

ELEKTRICKÁ ČÁST ELEKTRÁREN

Alternátory

Ve většině elektráren slouží ke generování elektrické energie synchronní alternátory, pouze u vodních a větrných elektráren malých výkonů se k tomuto účelu někdy používá asynchronních generátorů (a to jak s kotvou nakrátko, tak s kotvou vinutou). Alternátory se vyrábí v širokém rozsahu výkonů i výstupních napětí.

□ Důležité parametry alternátorů

- Otáčky:

Synchronní otáčky alternátoru n_s jsou závislé na počtu pólových dvojic p stroje a kmitočtu sítě f , do které pracuje.

$$n_s = 60 \cdot \frac{f}{p} \text{ (Hz; } -; \text{ot} \cdot \text{min}^{-1}) \quad (0.1)$$

Otáčky lze také vyjádřit pomocí úhlové rychlosti ω :

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_s}{60} \text{ (ot} \cdot \text{min}^{-1}; \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (0.2)$$

Mechanický výkon na hřídeli stroje PM vypočteme vynásobením točivého momentu M a úhlové rychlosti ω .

$$P_M = M \cdot \omega \text{ (N} \cdot \text{m; rad} \cdot \text{s}^{-1}; \text{W}) \quad (0.3)$$

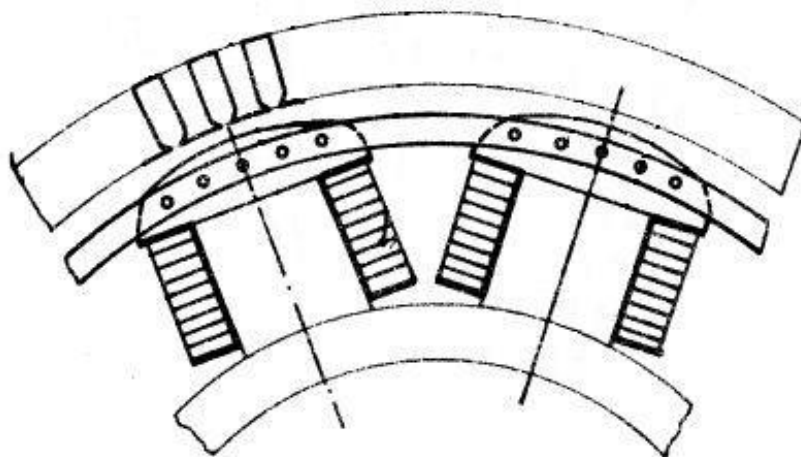
- Účinník:

Účinník stroje lze měnit změnou buzení. U velkých strojů dosahuje hodnot 0,85 až 0,95. Volba účinníku závisí na umístění stroje a jeho úloze v elektrizační soustavě. S klesajícím účinníkem rovněž roste cena alternátoru. U alternátoru v ostrovním režimu je jeho účinník dán skladbou spotřebičů, které napájí.

□ Hydroalternátor

Na rozdíl od parních turbín je u turbín vodních problematické dosáhnout vysokých otáček. Používají se proto mnohopólové stroje s vyniklými póly, tzv. hydroalternátory. Ty mají jmenovité otáčky v řádech desítek až stovek za minutu. Uložení soustrojí je nejčastěji vertikální, ale zejména u elektráren malých výkonů může být i šikmé nebo horizontální. Chlazení stroje je jednodušší než u turboalternátoru díky větší ploše rotoru a mezerám mezi vyniklými póly. Rotory velkých strojů jsou chlazeny vzduchem, stator může být chlazen vodou.

Budící vinutí je tvořeno cívkami, které jsou uloženy na jádrech jednotlivých pólů. V pólových nástavcích pak může být umístěno tlumící vinutí ve formě tyčí.



