



Skripta

Školní rok : 2005 / 2006

Modul: ELEKTRICKÉ STROJE
skripta 8

elementární modul: **TRANSFORMÁTORY**

Obor:
26-43-L/001 - Mechanik elektronik

26-51 H/003 – Elektrikář - silnoproud

26-41/L501 – Elektrotechnika

Ročník: 2. ročník - Mechanik elektronik - denní maturitní studium

2. ročník - Elektrikář – učební obor

1. ročník – Elektrotechnika – nástavbové studium

1. ročník – Elektrotechnika – dálkové studium

Elementární modul: **Transformátory**

Výukové cíle:

- Popíšete princip transformace
- Popíšete jejich konstrukci a provedení, rozdělení a uspořádání, řízení, spojování a užití
- Vysvětlíte jednotlivé provozní stavy transformátorů
- Nakreslíte schémata vnějšího a vnitřního zapojení vinutí transformátorů

Pojmy k zapamatování

Podstata transformátoru význam a použití, popis transformátoru podstata transformátoru a princip činnosti. Indukované napětí, převod transformátoru. Náhradní schéma. Stavy transformátoru - transformátor na prázdnou, nakrátko a při zatížení. Měření na transformátoru. Trojfázový transformátor. Paralelní chod a účinnost transformátoru. Řízení napětí transformátorů. Zapojení vinutí trojfázových transformátorů, paralelní chod transformátorů, vlastnosti, použití. Zvláštní druhy transformátorů, autotransformátor, svařovací transformátor, měřicí transformátor proudu a napětí

Kontrolní otázky

1. Které typy trojfázových transformátorů lze zatěžovat jednofázově (nesymetricky)?
2. Které typy trojfázových transformátorů jsou používány pro nesymetrické zatížení?
3. Jmenujte 4 hlavní skupiny zapojení trojfázových transformátorů.
4. Za jakých podmínek mohou být trojfázové transformátory zapojeny paralelně?

1. Elektrické stroje

V silnoproudých zařízeních zaujímají významné místo netočivé a točivé stroje.

Mezi stroje netočivé patří transformátory, natáčivé transformátory, usměrňovače a stroje, které přeměňují elektrickou energii jedné soustavy na elektrickou energii jiné soustavy - měniče

Větší skupinu tvoří stroje točivé, a to asynchronní, synchronní, střídavé komutátorové motory a stroje stejnosměrné. V těchto strojích se přeměňuje buď mechanická energie na elektrickou (generátory), nebo elektrická na mechanickou (motory).

Zvláštní skupinu elektrických strojů tvoří motory lineární a krokové. Lineární motory se řadí mezi indukční stroje a krokové motory mezi synchronní stroje. Zvláštní alternativou lineárních pohonů jsou lineární krokové pohony, které jsou obdobou rotačních krokových motorů.

1.1. Transformátory

Kromě synchronního alternátoru je nejdůležitějším a nejvýznamnějším strojem v elektrizační soustavě transformátor. Většinu transformátorů používáme k přeměně napětí jednofázové nebo trojfázové soustavy daného kmitočtu na jiné napětí stejného kmitočtu.

Takto vhodně transformovaná napětí používáme nejen k rozvodu elektrické energie na velké vzdálenosti, ale i k napájení průmyslových objektů, dolů, lomů, sídlišť a obcí.

1.1.1. Princip transformátoru

Do vstupní ho (primárního) vinutí přichází střídavý proud a tím i elektrická energie. Tato energie je prostřednictvím střídavého magnetického toku v magnetickém jádře předávána

dále. Protože magnetický tok periodicky mění svou velikost i směr s kmitočtem vstupního proudu, indukuje se v sekundárním vinutí napětí stejného kmitočtu.

1.1.2. Rozdělení a použití transformátorů

V elektrárnách se používají transformátory **blokové**, které tvoří s příslušným alternátorem výrobní jednotku. K vyvedení výkonu z elektráren do sítí různého napětí nebo k vzájemnému spojení těchto sítí se používají tzv. **síťové nebo spojovací** transformátory.

Vlastní spotřeba elektrické energie pro pomocné proozy elektráren se zajišťuje transformátory **vlastní spotřeby**. Pro zásobování rozvodné sítě se používají transformátory distribuční. Elektrická energie pro přechodná nebo odlehlá pracoviště se zajišťuje **pojízdnými transformovkami** na železničních nebo silničních podvozcích.

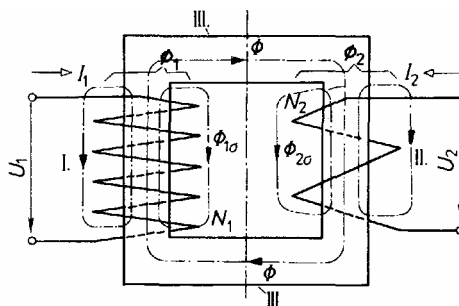
V elektrárnách se používají transformátory **blokové**, které tvoří s příslušným alternátorem výrobní jednotku. K vyvedení výkonu z elektráren do sítí různého napětí nebo k vzájemnému spojení těchto sítí se používají tzv. **síťové nebo spojovací** transformátory.

Vlastní spotřeba elektrické energie pro pomocné proozy elektráren se zajišťuje transformátory **vlastní spotřeby**. Pro zásobování rozvodné sítě se používají transformátory distribuční. Elektrická energie pro přechodná nebo odlehlá pracoviště se zajišťuje **pojízdnými transformovkami** na železničních nebo silničních podvozcích.

Ke speciálním účelům se používají transformátory: **ohřívací, pecové, svařovací, rozptylové, rozmrazovací, natáčivé, spouštěcí, oddělovací, nevybušné, bezpečnostní, usměrňovačové, trakční, lokomotivní, zkušební a měřicí** [7], [15].

1.1.3. Jednofázový transformátor

Základní částí každého transformátoru je **magnetický obvod**, který je složen z elektrotechnických plechů tloušťky 0,35 nebo 0,5 mm. Na železném jádře jsou navinuty **dvě cívky**, a to **primární** - vstupní I, a **sekundární** - výstupní II. Vinutí jsou ukončena na víku transformátorové nádoby **průchodkami** nn, vn nebo vvn. Principiální uspořádání jednofázového transformátoru je patrné z obr.



Obr. 14. Základní schéma jednofázového transformátoru

Při návrhu transformátoru používáme tyto vztahy:

pro **okamžité hodnoty napětí** platí.

$$u_1 = N_1 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}; \quad u_2 = N_2 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}; \quad \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{u_1}{N_1} = \frac{u_2}{N_2}$$

pro **efektivní hodnoty napětí a proudu** platí

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}; \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

Převodem transformátoru rozumíme poměr svorkových napětí

$$p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

Převod transformátorů se udává poměrem **napětí při chodu naprázdno**, kdy lze úbytky napětí na vnitřních odporech vstupního vinutí zanedbat. Jen u transformátorů do výkonu 5 kVA se udává poměr napětí při jmenovitém zatížení.

Základní vlastnosti transformátorů **zjišťujeme z měření naprázdno a z měření nakrátko**. Příkon naměřený při chodu naprázdno se rovná ztrátám v železe a ztrátám vzniklým průchodem proudu naprázdno vstupním vinutím transformátoru. Příkon zjištěný při měření nakrátko se spotřebuje na krytí ztrát ve vinutí transformátoru a na tzv. dodatečné ztráty, které

vznikají nerovnoměrným rozdělením proudu ve vodičích většího průřezu a v kovových konstrukcích obklopujících vinutí.

Transformátor je většinou trvale připojen k síťovému napětí, takže stále odebírá příkon ke krytí ztrát naprázdno. Jejich velikost je tedy mírou hospodárnosti provozu transformátoru a rovněž jeho jakosti. Podstatného **zmenšení ztrát v železe** dosáhneme použitím tzv. orientovaných plechů (válcovaných zastudena), které mají měrné ztráty pouze 0,6 až 0,8 W/kg.

1.1.3.1. Činnost naprázdno

Činnost naprázdno transformátoru je činnost s buzením vstupu bez zátěže na výstupu. Pro budicí zdroj je induktivní zátěž.

Při buzení sinusovým napětím vzniká o 90° zpožděný sinusový **magnetizační proud** a ve fázi s ním **indukční tok (obr. 1)**. Důsledkem střídavého magnetického toku je sinusové napětí ve výstupní cívce, fázově zpožděné o 90° za indukčním tokem.

Reálný transformátor odebírá i v nezátíženém stavu nepatrný výkon, který ohřívá jádro hysterezními ztrátami a vířivými proudy a vinutí úměrně činnému odporu. Proud I_0 naprázdno má oproti vstupnímu napětí nepatrně menší fázové posunutí než magnetizační proud I_m , **neboť předmagnetizace železného jádra ztrátovým proudem I_v představuje ztrátový výkon (obr. 2)**. Účinník při běhu naprázdno je asi 0,2.

Nezátížený transformátor se chová jako cívka s velkou indukčností.

