

Transformátory, přenos elektřiny

1) Transformátory

Používané názvosloví

V následujícím textu budeme používat ustálené názvosloví týkající se transformátoru:

Primární cívka – cívka připojená ke zdroji napětí; obdobně primární obvod, primární napětí apod. Veličiny, které se týkají primární části transformátoru, jsou obvykle označovány indexem 1.

Sekundární cívka – cívka připojená ke spotřebiči; obdobně sekundární vinutí, sekundární obvod,... Veličiny týkající se sekundární části transformátoru mívají index 2.

Lístkové jádro – jádro složené z plechů proložených izolací; má nižší ztráty způsobené vířivými proudy než jádro plné.

I jádro, U jádro – dva typy jader transformátoru podle tvaru, dohromady tvoří uzavřené jádro.

Transformační poměr – vztah mezi primárním a sekundárním napětím a počtem závitů obou cívek:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1},$$

kde N jsou počty závitů jednotlivých cívek a U je efektivní hodnota napětí na primární/sekundární cívce.

Občas se zavádí i termín „obrácený transformační poměr“ pro poměr mezi počty závitů cívek a proudy, které jimi tečou:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}.$$

Transformační poměr platí pro reálné transformátory jen v zapojení naprázdno, obrácený transformační poměr platí jen pro transformátory zapojené nakrátko. Pro ideální transformátor, který má stejný výkon jako příkon (což je samozřejmě pouze teoretický model), platí oba vztahy.

Zapojení naprázdno – sekundární cívkou neprochází žádný proud, je k ní připojen spotřebič o nekonečném odporu, resp. není k ní připojen žádný spotřebič. (Zapojení naprázdno se lze přiblížit tím, že k sekundární cívce připojíme voltmetr.)

Zapojení nakrátko – sekundární cívka je zkratovaná, spotřebič, který k ní je připojen, nemá žádný odpor (u reálného transformátoru se lze tomuto zapojení pouze přiblížit – i pokud cívku zkratujeme, je k ní stále ještě připojen „spotřebič s odporem“ – samotné vinutí cívky).

Transformace nahoru, transformace dolů – pokud má sekundární cívka víc závitů než primární, transformátor slouží ke zvýšení napětí, mluví se tedy o transformaci nahoru. O transformaci dolů mluvíme, pokud má sekundární cívka méně závitů než primární. Pokud mají sekundární i primární cívka stejný počet závitů, mluví se o transformaci 1:1.

A) Základní vlastnosti transformátoru

Transformátor „na baterku“

Cílem experimentu je ukázat, jaký zdroj napětí je nezbytný pro funkci transformátoru.

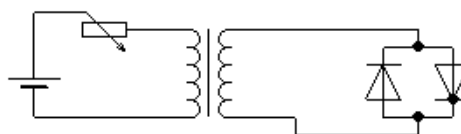
Pomůcky

reostat přibližně $100\ \Omega$, zdroj stejnosměrného napětí přibližně $4,5\ \text{V}$ (plochá baterie, akumulátor apod.), cívky 300 závitů a 1200 závitů, dvě LED, uzavřené jádro

Postup

Zapojte obvod podle schématu. Jako primární použijte cívku 300 závitů, jako sekundární cívku 1200 závitů.

Připojte transformátor k baterii, pozorujte a vysvětlete chování LED. Posuňte jezdcem reostatu, opět pozorujte chování LED.



Závěr

Pokud je transformátor napájen stejnosměrným napětím konstantní velikosti, neindukuje se v něm žádné sekundární napětí a LED nesvítí. Jestliže ale změním primární proud (a tedy primární napětí) připojením (nebo odpojením) zdroje napětí nebo pohybem jezdcem reostatu, sekundární napětí se indukuje a LED budou svítit. Transformátor tedy potřebuje zdroj proměnného napětí (ne nutně střídavého).

Rychlejší změna proudu tekoucího primárním obvodem způsobí větší indukované napětí v sekundárním obvodu a tedy jasnější svit LED.

Indukované napětí

Cílem tohoto experimentu je odvodit transformační poměr.

Pomůcky

Cívka 600 nebo 300 závitů, zdroj střídavého napětí přibližně $6\ \text{V}$ nebo $12\ \text{V}$, delší vodič, voltmetr, uzavřené lístkové jádro