Obr. 0.1: Část rotoru a statoru hydroalternátoru



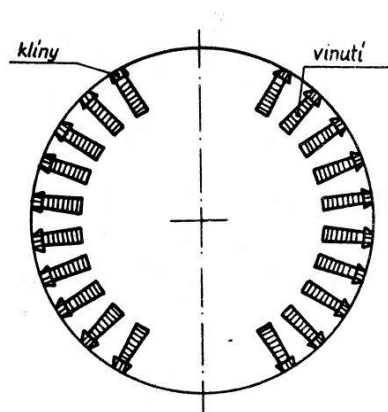
Obr. 0.2: Stator a rotor hydroalternátoru (VE Štěchovice)

□ Turboalternátor

Turboalternátory v parních a jaderných elektrárnách jsou stroje s hladkým rotorem, nejčastěji dvoupólové (tj. 3000ot/min pro 50Hz). Parní turbína má totiž nejvyšší účinnost při otáčkách v řádech tisíců za minutu. Pouze u strojů velmi velkých výkonů se využívá čtyřpólového rotoru, vzhledem k jeho omezené mechanické pevnosti.

Na rotoru turboalternátoru jsou drážky, ve kterých je uloženo budící vinutí. Vinutí je v drážkách zajištěno klíny z nemagnetických materiálů, které mohou zároveň plnit funkci tlumiče (amortizéru). Vzhledem k vysokým otáčkám rotoru na něj působí značné odstředivé síly, proto je žádoucí, aby byl průměr rotoru co možná nejmenší. S klesajícím průměrem rotoru ale roste jeho délka, což celou situaci komplikuje - čím je rotor delší, tím větší vibrace

vznikají při provozu stroje. Navíc vzniká riziko jeho prověšení. Proto jsou soustrojí velkých výkonů vybavena elektromotorem, který jím v době odstávky neustále otáčí a eliminuje tak riziko prohnutí hřídele.



Obr. 0.3: Průřez rotorem turboalternátoru



Obr. 0.4: Stator turboalternátoru a jeho budiče (elektrárna Dětmorovice)

□ Vývody alternátoru

Vývody alternátorů mohou být provedeny několika způsoby. U strojů malých výkonů se používá kabelů, případně pásových vodičů. U strojů velkých výkonů je však třeba brát v potaz síly, působící na vodiče při zkratu. Proto se používá zapouzdřených vodičů, izolovaných plynem SF_6 .

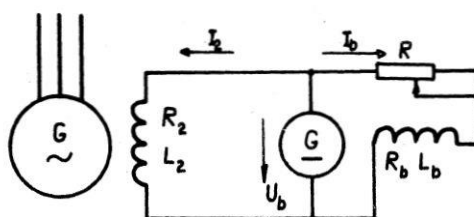
Použití zapouzdřených vodičů přináší celou řadu výhod. Jednotlivé fáze jsou od sebe bezpečně odděleny, čímž se zamezí případnému mezifázovému zkratu. Rovněž se redukuje magnetické pole v okolí vodičů, takže se neindukují vířivé proudy do okolních kovových konstrukcí. Ztráty, vzniklé indukováním vířivých proudů do tělesa pouzdra, lze omezit vhodným pospojováním a zemněním.

□ Buzení alternátoru

Budící vinutí alternátoru je napájeno z budiče stejnosměrným proudem. Velikost budícího proudu ovlivňuje množství vyrobené jalové energie a tím i účinník stroje (výkon budiče je zhruba 0,5% výkonu alternátoru). Parametry budiče významně ovlivňují stabilitu alternátoru, a proto jsou na budiče kladeny značné nároky. Budič musí být spolehlivý, musí umožňovat rychlou změnu budícího proudu a mít vysoký strop buzení (v případě havarijního stavu sítě bývá zapotřebí alternátor skokově přibudit).

