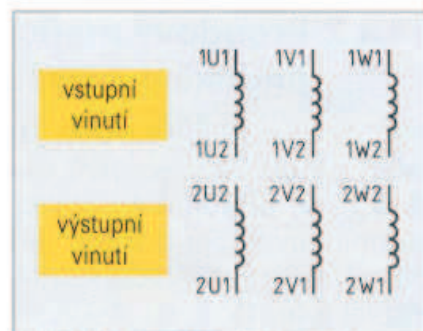


11.5 Trojfázové transformátory

11.5.1 Konstrukce a princip

Trojfázové střídavé napětí se dá transformovat třemi stejnými jednofázovými transformátory, jsou-li jejich vstupní a výstupní vinutí mezi sebou propojena do trojúhelníku nebo do hvězdy. Je proto účelné použít jeden trojfázový transformátor se společným železným jádrem pro všechna tři vinutí. Trojfázové transformátory se stavějí na výkon od 10 kVA do 1000 MVA. Jejich vinutí se označuje způsobem definovaným v normě (obr. 1).



Obr. 1 Značení vinutí trojfázových transformátorů

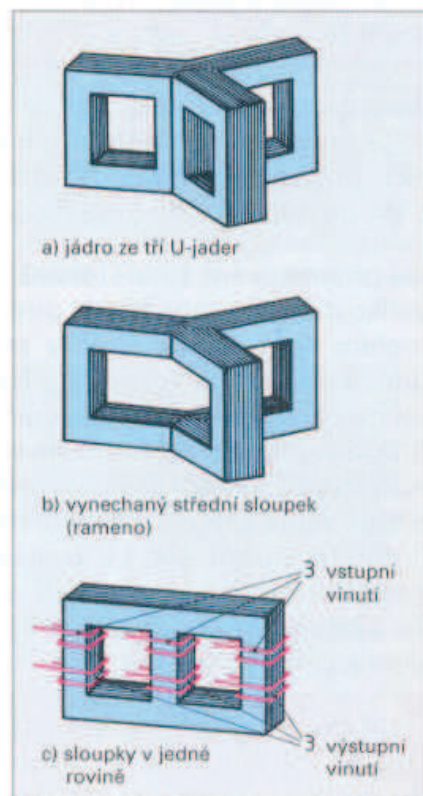
Železné jádro. Trojici železných jader pro trojfázový proud je možno si představit v hvězdicovém uspořádání (obr. 2a). Ve třech jádrech působí tři magnetické toky, které jsou ve fázích se třemi střídavými proudy, fázově posunutými o 120° . Při symetrickém zatížení fází je součet magnetických toků ve středovém sloupcu jádra roven nule. Proto může být středový sloupek vynechán (obr. 2b). Dáme-li zbývající sloupky do jedné roviny, dostaneme nejběžnější trojfázové jádro (obr. 2c). Cesta magnetického toku (délka siločar) je sice pro prostřední vinutí nejkratší, přesto je však magnetický tok prostředního vinutí trochu menší než v krajních vinutích. Pro dosažení nízké hodnoty proudu naprázdno je jádro vrstveno z plechů tak, aby se střídavě překrývaly. Používají se plechy magneticky orientované pomocí válcování. Jsou skládané tak, aby jádro mělo co nejmenší indukční odpor a ve spojích jsou šikmo seříznuty (obr. 3). Jádro je skládáno z plechů odstupňovaných velikostí tak, aby průřezy sloupců byly přibližně kruhové a cívky mohly k jádru těsně přilehnout.

Vinutí. Zkratové napětí by mělo být u trojfázových transformátorů (velkého výkonu) co nejmenší. Proto jsou vinutí na jednotlivých sloupcích trojsloupkového (trojramenného) jádra uspořádána ve 2 válcových vrstvách tak, že vinutí s nižším napětím je vždy blíže jádru, aby bylo menší riziko průrazu vyššího napětí na uzemněné jádro.

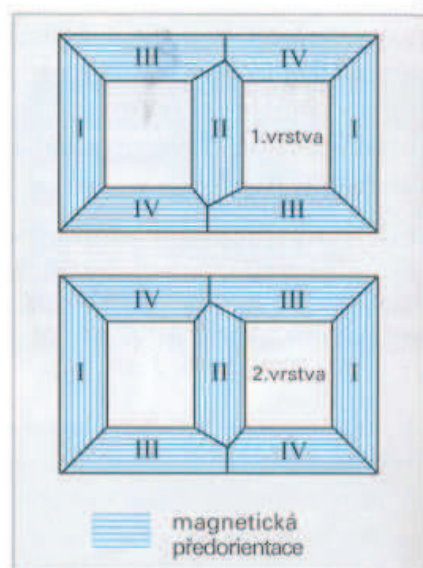
Při **vinutí vodiče po jednotlivých vrstvách** leží vždy nad prvním závitem jedné vrstvy poslední závit další vrstvy a je zde velké napětí mezi závity a na izolaci mezi vrstvami jsou zde kladeny velké nároky na odolnost proti průrazu. Proto je drátové vinutí po jednotlivých vrstvách používáno jen u malých transformátorů.