Provedení

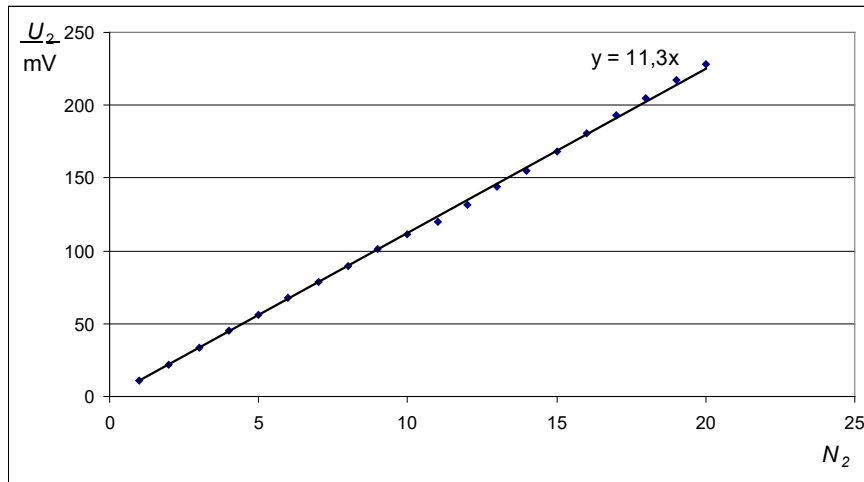
Cívku z rozkladného transformátoru použijte jako primární, místo sekundární cívky naviňte na jádro jeden závit vodiče a připojte ho k voltmetru. Postupně přidávejte další závity a naměřené hodnoty vynášejte do grafu $U_2(N_2)$. Z výsledného grafu odvodte tzv. transformační poměr.

Závěr

Výsledným grafem je úsečka, poměr U_2/N_2 vychází přibližně roven poměru U_1/N_1 .

Příklad měření

Příklad výsledného grafu pro primární cívku 600 závitů a primární napětí 6 V je na obrázku. Směrnice regresní přímky je přibližně 11. Protože sekundární napětí je v grafu vyneseno v milivoltech, měli bychom přesněji hodnotu směrnice psát 11 mV/závit. Poměr $U_2:N_2$ tedy vychází přibližně 0,011 V/závit. Poměr $U_1:N_1$ je 6 V : 600 závitů = 0,01 V/závit.



Poznámka

Použitý zdroj při nastavení 6 V dává napětí 6,9 V. Potom je pro něj poměr $U_1 : N_1 = 0,0115$ V/závit, což se sekundárním poměrem 0,0113 V/závit velmi dobře souhlasí.

Transformace napětí při zapojení naprázdno

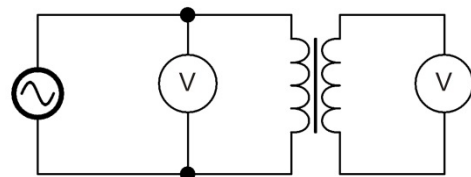
Cílem experimentu je ověřit transformační poměr pro různé počty závitů na obou cívkách transformátoru.

Pomůcky

lístkové jádro U a I, upínací zařízení, vodiče, cívky 300 z, 600 z, 1200 z (všechny po dvou kusech), dva voltmetry do 10 V, zdroj střídavého napětí přibližně 6 V

Provedení

Sestavíme transformátor pro zvolenou dvojici cívek, jádro uzavřeme. K oběma cívkám připojíme paralelně voltmetr. Primární cívku připojíme ke zdroji střídavého napětí (viz schéma zapojení).



Připravíme si tabulku pro zápis naměřených hodnot primárních a sekundárních napětí.

N_1	N_2	U_1 (V)	U_2 (V)	$N_2 : N_1$	$U_2 : U_1$
300	300			1	
300	600			2	
600	300			0,5	
600	600			1	
1200	600			0,5	
1200	300			0,25	
600	1200			2	

Postupně měníme primární i sekundární cívky a vždy změříme primární i sekundární napětí. Výměnu cívek provádíme vždy při vypnutém zdroji napětí!

V tabulce vypočítáme poměry napětí $U_2 : U_1$.

Závěr

Poměr napětí na cívkách při zapojení transformátoru naprázdno je (s malými odchylkami) roven poměru počtu závitů na obou cívkách, tj. přibližně platí

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Příklad měření

N_1	N_2	U_1 (V)	U_2 (V)	$N_2 : N_1$	$U_2 : U_1$
300	300	7,37	7,14	1	0,97
300	600	7,32	14	2	1,91
600	300	7,34	3,4	0,5	0,46
600	600	7,34	6,92	1	0,94
1200	600	7,37	3,4	0,5	0,46
1200	300	7,38	1,66	0,25	0,22
600	1200	7,36	13,89	2	1,89

Z tabulky je vidět, že transformační poměr přibližně vychází, i když sekundární napětí je vždy menší, než by odpovídalo transformačnímu poměru.

Poznámka

Měření lze samozřejmě provádět i při vyšším napětí zdroje. Hodnota 6 V je zvolena tak, aby mohli experiment bezpečně provádět studenti (např. v rámci laboratorních prací).

Transformátor naprázdno

Cílem experimentu je zjistit, jaký proud protéká transformátorem naprázdno.

Pomůcky

lístkové U jádro a I jádro, upínací zařízení, cívky 300 z a 1200 z, ampérmetr, zdroj střídavého napětí 230 V, vodiče, prodlužovací šňůra nebo rozdvojka

Příprava a provedení

Cívku 1200 z zapojíme jako primární, cívku 300 z jako sekundární. Sestavíme transformátor s uzavřeným jádrem a dobře ho stáhneme upínacím zařízením (viz obrázek).

