

Z předcházejícího odstavce vyplývá, že běžné cívky dodávané k rozkladnému transformátoru nejsou pro zamýšlené použití vhodné a že bude nutno zvolit jiné počty závitů – cívky bude nutné převinout. K převinutí jsou vhodné pouze starší lepenkové (prešpán) cívky, u kterých lze odmontovat destičku z pertinaxu se svorkami. Novější typy z plastu vhodné nejsou, protože by je bylo nutné nejdříve rozřezat, pak převinout a nakonec zase slepit. Nejlepším řešením je převinout celkem šest cívek tak, aby dvě byly na napětí 6 V (24 záv./4,0 mm²), dvě na napětí 12 V (48 záv./2,5 mm²) a dvě na napětí 24 V (96 záv./1,0 mm²). Cívky lze převinout úspěšně i v ruce (tzv. na divoko). Uvedené hodnoty napětí nebyly zvoleny náhodně, ale souvisí s volbou vhodné zátěže pro transformátor. Jako zátěž se přímo nabízejí sulfítové autožárovky (ve tvaru trubičky) s příkonem 5 W, které jsou běžně k dostání na napětí 6, 12 a 24 V v mototechně. Navíc lze zakoupit i kompletní (poziční) svítidlo barvy bílé, oranžové nebo červené, která je přímo určena pro sulfítové žárovky a lze ji snadno namontovat i s žárovkou na panel nebo do vhodné krabičky (obr.1). Použití žárovek o stejném příkonu na různá napětí má velkou výhodu, protože lze pouhým pohledem kontrolovat funkci transformátoru – obě žárovky (první žárovka připojená k primáru transformátoru je napájena společně s transformátorem, druhá připojená k sekundáru indikuje přetransformované napětí) musí svítit stejně intenzívně. Samozřejmě také současně můžeme přesně měřit primární a sekundární napětí střídavým voltmetrem (obr.2). Rozkladný transformátor napájíme nejlépe z oddělovacího regulačního transformátoru (např. PHYWE) na malé střídavé napětí (do 30 V). Měření provádíme obvykle v rozsahu 0 – 120 % jmenovitého napětí žárovky připojené k primárnímu vinutí transformátoru (v rozsahu napětí 100 – 120 % měříme pouze krátkodobě).

Ztráty v transformátoru – skutečný transformátor

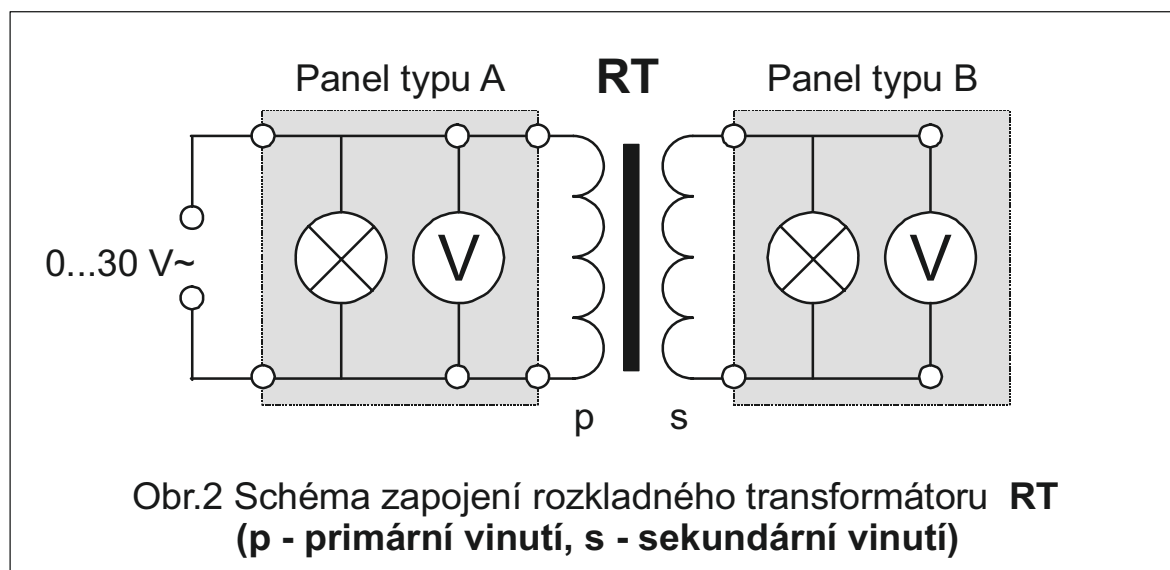
Přesným měřením zjistíme, že napětí na sekundáru transformátoru je i při použití uvedeného optimálního počtu závitů stále o několik procent menší, než odpovídá teoretickému výpočtu: $U_1/U_2=n_1/n_2$. (Tato chyba je již ovšem řádově menší, než kdybychom na zvolené střídavé napětí 6, 12 nebo 24 V nevhodně použili stávající cívky 300, 600 a 1200 závitů s příliš velkým počtem závitů).

a) **Panel typu A:** žárovka je připojena k primárnímu vinutí a je napájena společně s transformátorem (24 V - bílý kryt, 12 V - oranžový kryt, 6 V - červený kryt)



b) **Panel typu B:** žárovka je připojena k sekundárnímu vinutí a je napájena z transformátoru (24 V - bílý kryt, 12 V - oranžový kryt, 6 V - červený kryt)

Obr.1 Realizované panely se žárovkami



Uvedené (malé) zmenšení napětí na sekundáru transformátoru je způsobeno ztrátami v transformátoru a u dobře smontovaného a dotaženého rozkladného transformátoru obvykle nepřekročí hranici 8 %. Tyto ztráty se u skutečných transformátorů obvykle kompenzují rovnoměrně na primáru i sekundáru transformátoru tak, že počet primárních závitů se zmenší o 4 % a počet sekundárních závitů se zvýší rovněž o 4 %. Skutečný transformátor tedy není symetrický ani při transformačním poměru 1:1 a nelze ani v tomto případě zaměňovat primár a sekundár. Chceme-li tedy demonstrovat funkci skutečného transformátoru, musíme si zhotovit tři další primární cívky s počtem závitů $24z - 4\% = 23z$, $48z - 4\% = 46z$ a $96z - 4\% = 92z$ a tři další sekundární cívky s počtem závitů $24z + 4\% = 25z$, $48z + 4\% = 50z$ a $96z + 4\% = 100z$. Obvykle však postačí pro demonstraci principu skutečného transformátoru vyrobit alespoň jednu další primární (46z) a jednu další sekundární (50z) cívku.

Závěr

Uvedená pomůcka byla vyvinuta v *Laboratoři školních pokusů z fyziky* na PřF UP v Olomouci (2003) a slouží jako inspirace a návod pro budoucí učitele fyziky při vedení nejrůznějších zájmových kroužků nebo seminářů (z fyziky nebo elektrotechniky) na středních nebo základních školách, protože pomůcka může přispět ke zvýšení zájmu mladé generace o studium fyzikálních a technických oborů a navíc si popisovanou pomůcku mohou žáci nebo studenti v zájmovém kroužku snadno zhotovit sami a také samostatně provádět měření (s přihlédnutím k jejich věku).

Literatura

- [1] Žouželka, J. – Fuka, J.: *Pokusy z fyziky na středních školách II*. SPN Praha, 1971.
[2] Meluzin, H.: *Malá rádiatechnická příručka*. Alfa Bratislava, 1975.