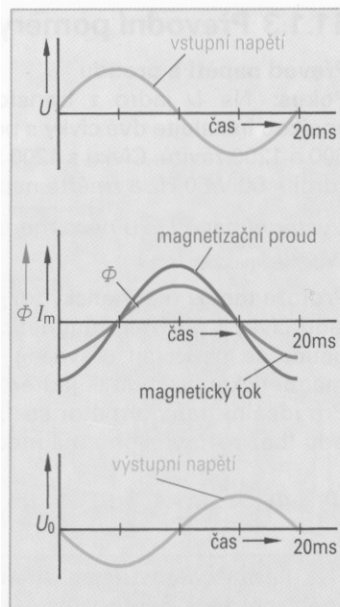
Transformátor může být zničen přivedením vyššího napětí po měrně rychle, protože vzhledem k téměř nasycenému jádru za běžného pracovního režimu začne při přesycení klesat impedance a proud velmi rychle narůstá, což vede k přehřátí vinutí a zničení izolace.

Pokus 1: Připojte jednofázový transformátor s odnímatelnou spojkou U-jádra přes ampérmetr na síťové napětí. Měřte proud naprázdno. Po odpojení zvětšete mezeru mezi spojkou a rameny U-jádra vložím tvrdého papíru v síle asi 0,5 mm a opakujte měření.

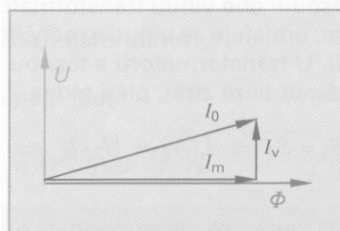
Při zvětšení vzduchové mezery (mezery v železe vyplněné izolantem) vzroste proud naprázdno.

Pro dosažení určité magnetické indukce v magnetickém obvodu je pak zapotřebí větší magnetomotorická síla, protože při rozptylu magnetického pole v oblasti vzduchové mezery se zmenší indukčnost cívky L , tedy i magnetický odpor X_L , vzroste tedy při stejném napětí proud. Proud naprázdno je závislý i na vlastnostech jádra transformátoru.

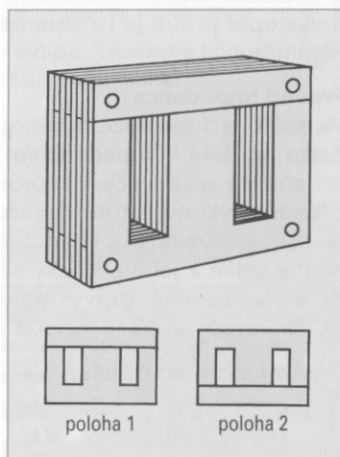
Proud naprázdno je způsoben jenom ztrátami. Kvůli chybějící zátěži je malý účinník (poměr činného a celkového zdánlivého výkonu). Aby byl proud naprázdno malý, zabraňuje se vzniku vzduchové mezery v jádru tak, že klademe E plechy střídavě proti sobě tak, aby střídavě překrývaly mezeru. E plechy na souváme do kostry s navinutou cívkou po vyhnutí středu E plechu střídavě z jedné a druhé strany a doplňujeme je spojkou (obr. 3).



Obr. 1 Průběhy napětí a proudu na ideálním transformátoru



Obr. 2 Napětí a proudy nezátíženého transformátoru



Obr. 3 Střídavě kladené E-plechy pro eliminaci vzduchové mezery

1.1.3.2. Činnost při zatížení

Činnost při zatížení

je činnost při odběru proudu ze sekundárního (výstupního) vinutí transformátoru. Zatěžovací proud protékající vinutím sekundární cívky zeslabuje podle Lenzova pravidla příčinu svého vzniku, tj. střídavé magnetické pole. Vstupní proud proto narůstá, zatímco magnetický tok zůstává přibližně konstantní.

Pokus 2: Připojte na síť transformátor. Připojte na vstup zesilovače s reproduktorem cívku s 300 závitů a držte ji v blízkosti transformátoru. Z reproduktoru je slyšet slabý síťový brum. Připojte na výstup transformátoru zátěž.

Brum z reproduktoru zesílí. Při nárůstu proudu v transformátoru zesílí celkový, tedy rozptýlený magnetický tok (obr. 1), který indukuje v blízké cívce napětí a toto střídavé napětí se síťovým kmitočtem způsobí po zesílení brumu v reproduktoru.

V nezatíženém transformátoru prochází téměř veškerý magnetický tok železným jádrem. Při zatížení vytváří proud ve výstupu (sekundárním) vinutí opačně orientovaný (sekundární) magnetický tok, který oslabí primární magnetický tok vstupního vinutí. Vstupní proud pak stoupne tak, že magnetický tok se opět zvýší. Část magnetického toku neprochází jádrem, ale okolím a nazývá se rozptylový magnetický tok (obr. 1) a vytváří se kolem každé cívky s jádrem.

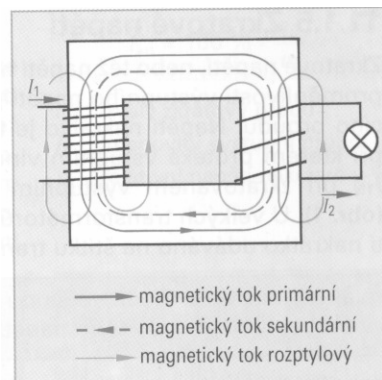
Část magnetického toku transformátoru, která prochází jen vstupní nebo jen výstupní cívkou transformátoru, se nazývá rozptylový tok.

Kvůli rozptylovému toku transformátoru je nutné ve sdělovací technice jejich odstínění. Cívka, kterou prochází rozptylový tok, působí jako tlumivka. Transformátor se z pohledu svého výstupu chová jako zdroj střídavého napětí, jehož vnitřní odpor (impedance) je tvořen činným odporem a indukčností (obr. 2).

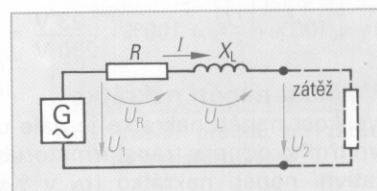
Pokus 3: Připojte jednofázový transformátor na síť a měřte výstupní napětí nejprve naprázdno a pak při narůstajícím zatěžovacím proudu a sice při zátěži činným odporem, indukčností a kapacitou.

Výstupní napětí klesá při činné a při indukční zátěži, ale na roste při kapacitní zátěži (obr. 3).

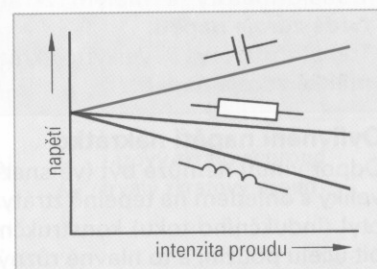
V náhradním zapojení (obr. 2) je transformátor zdrojem napětí naprázdno U_1 . Na vnitřním činném odporu R a na vnitřním jalovém indukčním odporu X_L vznikají při zatěžovacím proudu I úbytky napětí. Fázový posun mezi napětím na prázdno a zatěžovacím proudem je dán typem zátěže (obr. 2). Při indukční zátěži je pokles výstupního napětí U_2 větší než při činné zátěži. Při kapacitní zátěži výstupní napětí naroste (obr. 4), neboť výstupní indukčnost a zatěžovací kapacita spolu vytvoří sériový kmitavý obvod. Proto nesmějí být velké kondenzátory zapojovány samotné do sítě.



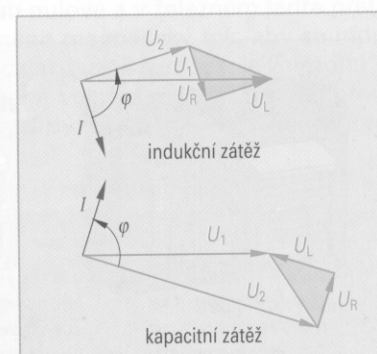
Obr. 1 Magnetické indukční čáry zatíženého transformátoru



Obr. 2 Zjednodušené náhradní zapojení transformátoru



Obr. 3 Průběh výstupního napětí v závislosti na typu zátěže



Obr. 4 Vektorové diagramy napětí při různých typech zátěží transformátoru

Výstupní napětí transformátoru je závislé na velikosti zatěžovacího proudu a na typu zátěže.

1.1.3.3. Napětí nakrátko

Napětí nakrátko (nebo též zkratové napětí), je ukazatelem proměnlivosti výstupního napětí při změnách zatěžovacího proudu. **Napětí nakrátko je takové vstupní napětí, při kterém protéká vstupním vinutím jmenovitý proud I_{IN} při zkratovaném výstupním (sekundárním) vinutí (obr. 1).** U velkých transformátorů (nad 16 kVA) je napětí nakrátko udáváno na štítku transformátoru.

Napětí nakrátko není většinou udáváno v procentech jmenovitého napětí.