Transformátor necháme naprázdno – do sekundárního obvodu nezapojujeme žádný spotřebič.

K primární cívce připojíme sériově ampérmetr. Potom ji přes prodlužovačku nebo rozdvojku připojíme ke zdroji síťového napětí a měříme proud, který jí prochází.

Pozor! Hrozí úraz elektrickým proudem!



Závěr

Primárním obvodem nezátíženého transformátoru prochází velmi malý proud.

Poznámky

Při použití napětí 230 V je třeba dbát na bezpečnost. Experiment v žádném případě nesmí provádět studenti.

Se studenty je vhodné rozebrat, k jakým účelům transformátor energii získanou ze sítě využívá, když k němu není připojen žádný spotřebič.

Upínací zařízení slouží k tomu, aby se zmenšila mezera mezi U a I jádrem. Tím dochází k menšímu rozptylu magnetického pole, ale i k menším vibracím (a hluku) transformátoru. Z tohoto důvodu má smysl ho používat vždy, když je transformátor připojen na vyšší napětí.

Transformace proudu při zapojení nakrátko

Cílem experimentu je ověřit obrácený transformační poměr pro transformátor nakrátko (se zapojenými různými kombinacemi cívek).

Pomůcky

lístkové jádro U a I, upínací zařízení, vodiče, cívky 300 z, 600 z, 1200 z (všechny po dvou kusech), dva ampérmetry do 5 A, zdroj střídavého napětí přibližně 6 V

Provedení

Sestavíme transformátor s uzavřeným jádrem (pro první dvojici cívek podle tabulky). Do sekundárního i primárního obvodu zapojíme ampérmetr.

Připravíme si tabulku pro zápis naměřených hodnot primárních a sekundárních proudů.

N_1	N_2	I_1 (A)	I_2 (A)	$N_2 : N_1$	$I_1 : I_2$
300	300			1	
300	600			2	
600	300			0,5	
600	600			1	
1200	600			0,5	
1200	300			0,25	
600	1200			2	
300	1200			4	

Primární obvod připojíme ke zdroji napětí a postupně měříme proud v primárním a sekundárním obvodu pro jednotlivé kombinace cívek.

Změřené hodnoty proudu na obou cívkách zapíšeme do tabulky. Výměnu cívek provádíme vždy při vypnutém zdroji!

V tabulce vypočteme poměry proudů $I_1 : I_2$.

Závěr

Pro ideální transformátor nakrátko platí mezi primárním a sekundárním proudem vztah $\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$.

Příklad měření

Měření bylo prováděno při napětí zdroje přibližně 6 V.

N_1	N_2	I_1 (mA)	I_2 (mA)	$N_2 : N_1$	$I_1 : I_2$
300	300	652	632	1	1,03
300	600	656	311	2	2,11
600	300	162,7	308	0,5	0,53
600	600	162,4	151,6	1	1,07
1200	600	40,9	75,4	0,5	0,54
1200	300	40,8	150,2	0,25	0,27
600	1200	163,8	76	2	2,16
300	1200	654	153	4	4,27

Z tabulky je vidět, že pro zvolené kombinace cívek a primárního napětí obrácený transformační poměr přibližně vychází.

Jádro transformátoru

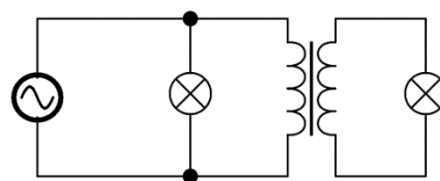
Cílem experimentu je ukázat, k čemu je v transformátoru jádro a proč se používá lístkové jádro místo plného.

Pomůcky

lístkové U jádro a lístkové I jádro, plné U jádro, 2 cívky 300 z, 2 žárovky přibližně 3,5 V/0,3 A, zdroj střídavého napětí přibližně 4 V, vodiče

Příprava a provedení

Obvod zapojíme podle schématu. Transformátor sestavíme ze dvou cívek 300 z na uzavřeném (lístkovém) jádře. Na sekundární i primární stranu připojíme paralelně žárovky, primární cívku připojíme ke zdroji napětí přibližně 4 V.



Zapneme zdroj napětí a pozorujeme jas žárovek v následujících případech:

- Transformátor je na uzavřeném jádře.
- Z U jádra postupně odsouváme I jádro.
- Transformátor necháme bez jádra; cívky položíme na sebe a postupně vzdalujeme.
- Lístkové U jádro vyměníme za plné.

Závěr

Žárovka v primárním obvodu svůj jas příliš nemění. Jas žárovky v sekundárním obvodu je i při zavřeném jádře nižší ve srovnání s primární žárovkou. Pokud otevřeme jádro, jas ještě klesá, protože dochází k velkému rozptylu magnetického indukčního toku. Pokud je transformátor zcela bez jádra, sekundární žárovka už obvykle nesvítí vůbec. Pokud místo lístkového jádra použijeme plné, dochází k velkým ztrátám vířivými proudy a jas sekundární žárovky opět klesne.