Při **fóliovém vinutí** je vinutí navinuto z izolované hliníkové fólie podobně jako u kondenzátorů. Protože je každá vrstva tvořena jen jedním závitem, jsou nároky na izolaci mezi vrstvami menší.

Elastické vložky ze silikonového kaučuku zmenšují hluk vibrací jádra síťovým kmitočtem. Vinutí samotné odstiňuje hluk vibrací jádra. Při zkratech je fóliové vinutí ohroženo méně (než vrstevové drátové), protože ani velké síly nemohou způsobit posun vrstvené fólie.



Obr. 2 Vývoj trojfázového jádra



Obr. 3 Schéma vrstvení plechů jádra trojfázového transformátoru

Chlazení

Trojfázové transformátory velkých výkonů bývají umístěny v nádrži naplněné chladicím olejem. Olej chladí lépe než vzduch, lépe také izoluje a zabráňuje přístupu vlhkosti. Rozlišují se kontejnery (nádrže) z vlnitého plechu, nádrže s víceřadým trubkovým chladičem a nádrže tvaru radiátoru, jehož chladicí žebra zvětšují plochu styku s chladicím okolním vzduchem. Velké transformátory (nad 30 MVA) mají oddělené olejové chladiče. Transformátorový olej se zahříváním roztahuje. V zahřátém stavu nesmí olej přicházet do styku se vzduchem, protože tuhne (zpryskyřiční) a ztrácí své vlastnosti potřebné pro chlazení. Proto je v horní části nádrže expanzní nádobka částečně naplněná olejem. Při styku se vzduchem přes odvzdušňovací otvor expanzní nádoby, musí být vzduch zbaven vlhkosti. Moderní transformátory do 2,5 MVA nemají expanzní nádrž, protože jejich žebrované nádrže jsou elastické a mohou se roztahovat při zahřátí oleje jako měch harmoniky. Ve vedení oleje mezi olejovou nádrží a expanzní nádobkou bývá často zařazena **Buchholzova ochrana (obr. 2)**. Při závadě transformátoru, např. při zkratu mezi vinutími, vznikají bubliny plynu, které zvednou plovák a ten sepne rtuťovým spínačem poplašnou signalizaci s akustickým nebo optickým hlásičem. Při přetlaku nebo silném vývoji plynů, např. při zkratu v transformátoru, překlopí přetlakový ventil druhý rtuťový spínač (obr. 2), který sepne zařízení pro odpojení transformátoru. Buchholzova ochrana reaguje i na únik oleje z nádrže.

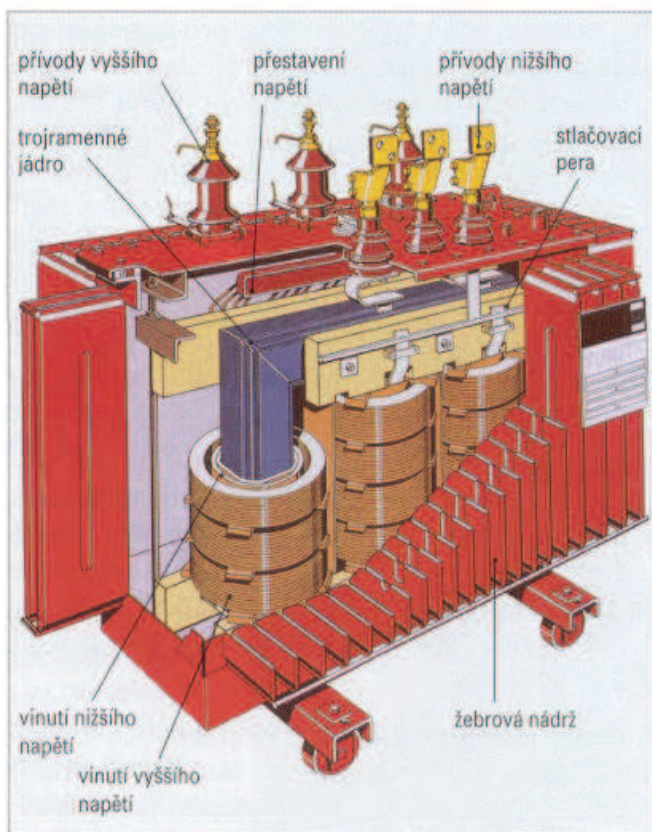
Pro zmenšení nebezpečí požáru je k chlazení používán silikonový olej. V budovách se používají suché transformátory, například zalévané fóliové transformátory.