Při měření nakrátko zjistíme tzv. procentní napětí nakrátko, které je velmi důležitým parametrem transformátoru. Procentní napětí nakrátko je dáno vztahem

$$u_k = \frac{U_k}{U_1} 100 = \frac{I_1 \cdot Z}{U_1} 100 \quad (\%, V, V; A, \Omega, V)$$

kde U_k je naměřené napětí nakrátko. Proud nakrátko určíme podle vztahu

$$I_{1k} = 100 \frac{I_1}{u_k} \quad (A; A, \%)$$

Z napětí nakrátko určíme impedanci transformátoru podle vztahu

$$Z = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_1}{I_1} \quad (\Omega; \%, V, A)$$

Napětí nakrátko bývá u menších transformátorů (do 1600 kVA) 4 až 6 % a u větších transformátorů až 11 %.

Čím větší je napětí nakrátko, tím menší je proud nakrátko, a tím menší jsou i ztráty ve vinutí transformátoru, tj. ztráty nakrátko.

Celkové ztráty transformátoru jsou dány součtem ztrát naprázdno a nakrátko podle vztahu

$$\Delta P = \Delta P_0 + \Delta P_k$$

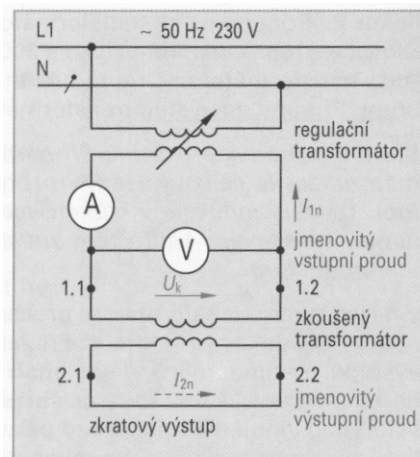
Příklad: Transformátor 230 V/24 V, 1 A/9 A vyžaduje při zkratovaném 24 V vinutí napětí na vstupu 23V, aby primární cívkou protékal jmenovitý proud 1 A. Jak velké je relativní napětí nakrátko u_k ?

$$u_k = 100 \% \cdot \frac{U_k}{U_n} = 100\% \cdot \frac{23 V}{230 V} = 10\%$$

Velikost napětí nakrátko

je dále ukazatelem zdánlivého vnitřního odporu transformátoru (viz tabulka). Nízké relativní napětí nakrátko (u_k v %) je známkou malého vnitřního odporu, což znamená, že výstupní napětí při zatížení jen málo poklesne.

Transformátory s malým zkratovým napětím jsou tvrdé zdroje napětí. Transformátory s velkým zkratovým napětím jsou měkké zdroje napětí.



Obr. 1 Měření zkratového napětí

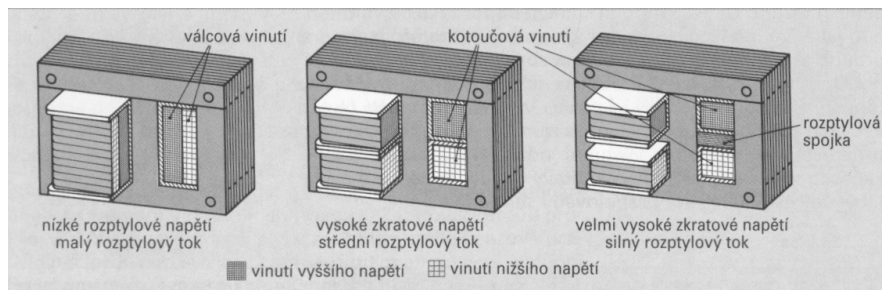
$$u_k = 100 \% \cdot \frac{U_k}{U_n}$$

u_k relativní napětí nakrátko v %
 U_k naměřené napětí nakrátko ve V
 U_n jmenovité vstupní napětí transformátoru

Tabulka: Zkratové napětí	
měřicí transformátory	do 1 %
trojfázové transformátory	
do 200 kVA	4 %
250 kVA až 3150 kVA	6 %
4 MVA až 5 MVA	8 %
nad 6,3 MVA	10 %
jednofázové transformátory	
bezpečnostní transformátory	15 %
zvonkové transformátory	40 %
zkušební transformátory (vzájemně propojitelné)	70 %
zpalovací transformátor (cívka)	100 %

Ovlivnění napětí nakrátko

Odpor vinutí nemůže být (ve snaze o malý průřez) příliš veliký s ohledem na tepelné ztráty. Naproti tomu lze rozptyl (indukčního toku) konstrukčním řešením přizpůsobit účelu použití, a to hlavně různým uspořádáním vinutí (**obr. 2**). např. uspořádáním vinutí na jedné či více cívkách, nebo vložením rozptylové spojky do jádra, což rovněž ovlivní napětí nakrátko.



Obr. 2 Ovlivnění zkratového napětí transformátoru uspořádáním vinutí

1.1.3.4. 11.1.6 Zkratový proud

Dojde-li na výstupní (sekundární) straně transformátoru ke spojení se zanedbatelným odporem, nastane tzv. zkrat. Transformátor pak dává zkratový proud. Trvá-li zkrat déle než jednu periodu střídavého napětí, mluvíme o trvalém zkratovém proudu I_{kd} . Zkratový proud je u transformátorů s malým zkratovým napětím velký a u transformátorů s velkým zkratovým napětím malý. Velké zkratové proudy mohou zničit vinutí transformátoru, vypínače, rozváděče, sběrnice a zařízení.

U transformátorů s malým zkratovým napětím jsou zkraty nebezpečné.

Příklad 1: Na výstupu transformátoru pro malé bezpečné na pět (230 V/124 V, 1 N9 A, $U_k = 5\%$) došlo ke zkratu. Jaký je trvalý zkratový proud?

$$I_{kd} = 100\% \cdot \frac{I_n}{U_k} = 100\% \cdot \frac{9 \text{ A}}{5\%} = 180 \text{ A}$$

Výstupní proud, který teče okamžitě po vzniku zkratu, se nazývá rázový zkratový proud I_s který může být až dvakrát větší, než trvalý zkratový proud (viz obr.).

Velikost (intenzita) rázového zkratového proudu závisí na hodnotě trvalého zkratového proudu a na okamžité hodnotě střídavého napětí při vzniku zkratu. Zvláště nepříznivá situace nastane při zkratu v okamžiku, kdy je okamžitá hodnota výstupního napětí nulová. V tomto okamžiku má magnetizační proud i magnetická indukce svou maximální hodnotu. Podle Lenzova pravidla se snaží zkratované výstupní vinutí zachovat pole stejné intenzity (jaká byla v okamžiku zkratu). Po několika periodách poklesne zkratový proud na úroveň trvalého zkratového proudu (obr.).

Příklad 2: Jak velký je rázový zkratový proud z příkladu 1 v nejnepříznivějším případě?

$$I_s = 2,55 \cdot I_{kd} = 2,55 \cdot 180 \text{ A} = 459 \text{ A}$$

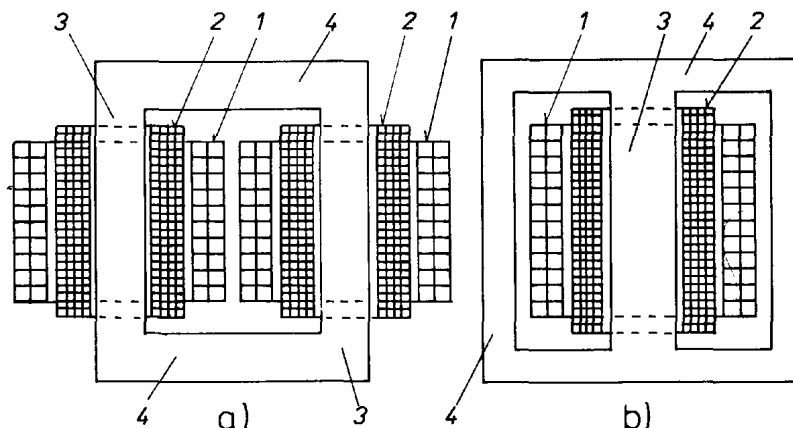
1.1.3.5. Spínací proud

Při zapínání transformátoru mnohdy tečou velké proudy na vstupu, i když transformátor není zatížen. Spínací proud může dosáhnout více než desetinásobku jmenovitého proudu. Obzvláště nevýhodné je, když je vstupní síťové napětí v okamžiku zapnutí nulové a v železném jádře přetrvává zbytkový magnetismus. V okamžiku zapnutí se musí změnit magnetický tok, aby se indukovalo napětí. Má-li zbytkový magnetický tok stejnou orientaci jako vznikající tok, je železo brzy nasyceno a požadované napětí může být indukováno jen hodně velkým magnetizačním proudem. Jmenovitý proud pojistek na vstupu transformátoru musí být proto zhruba dvojnásobný než jmenovitý proud transformátoru.

1.1.3.6. Konstrukce jednofázových transformátorů

Vlastní konstrukce jednofázových transformátorů se provádí dvěma způsoby, jak je uvedeno na obr. 15. Jsou to tedy podle provedení magnetického obvodu a způsobu vinutí jádrové nebo plášťové transformátory.