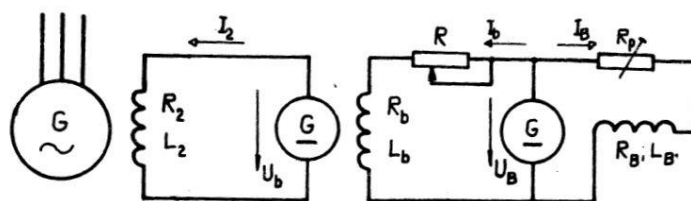
Buzení může být provedeno jako přímé nebo nepřímé. U přímého buzení je rotační budič umístěn na společné hřídeli s alternátorem. Při buzení nepřímém je rotační budič poháněn vlastním motorem, případně je budič realizován statickým zdrojem. Nejčastěji se používá buzení přímé, nepřímé buzení se používá většinou jen jako záloha při poruše přímého budiče.

- Derivační budič - je tvořen derivačním dynamem, které je umístěno na společné hřídeli s alternátorem. Tento systém se využívá pouze u alternátorů malých výkonů, jelikož není schopen zajistit plynulou regulaci napětí alternátoru při nízkých hodnotách budícího proudu.



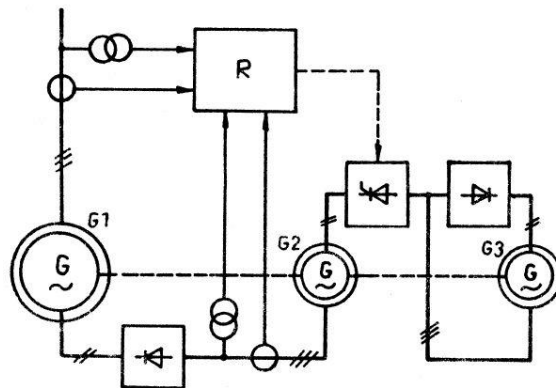
Obr. 0.5: Derivační budič

- Pomocný budič - Alternátor je umístěn na společné hřídeli s hlavním a pomocným budičem. Pomocný budič nabuzuje hlavní budič, který napájí buzení alternátoru. Toto uspořádání má sice menší provozní spolehlivost, umožňuje ale plynulou regulaci v širokém rozsahu.



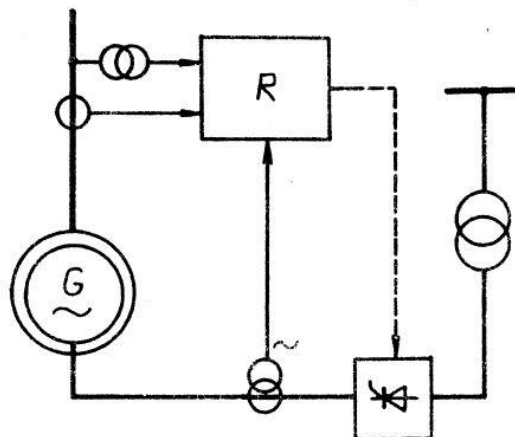
Obr. 0.6: Pomocný budič

- Budiče s výkonovými diodami - Tento systém je tvořen střídavým budičem a pomocným střídavým budičem, které jsou na společné hřídeli s alternátorem. Pomocný budič napájí přes řízený usměrňovač hlavní budič, který pomocí výkonových diod napájí buzení alternátoru. Buzení je regulováno řízeným usměrňovačem mezi pomocným a hlavním budičem. Výhodou tohoto systému je možnost použití střídavých budičů, které jsou spolehlivější (nemají komutátor) a méně náročné na údržbu.



Obr. 0.7: Budič s výkonovými diodami

- Budiče s výkonovými tyristory - Alternátor je buzen přes řízený usměrňovač z budiče, umístěného na společné hřídeli, nebo z externího zdroje. Tento systém má vynikající dynamické vlastnosti a umožňuje také rychlé odbuzení alternátoru bez použití odbuzovače. Napájení tyristorů je zajištěno buďto dalším rotačním budičem, nebo



externím zdrojem.

