11.1.7 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 účiníkem 0,7 je plně zatížen. Ztráty v železe jsou 10 W, ztráty ve vinutí jsou 15 W. Jaká je účinnost?

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

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

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.

Čím menší je účiník 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 odebíraný transformátorem naprázdno (s nezatíženým výstupem) je prakticky roven **ztrátám v železe**.

Ztráty v železe se u transformátoru měří při běhu naprázdno.

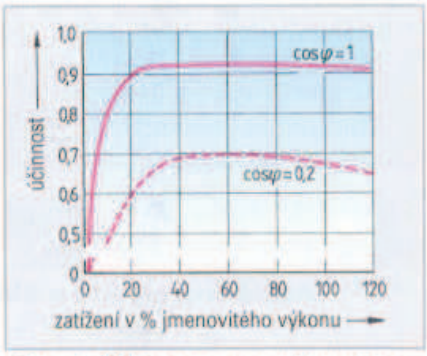
Při měření zkratového napětí tečou ve vinutích jmenovité proudy a nazývají se **ztráty ve vinutí** (ztráty v mědi). Při měření zkratového napětí je při malých napětích velmi malý magnetický tok v jádře a tím téměř žádné ztráty v železe **(obr. 2b)**. Výkon odebíraný transformátorem při měření zkratového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

Ztráty ve vinutí se u transformátoru měří při zkratovaném výstupu.

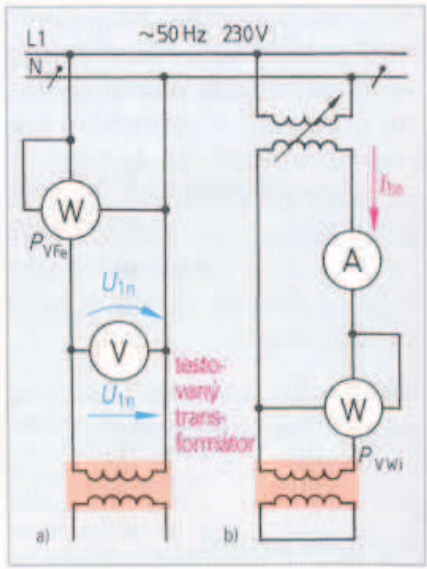
Roční účinnost transformátoru je poměr mezi odevzdanou a přijatou energií (prací) za rok. Odevzdaná energie je menší o ztráty v železe a vinutí než přijatá energie. Protože ztráty v železe nejsou závislé na zatížení, klesá roční účinnost transformátoru, je-li transformátor trvale zapnut, ale jen někdy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

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

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



Obr. 1 Účinnost transformátoru při zatížení



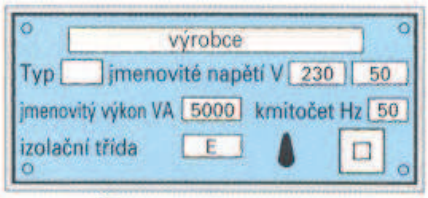
Obr. 2 Měření ztrátových výkonů při a) běhu naprázdno, b) běhu nakrátko

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 účiníku připojených spotřebičů?

11.2 Malé transformátory

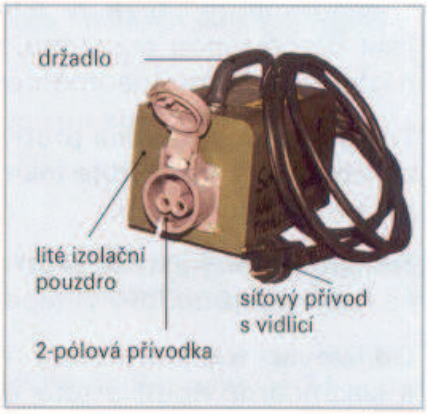
Malé transformátory jsou transformátory se jmenovitým výkonem do 16 kVA pro sítě do 1000 V a do 500 Hz **(obr. 1)**. Malé transformátory musí být zvláště zabezpečeny proti úrazu elektrickým proudem, protože s nimi přicházejí do styku osoby neznalé bez elektrotechnické kvalifikace. Používají se např. jako zdroje napětí pro elektrického vrátného, domovní zvonky nebo jako bezpečnostní transformátory pro ruční svítilny **(obr. 2)** a hračky.