Transformátory velkých výkonů používané v energetických výrobnách nebo významných elektrických stanicích se skládají z velkých jednofázových jednotek do trojfázových skupin. Každá skupina je doplněna říditelným transformátorem, takže tvoří úplný trojfázový říditelný transformátor.



Obr. 15. Uspořádání magnetického obvodu jednofázových transformátorů; a) jádrové, b) plášťové; 1 cívky nn (II), 2 cívky vn (I), 3 jádro transformátoru, 4 magnetická spojka

1.1.3.7. Účinnost transformátorů

Účinnost je poměr odevzdaného k přijatému činnému výkonu. Odevzdaný výkon je oproti přijatému výkonu menší o ztráty v železe (v jádře) a ztráty v mědi (ve vinutí).

Příklad: Transformátor 250 VA s účinnkem 0,7 je plně zatížen. Ztráty v železe jsou 10 W, ztráty ve vinutí jsou 15 W. Jaká je účinnost?

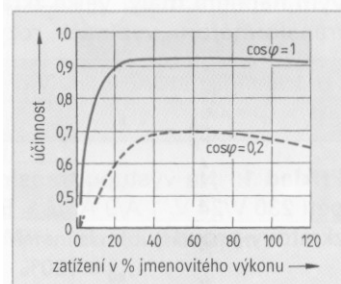
$$P_{ab} = S \cdot \cos \varphi = 250 \text{ VA} \cdot 0,7 = 175 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{ab} + P_{VFe} + P_{VWi}} = \frac{175 \text{ W}}{175 \text{ W} + 10 \text{ W} + 15 \text{ W}} = \frac{175 \text{ W}}{200 \text{ W}} = 0,875$$

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{ab} + P_{VFe} + P_{VWi}}$$

η účinnost
 P_{ab} vydaný výkon
 P_{VFe} ztráty v železe
 P_{VWi} ztráty ve vinutí

Magnetický tok v železném jádře nezávisí na zatížení, proto jsou ztráty v železe vždy stejné. Proud tekoucí ve vinutí je závislý na zatížení a ztráty ve vinutí jsou úměrné druhé mocnině proudu ($R \cdot I^2$). Jsou závislé na vstupním proudu a tím i na zdánlivém výkonu připojených spotřebičů (obr. 1) a ne pouze na jejich činném výkonu.



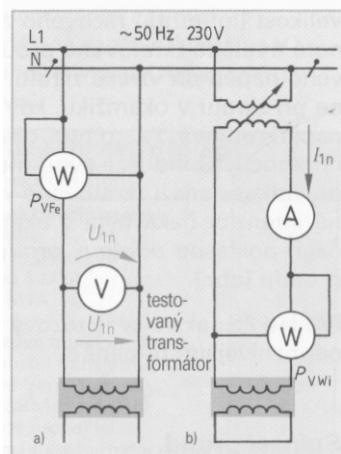
Obr. 1 Účinnost transformátoru při zatížení

Čím menší je účinník připojených spotřebičů, tím menší je také účinnost transformátoru.

V nezatíženém transformátoru nevznikají ztráty ve výstupním vinutí a ve vstupním vinutí vznikají jen velmi malé ztráty, které lze zanedbat. Výkon odebraný transformátorem naprázdno (s nezatíženým výstupem) je prakticky roven ztrátám v železe.

Ztráty v železe se u transformátoru měří při běhu naprázdno.

Při měření zkratového napětí tečou ve vinutích jmenovité proudy a nazývají se ztráty ve vinutí (ztráty v mědi). Při měření napětí nakrátko je při malých napětích velmi malý magnetický tok v jádře a tím téměř žádné ztráty v železe (obr. 2). Výkon



Obr. 2 Měření ztrátových výkonů při a) běhu naprázdno, b) běhu nakrátko

odebíraný transformátorem při měření zkratového napětí je prakticky roven ztrátám ve vinutí.

Ztráty ve vinutí se u transformátoru měří při zkratovaném výstupu.

Roční účinnost transformátoru je poměr mezi odevzdanou a přijatou energií (prací) za rok. Odevzdaná energie je menší o ztráty v železe a vinutí než přijatá energie. Protože ztráty v železe nejsou závislé na zatížení, klesá roční účinnost transformátoru, je-li transformátor trvale zapnut, ale jen někdy zatěžován.

Otázky k opakování

1. Jaké ztráty vznikají v transformátoru?
2. Jak se vypočte účinnost transformátoru?
3. V jakém režimu se měří ztráty v železe?
4. Jak se měří ztráty ve vinutí?
5. Jak závisí účinnost transformátoru na účinku připojených spotřebičů?

1.1.4. Trojfázový transformátor

Magnetický obvod trojfázových transformátorů se skládá ze tří jader spojených vzájemně dvěma magnetickými spojkami, jak ukazuje obr. 17.

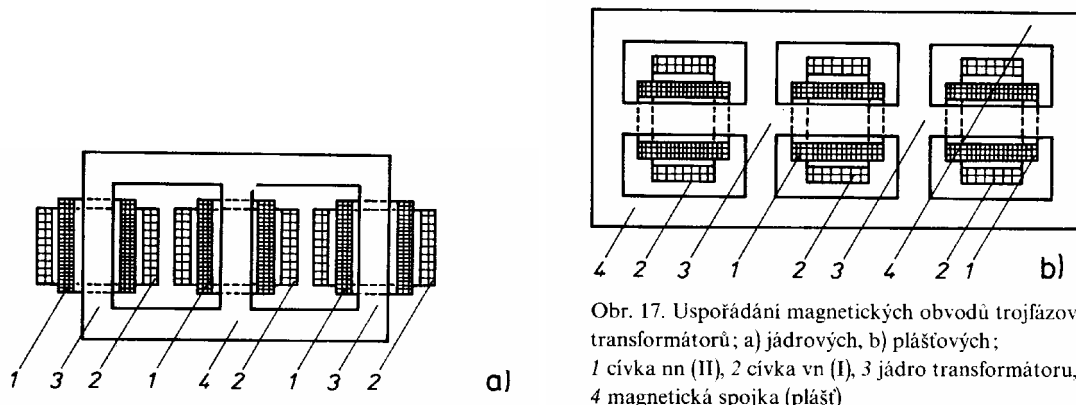
Při návrhu transformátorů uvažujeme vždy o tom, v kterém místě elektrizační soustavy budou umístěny, a podle toho se rozhodneme, jaké schéma navrheme pro spojení jejich vnitřních vinutí.

1.1.4.1. Zapojení transformátorů

Charakteristickým údajem o zapojení vinutí trojfázového transformátoru je tzv. hodinový úhel, který udává fázový posun mezi fázorem vstupního a výstupního napětí v hodinách, přičemž úhel 30° představuje jednu hodinu. Udává vždy zpoždění výstupního napětí za vstupním napětím.

Základní vnitřní napojení transformátorů jsou hvězda (Y, y), trojúhelník (D, d) a lomená hvězda (Z, z). Velkým písmenem se označuje zapojení vinutí s vyšším napětím, malým písmenem zapojení vinutí s nižším napětím.

Zapojení Yy se používá v sítích, v nichž a) zatížení nulového vodiče nemůže překročit 20 % zatížení fáze nebo v nichž b) nulový vodič není vůbec vyveden. Větší transformátory potlačují vliv nesouměrného zatížení pomocným vyrovnávacím vinutím (terciárním), zapojeným do trojúhelníka (Yy 0/d) s převodem např. 110/23/6,3 kV.



Obr. 17. Uspořádání magnetických obvodů trojfázových transformátorů; a) jádrových, b) plášťových; 1 cívka nn (II), 2 cívka vn (I), 3 jádro transformátoru, 4 magnetická spojka (plášť)

Zapojení Dy se používá u výkonů transformátorů nad 400 kVA, je-li jejich nulový vodič vyveden a zatížen (i plně). Vstupní vinutí zapojené do trojúhelníka působí jako vyrovnávací a potlačuje vliv nesouměrného zatížení transformátoru.

Zapojení Yd nepotřebuje vyrovnávací vinutí. Je výhodné pro největší transformátorové jednotky v elektrizační soustavě.

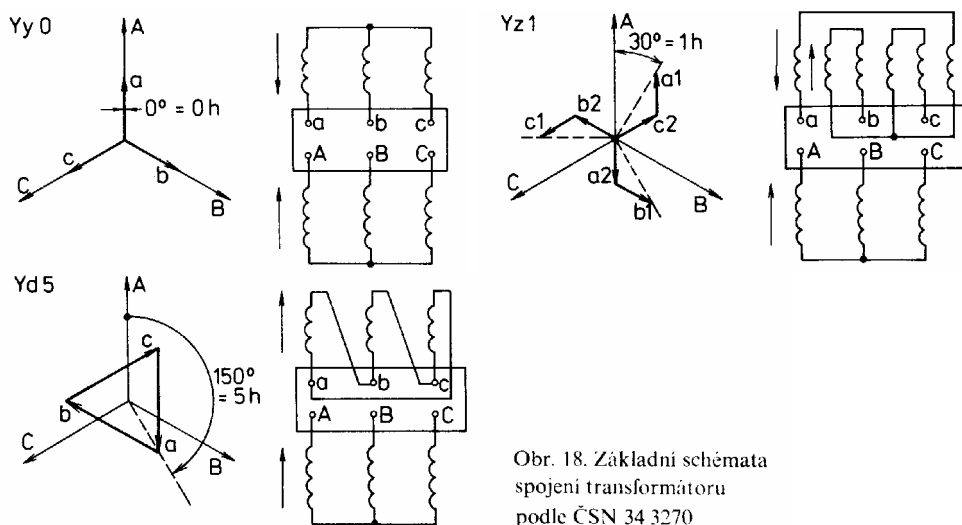
Zapojení Dd se používá u trojfázové skupiny složené ze tří jednofázových transformátorů. Při poruše jednoho z nich spojíme zbývající dva do V, čímž vznikne trojfázová soustava s menším výkonem, ale schopná provozu. Zapojení vinutí se v tom případě označuje Vv.