V zalévaných transformátorech jsou závity pevně fixovány v zalévací umělé pryskyřici. Tyto transformátory se také používají v místech, kde z bezpečnostních důvodů nemohou být olejové transformátory, např. ve výrobních halách, nebo v prostorách s velkou přítomností lidí.

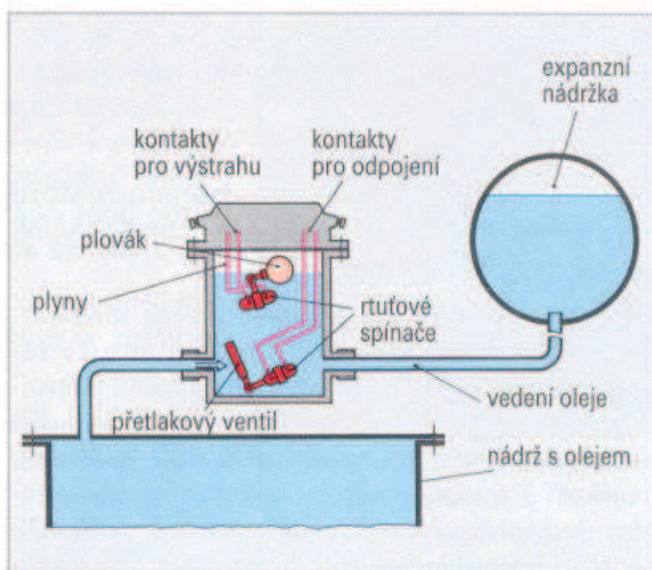
11.5.2 Zapojení

Na straně vyššího napětí jsou 3 vinutí, která mohou být zapojena do trojúhelníku nebo do hvězdy. Podobně může být zapojena i strana menšího napětí (**obr. 3**).

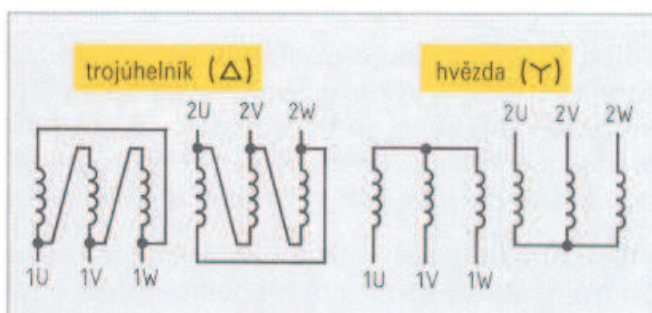
Zvláštním druhem zapojení do hvězdy je zapojení do lomené hvězdy (str. 283), které se používá jen na straně nižšího napětí.



Obr. 1 Trojfázový transformátor 400 kVA s olejovým chlazením a žebrovanou nádrží



Obr. 2 Schéma Buchholzovy ochrany



Obr. 3 Možnosti zapojení do trojúhelníku a hvězdy

Pro zapojení do trojúhelníku a pro zapojení do hvězdy jsou 2 možnosti (obr. 1). Jsou-li vinutí primární i sekundární strany zapojena stejně, je fázový posun mezi primární a sekundární stranou 0° nebo 180° . Je-li zapojení primární a sekundární rozdílné, např. je-li strana vyššího napětí zapojena do trojúhelníku a strana nižšího napětí do hvězdy, bude fázové posunutí 150° nebo 330° (obr. 1). Toto fázové posunutí je udáváno jako charakteristika a je udáváno čísla hodinového ciferníku, která odpovídají úhlu fázového posunu. Např. Dy5 odpovídá úhlu $5 \times 30^\circ = 150^\circ$ (obr. 1). Při vyvedeném středu hvězdy je označení rozšířeno o písmeno n nebo N (neutrální vodič). Dyn5 znamená, že strana vyššího napětí je zapojena do trojúhelníku, strana nižšího napětí do hvězdy, neutrální vodič je vyveden a fázový posun je $5 \times 30 = 150^\circ$.

Transformační poměr je u trojfázových transformátorů nekrácený poměr fázových napětí, např. 20 000 V/400 V. Fázové napětí jsou na vinutích pouze v zapojení Dd. V zapojení Yy jsou na vinutích napětí ve vzájemně stejném poměru, ale $1/\sqrt{3}$ krát větší (tj. $\sqrt{3}$ krát menší).

Pro transformační poměr p platí $p = N_1/N_2$, pokud jsou obě strany trojfázového transformátoru stejně zapojeny.