Obr. 0.8: Budič s výkonovými tyristory

□ Odbuzení alternátoru

Odbuzovače se používají během havarijních stavů, při kterých nelze alternátor odpojit od místa poruchy (zkratky na svorkách a vývodech alternátoru, poruchy blokových transformátorů, vnitřní zkratky alternátoru atd.). Při těchto poruchách nelze jednoduše odpojit buzení, jelikož by se vzniklým přepětím mohla poškodit izolace budicího vinutí. Úkolem odbuzovače je co nejrychleji zmařit energii rotoru, aby se zamezilo škodám na zařízení. V některých případech může plnit funkci odbuzovače samotný budič (umožňuje-li inverzní chod). Odbuzení považujeme za ukončené, klesne-li svorkové napětí alternátoru pod 500V.

□ Fázování alternátoru

Přifázováním alternátoru rozumíme jeho připojení ke vnější síti. V praxi používáme dvou způsobů fázování.

- Synchronní - Tento typ fázování je nejčastější, jelikož při něm nedochází k velkým proudovým a mechanickým rázům. Časové je ovšem náročné a vyžaduje složitou automatiku. Aby došlo k úspěšnému připojení stroje k síti, je zapotřebí splnit několik podmínek. Alternátor musí mít stejný sled fází jako síť, do které jej chceme připojit. Rozdíl napětí musí být do 5% (při havarijních stavech je přípustná odchylka až 20%), rozdíl fáze do 12% a rozdíl kmitočtu menší než 0,1%. Proudový náraz je při rozdílu napětí jalového charakteru, při rozdílu fází má činný charakter. Synchronní fázování bylo v minulosti prováděno ručně, pomocí tří žárovek. Tyto žárovky přemostňovaly kontakty jednotlivých fází alternátorového vypínače a blikaly proto dvojnásobkem rozdílového kmitočtu alternátoru a sítě. Zhasnutí žárovek signalizovalo minimální rozdíl napětí mezi alternátorem a sítí (tzv. fázování "na tmou"), což je vhodný okamžik k přifázování. V moderních elektrárnách je fázování realizováno pomocí automatických systémů.
- Asynchronní - Využívá se zejména v havarijních situacích, při kterých kolísá napětí a kmitočet v síti. V těchto případech je totiž doba synchronního fázování neúměrně dlouhá, navíc hrozí riziko neúspěšného přifázování vlivem měnících se parametrů sítě. Odbuzený stroj se roztočí na otáčky blízké synchronním, přifazuje a poté se skokově přibudí. Rotor se sám vtáhne do synchronismu. Při tomto druhu synchronizace vzniká vždy proudový náraz jalového charakteru. Tento způsob synchronizace se nejlépe provádí u strojů s tlumícím vinutím.

□ Ochrany alternátoru

Jelikož je alternátor velmi drahé zařízení, je zapotřebí jej patřičně chránit proti poruchám a mimořádným provozním stavům a zamezit tak jeho poškození či zkrácení životnosti. Alternátor je také třeba odpojit, pokud jeho chod narušuje stabilitu elektrizační soustavy. Proto je alternátor vybaven systémem ochran.

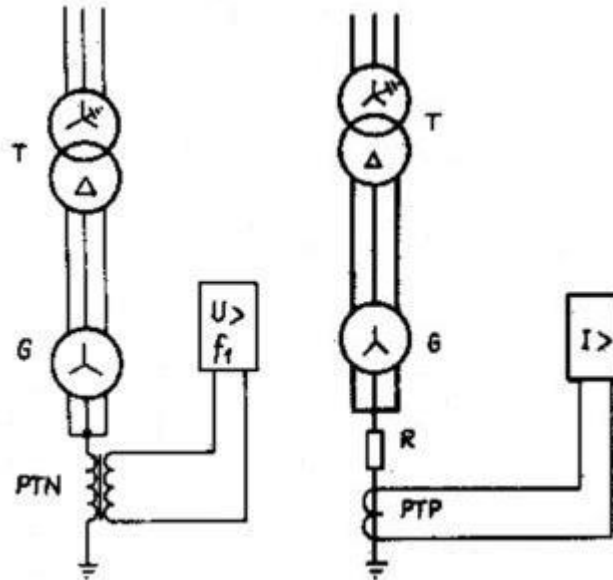
- Rozdílová ochrana:

Jedná se o ochranu s vynikající selektivitou, která najde uplatnění hlavně při detekci vnitřních zkratů. Tyto ochrany dále dělíme na podélné a příčné. Podélná ochrana porovnává vstup a výstup objektu, příčná ochrana porovnává vstupy (případně výstupy) dvou totožných objektů. Pokud rozdíl měřených veličin překročí nastavenou hodnotu, dojde k vybavení ochrany. Příčné ochrany se používají jako ochrany paralelních větví satorového vinutí, podélné u blokových transformátorů a transformátorů vlastní spotřeby.

- Zemní ochrana statoru alternátoru:

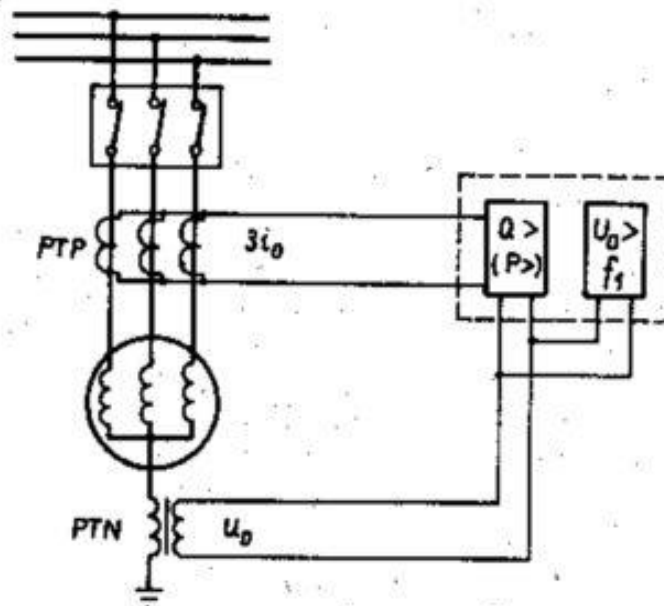
Chrání stator alternátoru před zemním spojením. Zemní spojení musí být včas detekováno, aby se zamezilo poškození stroje zemním proudem (dochází také k jeho nesymetrickému zatížení). Zapojení ochrany se liší podle způsobu připojení alternátoru v síti.

Pokud pracuje alternátor v jednom bloku s transformátorem, ochrana vyhodnocuje napětí mezi uzlem stroje a zemí, případně proud tekoucí z uzlu do země. Takto lze detekovat zemní spojení v rozsahu 95% vinutí.