Příkon a výkon transformátoru

Cílem experimentu je porovnat výkon transformátoru na sekundární straně s jeho příkonem.

Pomůcky

Dvě cívky 300 z, jádro U a I, zdroj střídavého napětí přibližně 4 V, žárovka přibližně 3,5 V / 0,3 A, multimetr, vodiče

Příprava a provedení

Sestavíme transformátor na uzavřeném jádře s cívkami 300 z na primární i sekundární straně. Na sekundární stranu připojíme žárovku, primární stranu připojíme ke zdroji napětí.

Postupně změříme proud a napětí na primární i sekundární straně transformátoru. Z naměřených hodnot spočteme příkon i výkon, hodnoty porovnáme.

Příklad měření

Měření bylo provedeno se dvěma cívkami 300 z a žárovkou 3,8 V / 0,3 A.

I_1 (A)	I_2 (A)	U_1 (V)	U_2 (V)	P_0 (W)	P (W)
0,27	0,25	4,5	2,78	1,215	0,695

Závěr

Školní rozkladný transformátor nelze považovat za ideální transformátor – výkon v této sestavě tvoří jen asi 60 % příkonu. Stejně tak je z experimentu vidět, že transformační poměr platí pouze ve stavu naprázdno (pro napětí) resp. nakrátko (pro proudy). Pro obecně zatížený transformátor transformační poměr neplatí.

Žárovka v primárním a sekundárním obvodu

Experiment ukazuje rozdíl mezi chováním transformátoru zatíženého spotřebičem a v zapojení naprázdno. Je vhodný jako podklad pro podrobnější vysvětlení funkce transformátoru a vazby mezi primárním a sekundárním obvodem.

Pomůcky

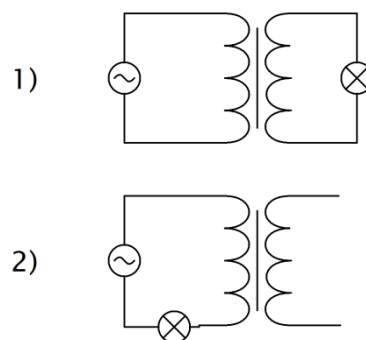
Dvě cívky 300 závitů, uzavřené jádro, zdroj střídavého napětí 6 V, dvě žárovky 3,5 V / 0,3 A, vodiče

Příprava a provedení

Zapojte transformátor s primární i sekundární cívkou 300 závitů na uzavřeném jádře. Do primárního obvodu připojte zdroj napětí přibližně 6 V.

Experiment provedeme v několika krocích:

1) Na sekundární stranu zapojte žárovku. Zapněte zdroj a pozorujte, že žárovka svítí.



2) Sekundární stranu nechte naprázdno, na primární stranu zapojte žárovku do série s cívkou. Zapněte zdroj a pozorujte, že žárovka tentokrát nesvítí.

3) Vyzkoušejte různé způsoby, jak zařídit, aby takto zapojená žárovka v primárním obvodu svítila.

Závěr a vysvětlení

Pokud je žárovka připojena na sekundární straně, je na ní napětí přibližně 6 V a protéká jí přibližně jmenovitý proud (pro žárovku 3,5 V/0,3 A vychází proud 340 mA). Vzhledem k tomu, že primární i sekundární cívka mají stejný počet závitů, je na primární straně (při zanedbání ztrát v transformátoru) přibližně stejné napětí a primární cívkou protéká přibližně stejný proud.

Pokud žárovku připojíme na primární stranu a sekundární necháme naprázdno, teče do transformátoru jen tzv. proud naprázdno. Ten se spotřebovává na krytí ztrát v jádře a na magnetizaci primární cívky. Tento proud je poměrně malý, pro popsané uspořádání se pohybuje okolo 65 mA. Primární žárovkou tedy neprotéká dostatečný proud a nerozsvítí se.

K rozsvícení žárovky v primárním obvodu je třeba zvětšit proud, který primárním obvodem teče – buď zvětšit ztráty v transformátoru (např. otevřením jádra), nebo zvětšit proud odebíraný na sekundární straně (zapojit na ni spotřebič – jinou žárovku, nebo sekundární stranu zkratovat).

B) Využití transformátorů v praxi

Model indukční pece

Experiment je praktickou ukázkou transformace dolů – na sekundární straně je mnohonásobně větší proud než na primární.

Pomůcky

lístkové jádro U a I, upínací zařízení, cívka 600 z, kruhový žlábek s držadlem a kouskem pájky, papírový obal jádra, vodiče, rozdvojka nebo prodlužovací šňůra, zdroj síťového napětí 230 V

Příprava

Sestavíme transformátor s primární cívkou 600 závitů na uzavřeném jádře. Místo sekundární cívky použijeme žlábek s držadlem a kouskem pájky, který na jádro nasazujeme přes papírový obal. Transformátor stáhneme upínacím zařízením.