Obr. 1 Štítek malého transformátoru

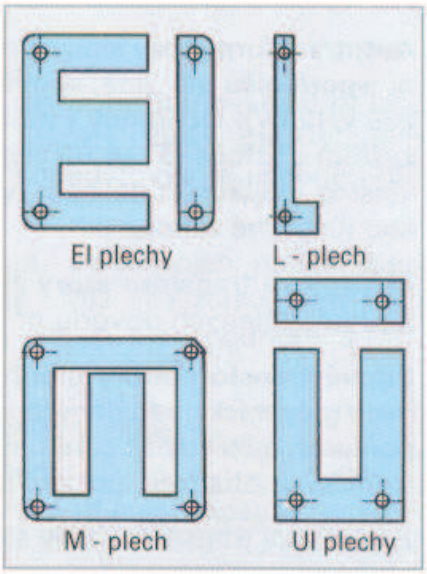
11.2.1 Konstrukce malých transformátorů

Jádra malých transformátorů se skládají z transformátorových plechů normovaných tvarů a velikostí. Podle tvaru rozeznáváme plechy tvaru: EI, M, UI 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.



Obr. 2 Bezpečnostní transformátor pro ruční svítilnu

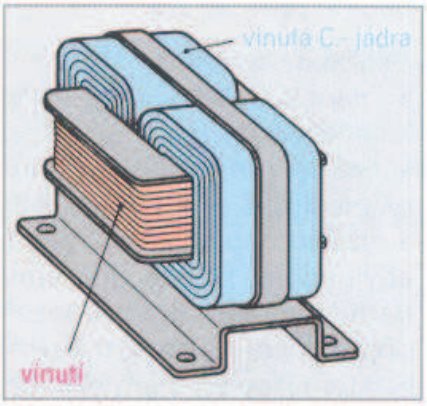
Vinutá C-jádra jsou navinuta z železného pásku, jehož krystalová struktura je orientována ve směru válcování a tedy i ve směru vinutí jádra. Ztráty přemagnetizací v tomto směru jsou pak velmi malé. Kolmo ke směru válcování jsou naopak ztráty přemagnetizací velké. Pokud by byly orientované plechy použity 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.



Obr. 3 Transformátorové plechy

Vinutí je většinou z lakovaného měděného drátu, navinuté na kostře cívky vylisované 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 25 V. 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.

Mezi vinutím s nižším napětím a vinutím s vyšším napětím je zpravidla izolace, a to podle potřeby několikavrstvá. U transformátorů připojovaných na síť bývá mezi vinutími ještě navíc jednovrstvé ochranné vinutí s jediným vyvedeným vývodem. Je-li toto ochranné mezivinutí spojeno s ochranným vodičem, nemůže při porušení izolace dojít ke zkratu mezi vinutími. Mimoto odstiňuje ochranné vinutí elektrická pole.



Obr. 4 Bezpečnostní transformátor pro ruční svítilnu

Jsou vyráběny také transformátory s vinutím 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.

11.2.2 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:

± 10 % pro transformátory odolné proti zkratu,
± 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.