Zapojení Yz se používá do výkonu transformátorů 315 kVA (400 kVA), které napájejí sekundární síť nn s nesouměrným zatížením nulového vodiče nad 20 % jmenovitého proudu.

Zapojení V lze použít, jak již bylo uvedeno, při poruše některého jednofázového transformátoru z trojfázové skupiny (3 x Dd). Takto lze však spojovat i měřicí transformátory napětí při měření v trojfázové soustavě vn a vvn.

Zapojení T (tzv. Scottovo) slouží k přeměně dvoufázové soustavy na trojfázovou a naopak, čehož se využívá k napájení dvou jednofázových úseků elektrické trakce z trojfázové sítě nebo k napájení jednofázových obloukových pecí.

Příklad některých schémat zapojení je na obr. 18. V energetických zařízeních se používá zapojení Yy0, Yd 1, Dy 1 a Yz 1. Jiná zapojení se používají v elektrizační soustavě pouze tam, kde má paralelně spolupracovat nový a stávající transformátor. Výkony trojfázových transformátorů jsou i značně velké, protože výkony turboalternátorů dosahují hodnot nad 1000 MVA.



Obr. 18. Základní schémata spojení transformátoru podle ČSN 34 3270

1.1.4.2. Paralelní chod transformátorů

V elektrizační soustavě napájí obvykle několik transformátorů paralelně společnou síť.

Paralelní spolupráce transformátorů vyžaduje splnění několika základních podmínek:

- stejné jmenovité napětí vstupní a výstupní (naprázdno),
- převody napětí se nesmí lišit více než o $\pm 0,5 \%$
- napětí nakrátko musí být u všech transformátorů přibližně stejné s maximální tolerancí $\pm 10 \%$
- trojfázové transformátory musí mít stejný hodinový úhel, jinak procházejí mezi výstupními vinutími transformátorů značné vyrovnávací proudy.

Při paralelní spolupráci transformátorů se musí dbát na předpisy normy ČSN 34 3270 a 35 1000.

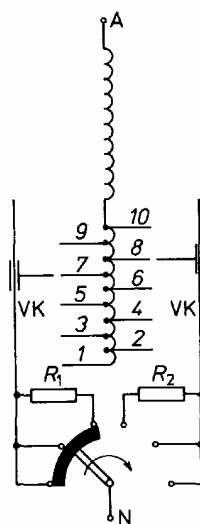
1.1.4.3. Řízení napětí transformátorů

Velmi často musíme upravovat napětí v elektrizační soustavě tak, abychom vykompenzovali úbytek napětí ve vedeních při proměnlivém zatížení (odběru) u spotřebitelů.

Napětí řídíme na vstupní straně transformátorů, neboť je jemnější a přepínací kontakty jsou menší, protože vedou menší proudy.

Menší transformátory (do 1600 kVA) mají předepsané řízení $\pm 5 \%$ na straně vn (podle ČSN 35 1000). Při přepínání je nutné vždy transformátor odpojit od sítě, nastavit příslušnou odbočku a transformátor znovu uvést pod napětí.

Transformátory s výkonem od 2 MVA mají 16 až 18 napět'ových stupňů po 1,78 nebo 2 % jmenovité hodnoty vyššího napětí. Tyto říditelné transformátory lze přepínat podle potřeby i za provozu.



Obr. 20. Jansenův transformátorový odporový přepínač odboček; VK voliče odboček, R_1 a R_2 přepínací rezistory

Odbočky přepínáme např. stupňovým přepínačem s tlumivkou, s rezistory nebo s přidavným transformátorem. Nejpoužívanější je Jansenův přepínač odboček s rezistory, který je na obr. 20. Hlavní částí přepínače je volič odboček, kterým se předem nastaví požadovaná odbočka a výkonový spínač, který provede přepnutí bez přerušení elektrického proudu a bez zkratování cívky. Vyrovnávací proud mezi odbočkami je během přepínání omezen přepínacími rezistory R_1 a R_2 .

Odbočky se přepínají dálkově z dozorny prostřednictvím motorového pohonu umístěného v transformátoru nebo v případě jeho poruchy ruční pákou v místě pohonu.

Otázky k opakování

1. Na kterých veličinách závisí napětí naprázdno transformátoru?
2. Jaké veličiny se v transformátoru mění při změnách vstupního napětí?
3. Co to jsou rozptylové magnetické čáry?
4. Jak se změní výstupní napětí při kapacitní zátěži?
5. Jak se měří napětí nakrátko transformátoru?
6. Jaký vliv má malé napětí nakrátko na výstupní napětí při zatížení?
7. Jak jsou konstruovány transformátory
 - a) s malým napětím nakrátko,

b) s velkým napětím nakrátko?

Otázky k opakování

1. Jaké ztráty vznikají v transformátoru?
2. Jak se vypočte účinnost transformátoru?
3. V jakém režimu se měří ztráty v železe?
4. Jak se měří ztráty ve vinutí,?
5. Jak závisí účinnost transformátoru na účinníku připojených spotřebičů?

Otázky k opakování

1. Které bezpečnostní transformátory musí být odolné proti zkratu?
2. Jak velké může být napětí transformátoru pro hračky?
3. Jak se provádí zkouška vinutí?
4. Jak se měří izolační odpor malých transformátorů?

1.1.5. Malé transformátory

Malé transformátory jsou transformátory se jmenovitým výkonem do 16 kVA pro sítě do 1000 V a do 500 Hz (obr. 1). Malé transformátory musí být zvláště zabezpečeny proti úrazu elektrickým proudem, protože s nimi přicházejí do styku osoby neznalé bez elektrotechnické kvalifikace. Používají se např. jako zdroje napětí pro elektrického vrátného, domovní zvonky nebo jako bezpečnostní transformátory pro ruční svítilny a hračky.

1.1.5.1. Konstrukce malých transformátorů

Jádra malých transformátorů se skládají z transformátorových plechů normovaných tvarů a velikostí. Podle tvaru rozeznáváme plechy tvaru: EI, M, UII a L (obr. 3). Používají se i jiné tvary, jakož i jádra vinutá z plechového pásku. Ke spojení se používají šrouby nebo nýty izolované od plechů. Vnější plochy plechů musí být chráněné izolací a proti korozi např. impregnačním lakem.

Vinutá C-jádra jsou navinuta z železného pásku, jehož krystalová struktura je orientována ve směru válcování a tedy i ve směru vinutí jádra. Ztráty předmagnetizací v tomto směru jsou pak velmi malé. Kolmo ke směru válcování jsou naopak ztráty předmagnetizací velké. Pokud by byly orientované plechy použity k výrobě skládaných jader (obr. 3) a ne vinutých (obr. 4), musel by být průřez jádra zesílen v místech, kde by siločáry (směr magnetického toku) nebyly ve směru orientace plechů. Transformátory s vinutými C-jádry mají malý rozptyl a velmi malé ztráty v železném jádře.

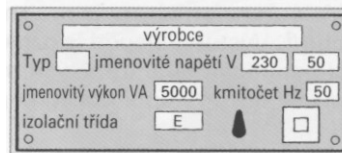
Vinutí je většinou z lakovaného měděného drátu, navinuté na kostře cívky vylišované většinou z plastu. Jednotlivé vrstvy vinutí jsou prokládány vrstvou lakovaného papíru nebo plastové fólie. Izolační vrstva není nutná, je-li rozdíl špičkových hodnot napětí mezi začátkem a koncem vinutí jedné vrstvy menší než 25V. Při použití drátu s lakovanou hedvábnou izolací nebo smaltovanou hedvábnou izolací je zapotřebí izolace mezi dvěma vrstvami teprve až od rozdílu napětí 200 V mezi vrstvami.

Jsou vyráběny také transformátory svinutím z hliníkového pásku z tenké fólie, podobné fólii pro výrobu kondenzátorů. Protože je u těchto transformátorů tvořena každá vrstva jen jedním závitem, je napětí mezi vrstvami nepatrné. Takové transformátory jsou velmi odolné proti průrazu napětím mezi vrstvami. Pro velké výkony jsou používány tenké hliníkové nebo měděné plechy.