Provedení

Dbejte na bezpečnost! Připojujte vodiče k zásuvce zásadně pomocí prodlužovací šňůry nebo rozdvojky, jinak hrozí úraz elektrickým proudem.

Primární stranu transformátoru připojíme k síťovému napětí 230 V a pozorujeme pájku ve žlábkem.

Odhadněte proud, který teče žlábkem.

Závěr

Sekundární stranou transformátoru teče velký proud, který díky Jouleovu teplu velmi rychle roztaví pájku ve žlábků.

Poznámky

Místo pájky lze použít i olovo, cín (či jiný snadno tavitelný kov), případně žlábek naplnit vodou.

U experimentu je třeba dbát na bezpečnost! Žlábek je velmi horký a hrozí popálení, při naplnění žlábků vodou hrozí opaření cákající vroucí vodou.

Komentář – odhad proudu tekoucího žlábkem

Odhad lze provést dvěma způsoby: z kalorimetrické rovnice a skupenského tepla tání spočítat teplo, které je potřeba na roztavení kovu a pomocí Jouleova tepla a času potřebného na roztavení spočítat proud; druhou možností je spočítat proud z obráceného transformačního poměru a proudu, který teče primární cívkou (ten lze bezpečně měřit ampérmetrem). Oběma způsoby vychází proud ve žlábků na přibližně 100 A až 200 A.

Tavení kovů

Experiment ukazuje, že při transformaci dolů teče sekundární cívkou dostatečně velký proud, který může roztavit kovový drát.

Pomůcky

lístkové jádro U a I, papírový obal jádra, upínací zařízení, cívka 600 závitů, cívka 6 závitů s držadly, vodiče, tenká kovová tyčka délky cca 7-10 cm (ocelový hřebík, silný drát, apod.), zdroj síťového napětí 230 V, rozdvojka nebo prodlužovací šňůra

Příprava

Jako primární cívkou zapojíme cívku 600 závitů, jako sekundární cívkou 6 závitů s držadly; na jádro pod sekundární cívkou nasadíme papírový obal, aby nevznikl zkrat. Transformátor sestavíme na uzavřeném jádře a spojíme upínacím zařízením. Svorky sekundární cívkou spojíme kovovou tyčkou nakrátko. Hřebík dobře utáhneme, abychom zmenšili přechodový odpor v místě upevnění (je vhodné držadla mírně „napružit“, aby se při přepálení tyčky konce vzdálily od sebe). Na stůl pod tyčku položíme nehořlavou desku, aby se při případném odkápnutí kovu nepoškodila deska stolu.

Provedení

Dbejte na bezpečnost! Připojte vodiče k zásuvce zásadně pomocí prodlužovací šňůry nebo rozdvojky, jinak hrozí úraz elektrickým proudem.

Primární cívkou připojíme k síťovému napětí 230 V. Kovovou tyčkou necháme procházet proud tak dlouho, než se rozzhává do bílého žáru, příp. se přepálí.

Pokud přiblížíme přepálené konce tyčky k sobě a včas odpojíme transformátor od zdroje, lze ukázat i svaření tyčky.

Závěr

Hřebík má v sekundárním obvodu největší odpor, proto se při velké hodnotě proudu uvolní v hřebíku velké Jouleovo teplo potřebné k jeho rozžhavení či přepálení.

Aplikace

Zahřívání sekundárního vinutí průchodem velkého proudu při transformaci dolů využívá transformátorová páječka. Primární vinutí má velký počet závitů a je připojeno k síti 230 V, sekundární vinutí má naopak velmi malý počet závitů. Dochází proto k transformaci dolů a pájecí smyčkou, která je součástí sekundárního vinutí, teče proud okolo 100 A.

Druhá část experimentu ukazuje princip transformátorové svářečky.

Růžková bleskojistka

Experiment ukazuje dvě poslední fáze činnosti bleskojistky – výboj mezi růžky bleskojistky a zánik výboje. V této kapitole slouží experiment jako příklad transformace nahoru na vysoké napětí.

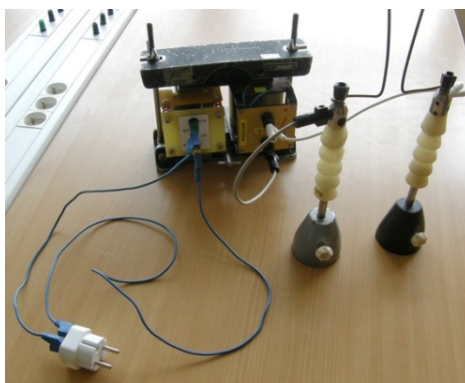
Při experimentu je nutné dbát velké opatrnosti – při dotyku s holými částmi vedení hrozí smrtelný úraz!