Obr. 0.11: Zemní ochrana statoru při blokovém uspořádání

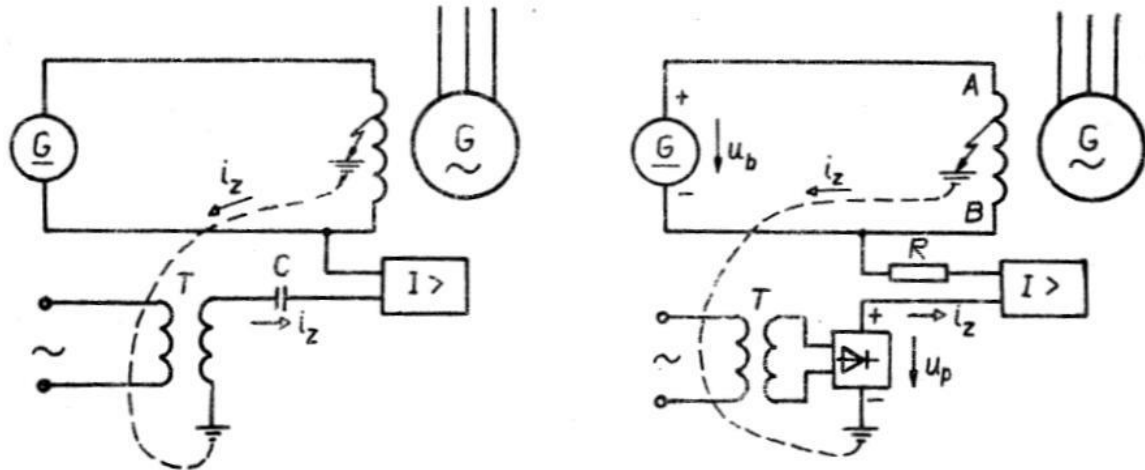
Pracuje-li alternátor do přípojníc, je nejprve nutné provést výpočty zemních kapacitních proudů alternátoru a sítě. V takovémto případě je ochrana vybavena jalovým článkem, který určuje směr toku kapacitního proudu a tím dokáže určit, zda-li došlo k zemnímu spojení v síti, nebo v alternátoru.



Obr. 0.12: Zemní ochrana statoru, alternátor pracuje do přípojníc

- Zemní ochrana rotoru alternátoru:

K zemnímu spojení rotoru alternátoru dochází při poškození izolace budícího vinutí a jeho spojení s tělesem rotoru. Pokud dojde ke spojení pouze v jednom místě (tzv. jednoduché spojení), je stroj stále možno provozovat. Dojde-li ovšem ke druhému spojení, vznikne zkrat části budícího obvodu a může dojít k těžké havárii alternátoru. Tato ochrana alternátor neodstavuje, pouze signalizuje vznik spojení. K indikaci zemního spojení se používá metod střídavé a stejnosměrné superpozice. V obou případech ochrana obsahuje proudový článek zaznamenávající nárůst proudu, ke kterému dojde při zemním spojení.



Obr. 0.13: Zemní ochrana rotoru

- Ochrana proti proudovému přetížení:

Chrání alternátor před nadměrným oteplením, které by způsobilo urychlené stárnutí izolace. Používají se časově zpožděné nezávislé proudové ochrany.

- Ochrana proti nadpětí:

Chrání alternátor při náhlém odlehčení zátěže, selhání regulátoru napětí a při protočení turbíny. Napětí je měřeno pomocí měřícího transformátoru a ochrana průběžně vyhodnocuje jeho velikost.

- Ochrana proti zpětnému toku výkonu (wattmetrická):

Tato ochrana odpojí alternátor v případě, kdy dojde k toku ze sítě do stroje (alternátor přejde na motorický chod). Ochrana je časově zpožděná, aby se zamezilo jejímu vybavení při kolísání výkonu.

- Ochrana proti nesymetrii:

Pomocí měřících transformátorů proudu v každé fázi průběžně vyhodnocuje zpětnou složku proudu a odpojí alternátor, pokud by došlo k jeho nedovolenému oteplení.

- Ochrana proti ztrátě buzení:

Tato ochrana zajišťuje snížení výkonu soustrojí při ztrátě buzení a jeho přechodu do asynchronního chodu. Po nastavené době (pokud buzení není obnoveno) alternátor odpojí.

- Ochrana proti podsynchronním otáčkám:

Blokuje regulátor napětí stroje do doby, než dosáhne jmenovitých otáček. Tím zamezuje nárůstu budícího proudu stroje a zabraňuje tak přesycení magnetických obvodů.