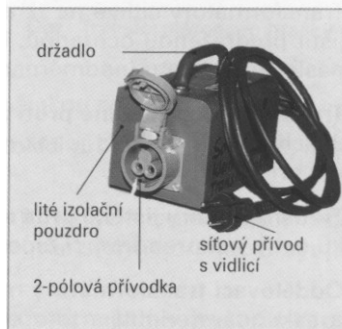
Přípustná proudová hustota pro měděná vinutí malých transformátorů leží v závislosti na velikosti a chlazení mezi 1 A/mm^2 a 6 A/mm^2 .

1.1.5.2. Označování malých transformátorů

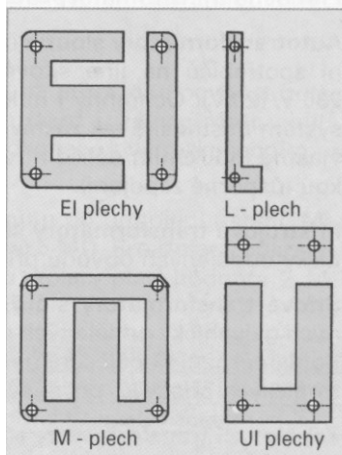
Malé transformátory jsou označovány symboly uvedenými na obr. 1. Výstupní napětí je označováno jako jmenovité zatěžovací napětí, které je u malých transformátorů většinou mnohem menší než výstupní napětí naprázdno. Pro výstupní napětí platí tyto tolerance: $\pm 10 \%$ pro transformátory odolné proti zkratu,



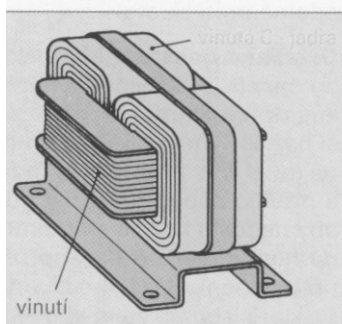
Obr. 1 Štítek malého transformátoru



Obr. 2 Bezpečnostní transformátor pro ruční svítilnu



Obr. 3 Transformátorové plechy



Obr. 4 Bezpečnostní transformátor pro ruční svítilnu

$\pm 5\%$ pro transformátory bez záruky na odolnost proti zkratu.

Transformátory citlivé na zkrat (neodolné proti zkratu) je třeba jistit předřazenou ochranou, která transformátor ochrání proti následkům zkratu (nadměrnému proudu).

Transformátory odolné proti zkratu mají velké zkratové napětí. Jejich zkratový proud je tak malý, že nepoškodí transformátor ani při trvalém zkratu.

Transformátory jištěné proti zkratu mají buď jen tavnou pojistku nebo nadproudový či tepelný jistič.

Oddělovací transformátory mají galvanicky oddělená primární a sekundární vinutí a toto oddělení bývá jištěno tak, že obě vinutí jsou na různých oddělených cívkách nebo vedle sebe (ne přes sebe) oddělené na jednom cívkovém tělese (kostře). Přenosné transformátory musí mít ochrannou izolaci.

Autotransformátory slouží většinou k napětíovému přizpůsobení spotřebičů na jiné síťové napětí v místní síti (nejčastěji 230 V/120 V). Ochranný i nulový vodič je průchozí a ochranný systém místní sítě tak zůstává zachován. Autotransformátor je vlastně indukčním děličem tvořeným jedním vinutím s odbočkou (úsporné zapojení).

Přístrojové transformátory slouží k napájení ovládacích galvanicky oddělených obvodů přístrojů, např. jističů.

Síťové transformátory slouží k získání většinou několika různých galvanicky oddělených napětí z napětí síťového, která jsou po usměrnění napájecími napětími pro elektrické obvody elektronických přístrojů, počítačů, televizorů a podobných zařízení.

Zapalovací transformátory slouží k zapálení plynu nebo topné ho oleje v automaticky řízených ohřívacích a topných systémech. Vinutí jsou galvanicky oddělená a transformátory jsou odolné proti zkratu.

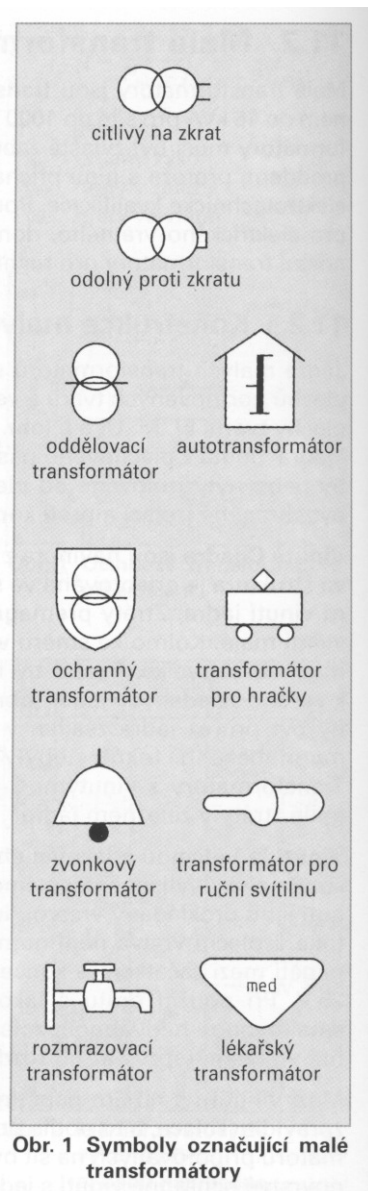
Ochranné transformátory slouží jako zdroje malého bezpečného napětí. Jejich jmenovitý výkon je nejvýše 10 kVA, jmenovitý kmitočet maximálně 500 Hz. Jmenovité výstupní napětí je menší než 50V (např. 6V, 12V nebo 24V). Ochranné transformátory musí být proti zkratu odolné nebo jištěné. Vinutí vyššího a nižšího napětí musí být od sebe oddělena natolik bezpečně, aby nedošlo ke galvanickému spojení mezi primárním a sekundárním vinutím ani při porušení izolace vinutí (přehřátím), ani při uvolnění některého kovového dílu. **Ochranné transformátory, které jsou zdrojem síťového napětí v bezpečných sítích SELV a PELV**, musí mít ověřovací značku EZU.

1.1.5.3. Důležité bezpečnostní transformátory

Transformátory pro hračky (viz obr.) jsou předepsány pro hračky napájené ze síťových zdrojů (např. elektrický vláček).

Jmenovité výstupní **napětí je nejvýše 24V, výkon nesmí přesáhnout 100W**. Transformátor pro hračky musí mít ochrannou izolaci.

Pro hračky mohou být použity jen bezpečnostní transformátory s osvědčením EZU.



Obr. 1 Symboly označující malé transformátory

Zvonkové transformátory nesmějí mít výstupní napětí vyšší než 24 V a musí být odolné proti zkratu. Výstupní svorky musí být přístupné a použitelné, aniž by bylo nutno odnímat nějakou součást.

Transformátor pro ruční svítilny musí mít ochrannou izolaci, izolaci proti stříkající vodě, nebo musí být vodotěsný.

Rozmrazovací transformátory slouží k rozmrazování zamrzlých kovových vodovodních vedení. Jmenovité napětí smí být nejvýše 250 V/24 V. Rozmrazovací transformátory musí být jištěné proti zkratu a s ochrannou izolací.

Transformátory pro lékařské přístroje smějí mít výstupní jmenovité napětí nejvýše 24 V, pokud napájený přístroj přichází do styku s lidským tělem zevně. Pokud je napájený přístroj zaváděn dovnitř lidského těla, např. endoskop při vyšetřování žaludku, může být jmenovité výstupní napětí nejvýše 5V. Transformátory pro lékařské přístroje musí mít ochrannou izolaci.

1.1.5.4. Zkušební napětí pro malé transformátory

U vyrobených nebo opravených malých transformátorů se zkouší na průraznou pevnost izolace mezi primárním (vstupním) a sekundárním (výstupním) vinutím jakož i izolace mezi vinutím a kostrou (kovovými částmi). Tato zkouška vinutí se provádí vysokonapěťovým zkušebním přístrojem.

Izolační odpor se měří stejnosměrným napětím 500 V, a to 1 minutu po připojení napětí. Mezi primárním a sekundárním vinutím musí být izolační odpor nejméně 5 MQ. Pro izolaci odkrytých kovových částí (svorky, nebo póly vidlice) nebo pro ochrannou izolaci platí hodnota 2 MQ. Zkouška izolace mezi vinutími se provádí napětím vyššího kmitočtu.

Otázky k opakování

1. Které bezpečnostní transformátory musí být odolné proti zkratu?
2. Jak velké může být napětí transformátoru pro hračky?

3. Jak se provádí zkouška vinutí?
4. Jak se měří izolační odpor malých transformátorů?

1.1.6. Zvláštní transformátory

1.1.6.1. Autotransformátory

Autotransformátor je tvořen jedním vinutím s odbočkou, která rozděluje vinutí na paralelní a sériovou část (obr. 1). Paralelní část vinutí je vinutím menšího napětí a při transformaci směrem dolů je zapojena paralelně se zátěží. Celé vinutí je vinutím většího napětí.