Pomůcky

lístkové jádro U a I, upínací zařízení, cívky 600 z a 12 000 z, 2 Holtzovy svorky s dráty růžkové bleskojistky, svíčka, zápalky, vodiče, zdroj síťového napětí 230 V, rozdvojka nebo prodlužovací šňůra

Příprava

Sestavte transformátor na uzavřeném jádře, jako primární cívku použijte cívku 600 z, jako sekundární cívku 12 000 z. Transformátor spojte upínacím zařízením. K sekundární cívce připojte Holtzovy svorky s růžky bleskojistky, nejmenší vzdálenost růžků volte přibližně 5 mm (viz obrázek).



Pozor na bezpečnost! Na sekundární straně transformátoru je vysoké napětí. Z tohoto důvodu zvolte takové uspořádání pomůcek, abyste měli bleskojistku co nejbližší k sobě, transformátor dál od sebe. Vodiče mezi Holtzovými svorkami a sekundární cívkou volte dostatečně krátké tak, aby neležely na stole a současně se nikde nekřížily.

Provedení

Primární cívku připojte k síťovému napětí 230 V. V sekundární cívce se indukují vysoké napětí, mezi růžky bleskojistky však nevznikne samostatný výboj. Výboj zapálíme ionizací vzduchu plamenem svíčky. Výboj vzniklý mezi dráty na nejužším místě bude stoupat vlivem ohřátého vzduchu po drátech vzhůru, dokud nedosáhne takové délky, že se přeruší.

Komentář

V praxi je bleskojistka upravena tak, že jeden růžek je připojen k venkovnímu elektrickému vedení, druhý je uzemněn. Nejmenší vzdálenost mezi růžky bleskojistky je taková, že výboj při napětí sítě nenastane. Vznikne-li při atmosférickém výboji ve vedení vysokonapěťový impuls (tj. udeří-li do vedení blesk), vznikne mezi růžky bleskojistky výboj, kterým se náboj blesku odvede do země. Napěťový impuls tak zanikne a výboj se přeruší.

Ruhmkorffův transformátor

Pomůcky

Ruhmkorffův transformátor, 1 až 2 akumulátory 6 V, vodiče

Úkol

Vyzkoušejte funkci Ruhmkorffova transformátoru, popište jeho princip.

Provedení

Ruhmkorffův transformátor připojíme k akumulátoru. Vzdálenost hrotů a destičky jiskřiště nastavíme na přibližně 5 cm. Komutátorem uzavřeme obvod primární cívky. Pozorujeme jiskrový výboj. Z délky jiskry a z hodnoty elektrické pevnosti vzduchu 3 kV/mm vypočteme přibližnou hodnotu vysokého napětí, které transformátor poskytuje.

Pozor! Nebezpečí úrazu vysokým napětím!

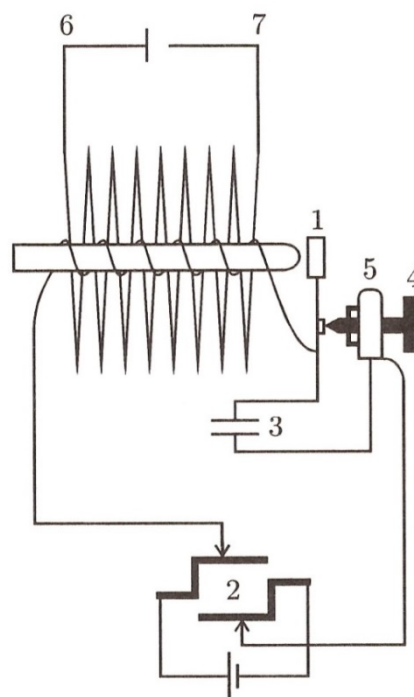
Závěr

Ruhmkorffův transformátor poskytuje vysoké napětí (řádově desítky kV), to umožňuje vyvolání jiskrového výboje ve vzduchu za normálního tlaku.

Komentář – princip Ruhmkorffova transformátoru

Ruhmkorffův transformátor je transformátor na otevřeném jádře napájený přerušovaným stejnosměrným proudem. Vývody sekundární cívky jsou spojeny s jiskřištěm. Primární cívka je tvořena malým počtem závitů tlustšího drátu, sekundární cívka obsahuje velký počet závitů tenkého drátu.

Uspořádání celého transformátoru je vidět na obrázku. Primární obvod je tvořen primární cívkou, akumulátorem a přerušovačem (1). Zapínání a vypínání primárního obvodu se provádí komutátorem (2), který slouží v případě potřeby současně ke změně směru proudu v primárním obvodu. Paralelně ke kontaktům přerušovače je připojen kondenzátor (3) o kapacitě několika μF , jehož účelem je zabránit jiskření mezi kontakty přerušovače při přerušení primárního proudu. Vzdálenost kontaktů přerušovače se nastavuje šrouby (4) a (5).