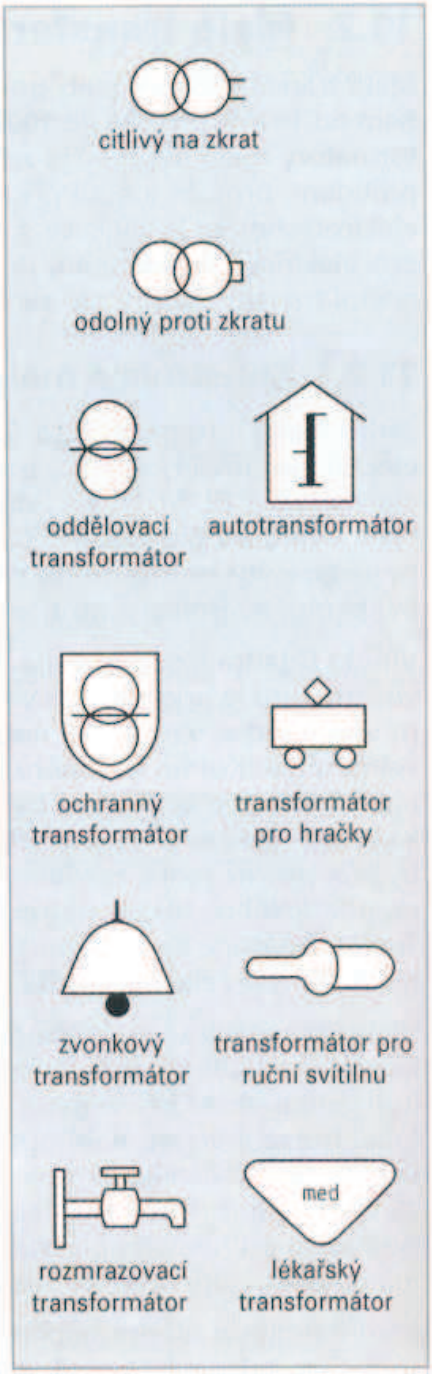
Autotransformátory slouží většinou k napěťovému přizpůsobení spotřebičů na jiné síťové napětí v místní síti (nejčastěji 230 V/120 V). Ochranný i nulový vodič je průchozí a ochranný systém místní sítě tak zůstává zachován. Autotransformátor je vlastně indukčním děličem tvořeným jedním vinutím s odbočkou (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 topného 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 50 V (např. 6 V, 12 V nebo 24 V). 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.



Obr. 1 Symboly označující malé transformátory

Obr. 2 Oddělovací transformátor pro ochranné oddělení sítě

Důležité bezpečnostní transformátory

Obr. Transformátor pro hračky

- **Transformátory pro hračky (viz obr.)** jsou předepsány pro hračky napájené ze síťových zdrojů (např. elektrický vláček). Jmenovité výstupní napětí je nejvýše 24 V, výkon nesmí přesáhnout 100 W. Transformátor pro hračky musí mít ochrannou izolaci.

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

- **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 6 V. Transformátory pro lékařské přístroje musí mít ochrannou izolaci.

11.2.3 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 MΩ. Pro izolaci odkrytých kovových částí (svorky, nebo póly vidlice) nebo pro ochrannou izolaci platí hodnota 2 MΩ. Zkouška izolace mezi vinutími se provádí napětím vyššího kmitočtu.

Tabulka: Zkušební napětí[1] pro malé transformátory do 16 kVA, 1000 V, 5000 Hz

největší jmenovité napětí transformátoru	50 V	250 V	500 V	1000 V
zkušební napětí ve V pro transformátory ochranné třídy I (ochranný vodič) a III (malé napětí)				
vstupní obvod proti kostře výstupní obvod proti kostře vstupní obvod proti výstupnímu obvodu	1000 V	1500 V	2500 V	3000 V
zkušební napětí ve V pro transformátory ochranné třídy II (ochranná izolace)				
vstupní obvod proti kovovým částem	–	1500 V	2000 V	2500 V
kovové části proti kostře	–	2500 V	2500 V	2500 V
vstupní obvod proti výstupnímu obvodu	–	3000 V	3500 V	4500 V
vstupní obvod proti kostře	1000 V	1500 V	2500 V	3000 V
výstupní obvod proti kostře	1000 V	1500 V	2500 V	3000 V

[1]doba připojení zkušebního napětí 1 min. Při opakované zkoušce postačuje 80 % hodnota

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?**