Autotransformátorem lze transformovat napětí dolů i nahoru. Pro autotransformátor platí:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \approx \frac{I_2}{I_1}$$

Příklad: Vinutí transformátoru má 300 závitů s odbočkou na 270-tém závitě od společného vodiče. Mezi společným vodičem (nulákem) a odbočkou je připojené napětí 207 V jako vstupní. Jaké je výstupní napětí na celém vinutí?

$$U_1 = \frac{U_2 \cdot N_1}{N_2} = \frac{207 \text{ V} \cdot 300}{270} = 230 \text{ V}$$

Autotransformátor neodděluje galvanicky výstupní obvod od vstupního.

Autotransformátor nelze použít jako zdroj bezpečného napětí.

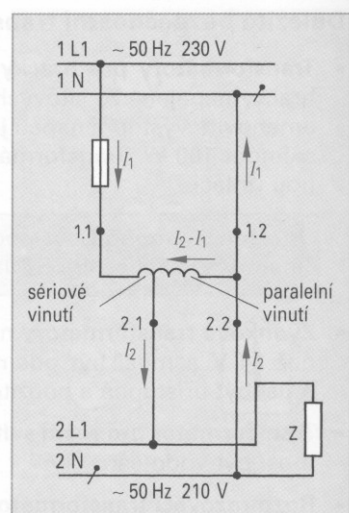
Celkově možný předaný výkon se u autotransformátorů nazývá průchozí výkon S_D . Průchozí výkon je částečně přenášen vedením proudu ze vstupní strany a částečně zprostředkovaně pomocí magnetického toku v železném jádře. Čím více se transformační poměr blíží hodnotě 1, tím menší je podíl indukčně přenášeného výkonu na konstantním průchozím výkonu $S_D = U_2 \times I_2$. Podle velikosti indukčně přenášeného výkonu S_D se řídí geometrická velikost autotransformátoru.

Autotransfómátor je úsporný z hlediska hmotnosti jádra i vinutí.

Autotransfómátor má v češtině odvozený název od autoindukce (vlastní indukce v jediné cívce) a v němčině od úspory železa i mědi (Spartransformator = úsporný transformátor). Úspora materiálu je oproti transformátoru s oddělenými cívkami tím větší, čím blíže leží vstupní a výstupní napětí. Účinnost autotransfómátoru je při rozdílu primárního a sekundárního napětí do 10% až 99,8%. Zkratové napětí je většinou nízké, náklady na izolaci jsou na vstupní i výstupní straně tytéž. I přes galvanické spojení primární a sekundární strany podobné napět'ovému děliči, funguje autotransfómátor na indukčním principu. Autotransfómátory jsou často používány v oblasti větších výkonů, protože mají velmi malé ztráty a jsou tvrdými zdroji napětí při kolísavém zatížení.

Na principu autotransfómátoru jsou vyráběny i malé regulační transformátory s vinutím v jedné vrstvě na prstenci a s otočným sběračem, který je odbočkou vinutí (podobně jako u drátových potenciometrů) (obr. 2).

Autotransfómátory se používají jako předřadné prvky k sodíkovým výbojkám, jako rozběhové transformátory pro trojfázové motory, jako regulační transformátory v sítích vysokého napětí a k transformaci vysokého napětí, např. z 230 kV na 400 kV.



Obr. 1 Zapojení autotransfómátoru

$$U_1 > U_2$$

$$S_B = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \cdot S_D$$

$$U_2 > U_1$$

$$S_B = \frac{U_2 - U_1}{U_2} \cdot S_D$$

- S_B indukčně přenášený výkon
- U_1 vstupní napětí
- U_2 výstupní napětí
- S_D průchozí výkon

1.1.6.2. Svařovací transformátory pro obloukové svařování

Obloukové svařovky obsahují kromě vlastního transformátoru ještě zařízení pro regulaci svařecího proudu. Napětí naprázdno může být maximálně 70V a při svařování uvnitř menších ocelových nádob (kotlů apod.) jen 50V. Krátkodobě (do 0,2 s) smí napětí dosáhnout vyšších hodnot.

Svařecí transformátor musí vydržet zkrat při kontaktu před vytažením oblouku. Proto mají svařecí transformátory zapojenou sériově tlumivku (obr 2), nebo jsou provedeny jako transformátory rozptylové. Účinník ($\cos \varphi$) svařecích transformátorů je proto velmi malý. Rozvodné závody vyžadují, aby byl malý účinník svařecích transformátorů kompenzován na hodnotu alespoň $\cos \varphi = 0,7$ (induktivní).

Svařecí transformátor by měl mít pokud možno strmou výstupní napět'ovou charakteristiku (obr 3), aby se při změnách délky oblouku měnil svařecí proud jen málo. Nastavený svařecí proud je údaj platný pro předpokládanou délku svařecího oblouku.

Nastavení svářecího proudu: Při změně výstupního napětí svářecího transformátoru se mění i výstupní proud. Nastavování proudu může být realizováno stupňovitým přepínáním odboček sekundárního vinutí, tím se mění transformační poměr, tedy i výstupní napětí a následně výstupní proud.

Napětí naprázdno může být nezávislé (a tedy neměnné) na svářecím proudu, je-li k regulaci využíváno nastavování úbytku napětí. Při malém úbytku napětí pak bude svářecí proud velký, ale charakteristika bude plochá. Regulační tlumivka nebo nastavitelné rozptylové jádro transformátoru (obr. 1) může regulovat úbytek napětí.

Otázky k opakování

1. Jaké přednosti má autotransformátor před transformátorem s oddělenými vinutími?
2. K čemu jsou používány autotransformátory?
3. K čemu se používají rozptylové transformátory?
4. Jak se nastavuje svářecí proud?

1.1.6.3. Měřicí transformátory

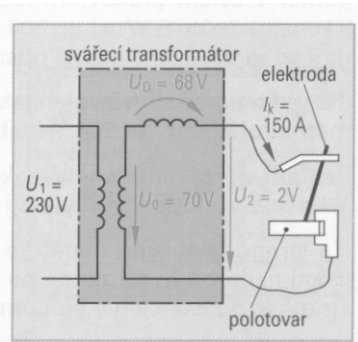
Měřicí transformátory převádějí vysoká napětí a velké proudy na hodnoty akceptovatelné pro relé, elektroniku, nebo měřicí přístroje. Při naprosto přesném převodu hodnot umožní bezpečné měření přístroji mimo dosah zařízení vysokého napětí a velkých výkonů, ve kterých např. nelze kvůli měření proudu rozpojovat měřené obvody (obr. 1).

1.1.6.3.1. Napěťový měřicí transformátor

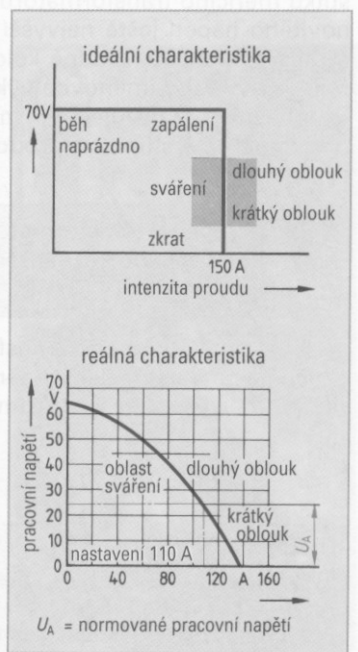
(indukční voltmetr)

Napěťový měřicí transformátor (obr. 2) převádí měřené vysoké napětí v udaném poměru na napětí měřitelné běžným voltmetrem. Má velmi malé rozptylové pole a přesně udaný převodní poměr v celém pracovním rozsahu. Výkon bývá podle napětí a konstrukce od 5 VA až do 300 VA. Napěťové měřicí transformátory se zařazují jako měřicí přístroje do tříd přesnosti (0,1 až 3). Převodní poměr bývá volen tak, aby se dal použít k měření voltmetr s rozsahem do 100V. Vstupní vinutí na straně vysokého napětí má svorky označeny 1.1 a 1.2, výstupní svorky mají označení 2.1 a 2.2.