Sekundární vinutí je vyvedeno na zdíčky (6) a (7), do kterých jsou nasunuty elektrody jiskřiště. Vzdálenost hrotu od destičky nesmí být větší než několik cm. Stejně tak nesmí být uveden do chodu transformátor bez elektrod jiskřiště, protože by mohlo dojít k probití sekundárního vinutí a tím ke zničení transformátoru.

2) Přenos elektřiny do domácnosti

Dálkový přenos elektrické energie

Experiment názorně ukazuje, proč je nutné přenášet elektrickou energii při vysokém napětí.

Pomůcky

dvě lístková jádra U a I, dvě žárovky 12 V/21 W, střídavý zdroj napětí 12 V, dvě upínací zařízení, reostat 13 Ω , dvě cívky 60 z (L1), dvě cívky 1200 z (L2), reostat 250 Ω , čtyři Holtzovy svorky, vodiče

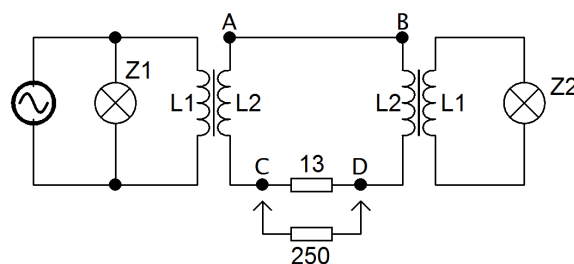
Příprava a provedení

Pokus provedeme ve čtyřech krocích:

- 1) Žárovku 12 V/21 W připojíme ke zdroji střídavého napětí 12 V a pozorujeme jas žárovky.
- 2) Tutéž žárovku připojíme ke stejnému zdroji napětí přes sériově zapojený reostat 13 Ω , který demonstruje odpor dálkového vedení. Pozorujeme, že se jas žárovky výrazně sníží.

- 3) Sestavíme obvod podle schématu na obrázku.

Cívky označené L1 mají 60 závitů, cívky označené L2 mají 1200 závitů. Oba transformátory sestavíme na uzavřeném jádře a spojíme upínacím zařízením. Dálkové vedení vysokého napětí mezi sekundární cívkou prvního transformátoru a primární cívkou druhého



transformátoru znázorníme dlouhými vodiči mezi Holtzovými svorkami A, B, C, D. Do tohoto vedení zařadíme opět reostat 13Ω . Pozorujeme, že jas obou žárovek je stejný.

4) Vypneme zdroj napětí a nahradíme reostat 13Ω reostatem 250Ω . Po připojení napětí zjistíme, že se jas žárovky Z2 příliš nezměnil.

Závěr

Při užití vysokého napětí pro přenos elektrické energie na dálku jsou i při větším odporu vedení ztráty při přenosu elektrické energie podstatně menší než bez transformace nahoru.

Komentář

Pro studenty může být zajímavé provést i výpočet týkající se ztrátového výkonu na vedení v reálné situaci, kterou lze inspirovat např. přenosem energie z elektrárny do daného města. Příklad hodnot: odpor vedení 10Ω , výkon elektrárny 69 kW . Úkolem studentů potom je určit ztrátový výkon, pokud je elektrická energie přenášena při napětí 230 V resp. 22 kV . Pro studenty je v první části výpočtu velmi překvapivý celkový proud, který dráty teče; lze tak s nimi diskutovat, jak tlusté by musely být dráty, které by tento proud vydržely bez roztavení. V druhé části výpočtu pak studenti zjistí, že se (s uvedenými hodnotami) „ztratí“ větší výkon, než jaký přenášíme.

Zásuvka

Pomůcky

Zásuvka, zkoušečka

Provedení

Pomocí zkoušečky zjistěte, který z vodičů v zásuvce je pod napětím (tj. ke které zdířce je připojen tzv. fázový vodič). Rozmyslete si, proč jsou do zásuvky vedeny tři vodiče (dvě zdířky a kolík) a k jakému účelu se jednotlivé vodiče používají.

Závěr a vysvětlení

Fázový vodič by měl být připojen k levé zdířce (je-li kolík nahoře). Pravá zdířka ani kolík pod napětím nejsou.

Podle normy by měl mít fázový vodič černou nebo hnědou barvu. K pravé zdířce je připojen tzv. střední vodič (modrý), ke kolíku potom ochranný vodič (žlutozelený). Spotřebiče, u kterých nemůže dojít k dotyku osoby s „živými částmi“ (tj. s „vnitřnostmi“ přístroje, které jsou za normálního provozu pod napětím) jsou označovány jako spotřebiče II. třídy. Tyto spotřebiče se k zásuvce připojují pomocí dvojvidlice, bez připojení ke kolíku. Všechny ostatní spotřebiče by měly mít ochranný vodič připojený ke kovovým částem tak, aby se v případě jakékoliv poruchy proud odvedl tímto vodičem a ne člověkem. Podrobněji o elektrických rozvodech pojednává článek P. Žilavého (<http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=92>).