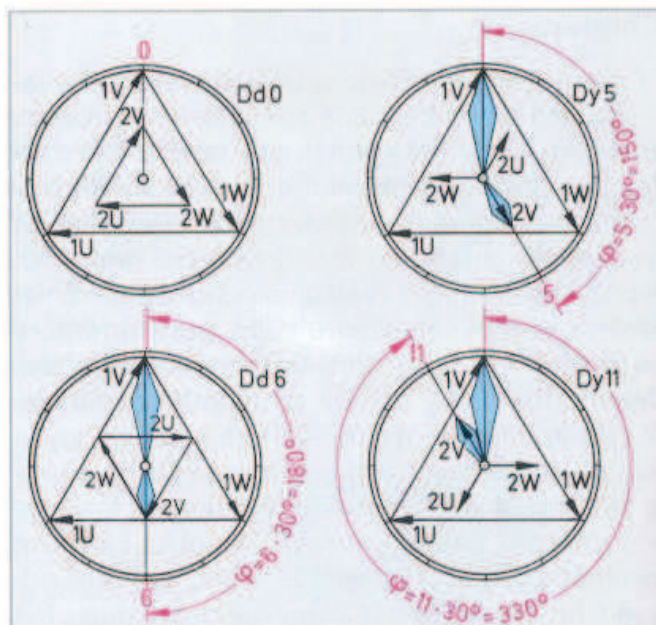
Jsou-li strany trojfázového transformátoru zapojeny různě, platí převodní poměr N_1/N_2 jen pro napětí na vinutích.

Trojfázové napětí lze transformovat také pomocí dvou jednofázových transformátorů v zapojení do V (obr. 2). Na výstupní straně je trojfázové napětí v trojvodičové soustavě. Při hodnotách vyššího napětí nad 400 kVA jsou trojfázové transformátory vytvářeny spojováním jednofázových transformátorů (obr. 3), protože jednofázové transformátory lze snadněji převážet.

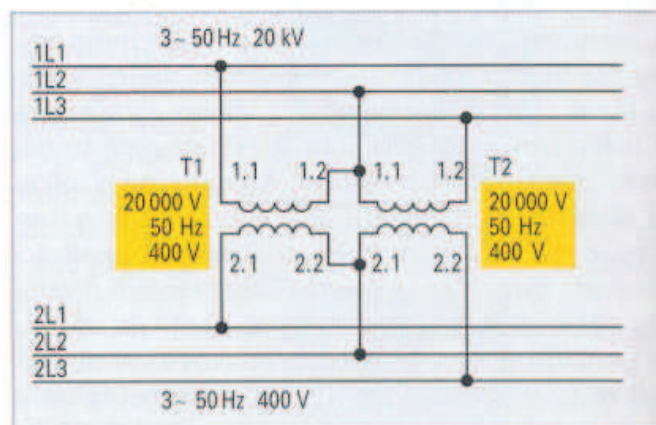
11.5.3 Volba typu zapojení

Volba se uskutečňuje podle velikosti požadovaného napětí a výkonu. Vinutí vyššího napětí může být zapojeno do hvězdy nebo do trojúhelníku. Při zapojení do hvězdy je počet závitů sice menší, ale průřez vodičů větší než při zapojení do trojúhelníku, takže zapojení do hvězdy je více používáno při menších výkonech do 500 kVA, jakož i při vysokých napětích.

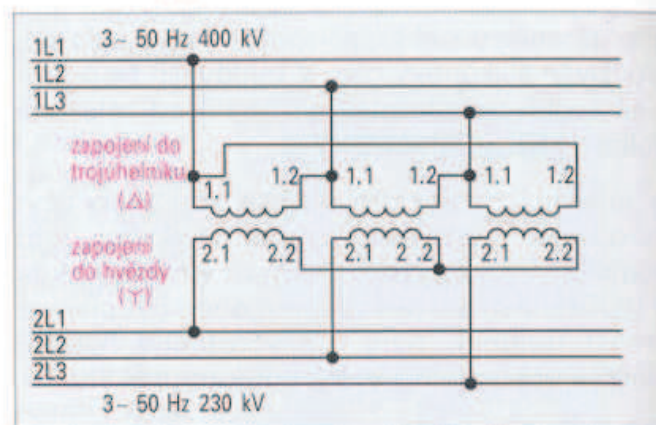
Vinutí nižšího napětí může být také zapojováno do hvězdy (y) nebo do trojúhelníku (d). Zapojení do trojúhelníku na straně menšího napětí u síťových transformátorů je však vyloučeno, protože by nebylo možno připojit nulový (neutrální) vodič.



Obr. 1 Fázový posun mezi vyšším a nižším napětím trojfázového transformátoru



Obr. 2 V-zapojení



Obr. 3 Skupina transformátorů