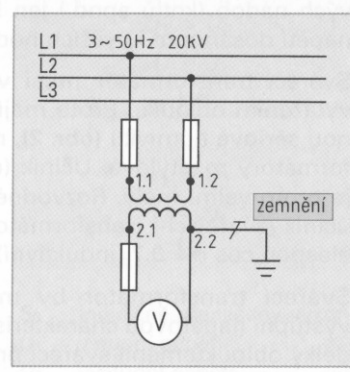
Na straně vysokého napětí je transformátor jištěn pojistkami (proti nadproudu při zkratu na výstupu) (obr. 2). Na sekundární straně je pojistka jen v jednom vývodu. K jištění měřicích přístrojů musí být uzemněn kryt transformátoru i vedení k přístroji (obr. 2). Při průrazu izolace vysokým napětím dojde ke zkratu na zem a pojistky pak zařízení odpojí. Na štítku měřicího transformátoru (obr. 3) jsou udány kromě jmenovitého napětí ještě nejvyšší trvale přípustné vstupní napětí a zkušební napětí v jedné kolonce štítku, oddělená lomítkem. Dále jsou udány jmenovité výkony a pod nimi



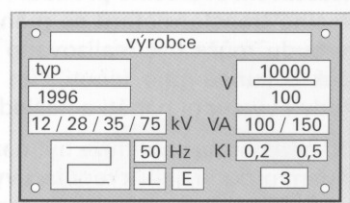
Obr. 2 Zapojení svářecího transformátoru



Obr. 3 Výstupní charakteristika svářecího transformátoru



Obr. 2 Připojení napěťového měřicího transformátoru na síť



Obr. 3 Štítek napěťového měřicího transformátoru

odpovídající třídy přesnosti. Zatěžujeme-li měřicí transformátor až k hranici přípustného výstupního proudu, nelze již počítat s udávanou přesností.

Napěťový měřicí transformátor smí být provozován jen s malým zatížením nebo bez zatížení. Přetížení může transformátor zničit.

Je-li na napěťový měřicí transformátor připojen přístroj sloužící vyúčtování, např. elektroměr, smí úbytek na přívodním vedení činit nejvýše 0,05%. V tomto případě nesmí být na straně nízkého napětí žádná pojistka.

Otázky k opakování

- | | |
|--|--|
| <p>1. Jakou úlohu mají měřicí transformátory v zařízeních vysokého napětí?</p> <p>2. Jaké je napětí na vstupu napěťového měřicího transformátoru 6000 V/100 V, ukazuje-li připojený voltmetr 70 V?</p> | <p>3. Jaké jsou uvedeny údaje na štítku napěťového měřicího transformátoru?</p> <p>4. Jaké následky má přetížení napěťového měřicího transformátoru?</p> |
|--|--|

1.1.6.3.2. Proudový měřicí transformátor

(indukční ampérmetr)

Proudový měřicí transformátor slouží k připojení ampérmetru nebo proudového vedení (např. k wattmetru). Vstupní svorky (K a L) se připojují na vodič, ve kterém měříme proud. K výstupním svorkám 1k a 1l se připojuje ampérmetr. Pořadí svorek na měřeném vodiči odpovídá toku energie z elektrárny ke spotřebiči (obr. 1).

Pomocí proudového měřicího transformátoru mohou být měřeny velké proudy v sítích nízkého napětí nebo z bezpečnostních důvodů proudy v zařízeních vysokého napětí.

Jmenovitý výstupní proud proudového měřicího transformátoru je (maximálně) 1 A nebo 5 A (přizpůsobený rozsahům měřicích přístrojů).

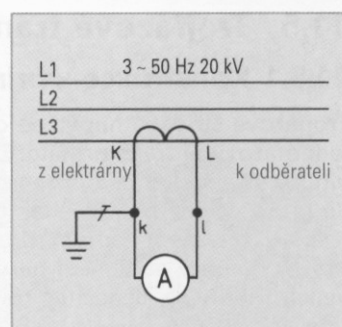
Jmenovitý výkon je podle velikosti a napětí od 5 VA do 120 VA. Přístroje jsou opět zařazeny do tříd přesnosti.

Ampérmetr i vedení mají velmi malý odpor a výstupní vedení transformátoru je tak prakticky zkratováno a není nijak jištěno. Při výměně nebo odpojení ampérmetru je nutno výstupní svorky transformátoru zkratovat. Při velkém vstupním proudu by se totiž při běhu naprázdno naindukovalo na výstupním vinutí tak velké napětí naprázdno, že by mohlo dojít k průrazu izolace.

Proudový měřicí transformátor smí být připojen na vedení jen se zatíženým nebo zkratovaným výstupem. Provoz s výstupem naprázdno je zakázán.

Klešťový indukční ampérmetr (obr. 3) má rozevíratelné jádro ve tvaru kleští. Obejmou-li čelisti kleští vodič protékaný proudem, působí tento vodič jako vstupní vinutí proudového měřicího transformátoru. Klešťovým indukčním ampérmetrem je možno měřit velké střídavé proudy, aniž by bylo nutno rozpojovat měřený obvod.

Průvlečný indukční ampérmetr pracuje na stejném principu jako klešťový přístroj, avšak vodič je nutno rozpojit a provléct. Rozsah či citlivost lze zvýšit tak, že vodič provléčeme jádrem měřicího transformátoru několikrát.



Obr. 1 Zapojení proudového měřicího transformátoru v síti vysokého napětí

Shrnutí:

Transformátor je netočivý stroj, který pomocí elektromagnetické indukce mění velikost střídavého napětí na jedné straně transformátoru (U_1 na výstupní napětí o jiné hodnotě U_2) Frekvence se tím nemění.

a) Napětí naprázdno

Připojíme-li vstupní vinutí na střídavé napětí U_1 a na výstupní vinutí nepřipojíme žádnou zátěž (spotřebiče), říkáme, že transformátor pracuje naprázdno. Napětí, které přitom naměříme na výstupním vinutí, bude rovno napětí naprázdno.

b) Převod transformátoru

Převod transformátoru vyjadřujeme poměrem vstupního napětí a výstupního napětí. Budeme uvažovat, že ztráty v transformátoru jsou nulové, pak výkon na vstupní straně je stejný jako výkon na výstupní straně.

c) Napětí nakrátko

Napětí nakrátko je napětí, které musíme připojit na vstupní vinutí transformátoru, aby výstupním vinutím spojeným nakrátko procházel jmenovitý proud transformátoru.

V praxi se tato hodnota vyjadřuje v procentech vstupního jmenovitého napětí a značí se u_k .

Pokud opět zanedbáme ztráty transformátoru a zvýšíme napětí připojené na vstupní vinutí transformátorů z hodnoty napětí nakrátko na plnou jmenovitou hodnotu, zvýší se ve stejném poměru i výstupní proud. Hodnota, kterou takto získáme odpovídá hodnotě, které by při provozu dosáhl proud ve výstupním vinutí, pokud bychom jej spojili nakrátko.

$$I_k = \frac{100}{u_k} I_{2N}$$

kde I_k je proud ve výstupním vinutí spojeném nakrátko (A)
 u_k poměrné napětí nakrátko (%)
 I_{2N} jmenovitý výstupní proud (A)

d) Hodinové číslo

V trojfázovém transformátoru jsou tři samostatná vstupní vinutí a tři samostatná výstupní vinutí. Tato vinutí můžeme zapojit do hvězdy, nebo do trojúhelníku nebo do lomené hvězdy. Spojení vinutí je vyznačeno na štítku transformátoru, a to velkými písmeny pro vyšší napětí a malými písmeny pro napětí nižší.

Spojení do hvězdy Y

Spojení do trojúhelníka D

Spojení do lomené hvězdy Z

Kombinacemi základních spojení a vnitřním spojením konců vinutí jednotlivých fází dosáhneme toho, že se indukované napětí na výstupní straně posune o určitý úhel proti vstupnímu napětí téže fáze. Toto fázové posunutí je buď 30° , nebo násobek 30° . Udává se hodinovým číslem (hodinovým úhlem). 1 hodina 30° , protože $360^\circ : 12 = 30^\circ$. Hodinové číslo je důležité pro paralelní chod transformátorů.

e) Podmínky pro paralelní chod transformátorů

Pokud nepostačuje pro konkrétní použití výkon transformátoru, můžeme použít dva transformátory v paralelním zapojení. Abychom je takto mohli zapojit, je nutno splnit tyto podmínky:

- vstupní i výstupní napětí obou transformátorů mají být stejná (jmenovitá napětí se nesmí lišit o více než 5 %)
- oba transformátory mají mít stejný transformační převod (p)
- napětí naprázdno se smějí lišit nejvýše o 0,5 % jmenovité hodnoty
- oba transformátory mají mít stejná napětí nakrátko (u_k)
- oba transformátory musí mít stejné hodinové číslo
- výkony obou transformátorů se nemají příliš lišit

V elektrizační soustavě napájí obvykle několik transformátorů paralelně společnou síť.

Napětí řídíme na vstupní straně transformátorů

Ochranné - bezpečnostní transformátory slouží jako zdroje malého bezpečného napětí. Vinutí vyššího a nižšího napětí musí být od sebe oddělena natolik bezpečně, aby nedošlo ke galvanickému spojení mezi primárním a sekundárním vinutím

Autotransformátor je tvořen jedním vinutím s odbočkou, která rozděluje vinutí na paralelní a sériovou část

Svářecí transformátor musí vydržet zkrat při kontaktu před vytažením oblouku

Měřicí transformátory převádějí vysoká napětí a velké proudy na hodnoty akceptovatelné běžnými měřicími přístroji, mají naprosto přesný převod.

Převodní poměr **měřicího transformátoru napětí** bývá volen tak, aby se dal použít k měření voltmetr s rozsahem do 100V

Jmenovitý výstupní proud **proudového měřicího transformátoru** je (maximálně) 1 A nebo 5 A (přizpůsobený rozsahům měřících přístrojů).