Poznámka

Občas (hlavně u rozdvojek) lze najít i přehozené zdířky s fázovým vodičem vpravo. Nelze proto automaticky spoléhat na to, že je fáze vždy vlevo.

Princip zkoušečky fáze

Základním principem činnosti „fázovky“ je doutnavkový výboj, který tak signalizuje přítomnost napětí (fáze). Tato zkoušečka se skládá z měřicího hrotu, izolované části, doutnavky, předřadného rezistoru (v řádu $M\Omega$) a dotykové části. Měřicí hrot přikládáme ke zkoušené části (vsouváme do zdířky zásuvky) a prst přikládáme na dotykovou část (tzv. kontaktní bod, který je naproti měřicímu hrotu). Pokud napětí na doutnavce překročí zápalné napětí ($\sim 70\text{ V}$), doutnavka se slabě rozsvítí. Při tom teče nepatrný proud, který může bez nebezpečí úrazu a pocitového vjemu procházet lidským tělem. Svítící doutnavka pak indikuje napětí (fázi) na zkoušené části.

Pojistka a jistič

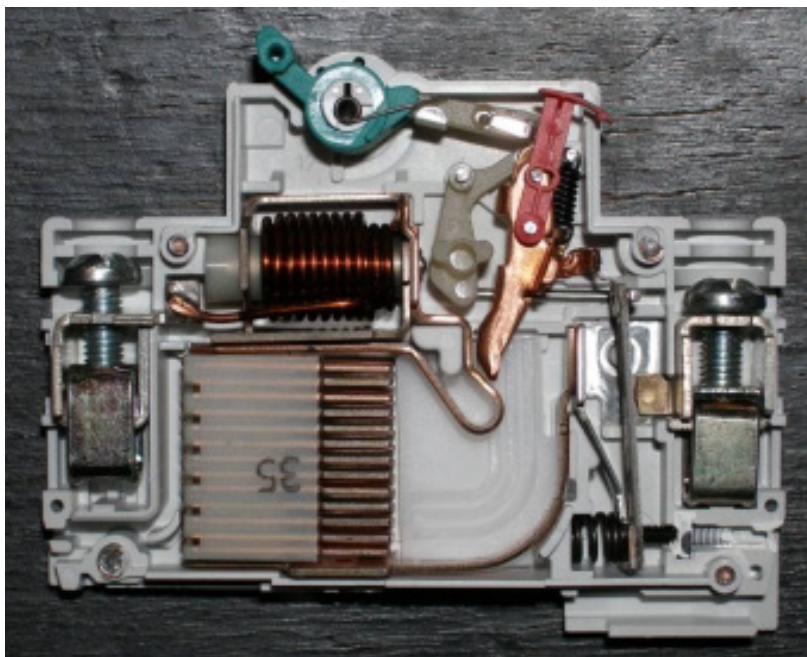
Cílem experimentu je prozkoumat funkci pojistky a jističe.

Pomůcky

přístrojová pojistka cca 200 mA, jistič

Provedení

Prohlédněte si konstrukci jističe. Jakými způsoby může jistič přerušit proud v obvodu? Připojte kontakty jističe ke zdroji napětí a postupně zvyšujte napětí. Za jakých podmínek jistič „vypne“? Popište rozdíly mezi jističem a pojistkou.



Závěr

Při překročení dané hodnoty proudu se pojistka přepálí, přeruší tak obvod a žárovka zhasne.

Jistič při překročení dané hodnoty proudu pouze „vypadne“, lze tak na rozdíl od pojistky použít opakovaně. V jističi jsou použity dva různé mechanismy přerušení proudu: 1) elektromagnet přitáhne kotvu, která tak přeruší proud (pro případ proudové špičky nad stanovenou hodnotu). 2) Bimetalový pásek se zahřeje, díky tomu se ohne a tím dojde k přerušení kontaktu (pro případ déletrvajícího většího proudu).

Další informace

Princip jističe je podrobně popsán v publikaci [3].

Literatura

Při zpracování experimentů jsme vycházeli z následujících zdrojů:

[1] E. Svoboda a kol.: Pokusy z fyziky na střední škole 3. Prometheus, Praha 1999.
ISBN: 80-7196-009-8

[2] Koudelková V.: Transformujeme? Transformujeme. Transformujeme!. Dílny Heuréky 2008.
Sborník konference projektu Heuréky. Praha 2009. ISBN: 978-80-7196-397-4

[3] P. Žilavý: Střídavé proudy. Projekt OPPA. Praha 2012. ISBN 978-80-8786-98-5. Dostupné na <http://kdf.mff.cuni.cz/projekty/oppa/#materialy>

Tento materiál vznikl v rámci opatření na podporu studijních programů zaměřených na přípravu budoucích učitelů na pedagogických i nepedagogických fakultách veřejných vysokých škol (2021).

Některé experimenty jsou také zpracované ve sbírce fyzikálních pokusů – viz <http://kdf.mff.cuni.cz/pokusy/>.