- Ochrana proti ložiskovým proudům:

Jelikož není magnetické pole alternátoru dokonale souměrné, dochází při jeho provozu ke vzniku napětí mezi hřídelí rotoru a statorem stroje. Aby se zamezilo toku proudu přes ložiska, jsou ložiskové pánve izolovány. Tato ochrana tedy kontroluje izolaci ložiskových pánví. Je tvořena měřícím transformátorem proudu, jehož středem prochází hřídel rotoru alternátoru. Pokud dojde k toku proudu přes ložiska, ochrana vybaví.

- Ochrana proti samobuzení:

K samobuzení stroje může dojít, pracuje-li alternátor do kapacitní zátěže (např. dlouhé vedení naprázdno). Samobuzení se projeví vzrůstem svorkového napětí stroje. Tato ochrana je tvořena přepětovým článkem, který je blokován minimálním proudem buzení.

Transformátory

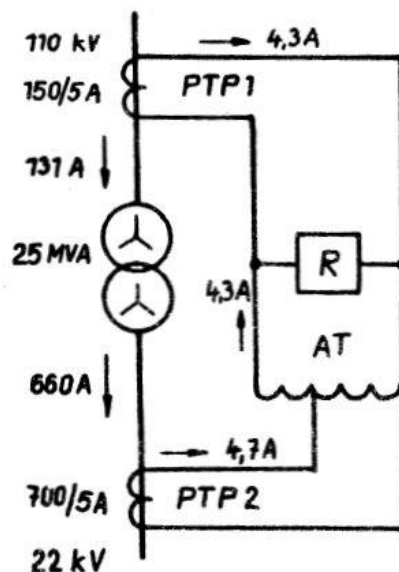
V každé elektrárně je použito několik druhů transformátorů, které se liší svým účelem a tím i vlastním provedením. Pomocí transformátorů se vyvádí výkon alternátorů do sítě, pokrývá se jimi vlastní spotřeba a transformují napětí pro vlastní spotřebu na patřičné napěťové hladiny.

□ Ochrany transformátoru

Transformátory je třeba stejně jako ostatní zařízení chránit před poruchovými stavy. Poruchy transformátorů můžeme dělit na průchozí (nastávají vlivem připojené zátěže) a vnitřní (poruchy transformátoru samotného). Při poruše se může transformátor začít nebezpečně zahřívat, což vede ke zkrácení životnosti nebo až k destrukci některých jeho částí. Nebezpečné jsou také výboje uvnitř samotného transformátoru, případně silové projevy poruchových proudů. Proto transformátory vybavujeme systémem ochran, které jej v případě překročení nastavených parametrů odpojí a zamezí tak jeho poškození.

- Rozdílová ochrana:

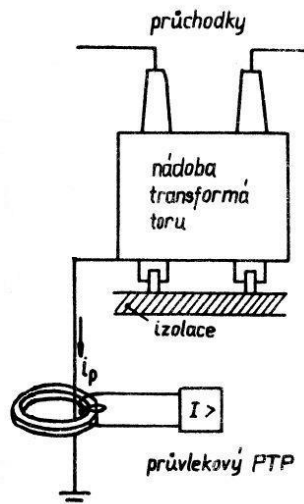
Chrání transformátor před vnitřními poruchami. Realizace této ochrany je složitější než u jiných objektů, jelikož vstupem a výstupem transformátoru tečou rozdílné proudy. Využívá se proto měřících transformátorů proudu s různými převodovými poměry. Je také třeba uvažovat fázové posuvy mezi proudy a náraz magnetizačního proudu při zapnutí transformátoru. Proto se do obvodů vkládají pomocné transformátory, případně se snižuje citlivost rozdílových relé.



Obr. 0.14: Rozdílová ochrana transformátoru

- Nádobová ochrana:

Tato ochrana vybavuje při přeskočení napětí na průchodkách transformátoru, nebo při spojení vinutí s jeho kostrou. Transformátor je umístěn izolovaně od země, zemnicí vodič prochází proudovým transformátorem. Dojde-li k výskytu napětí na kostře transformátoru, začne zemnicím vodičem protékat proud a ochrana vybaví.



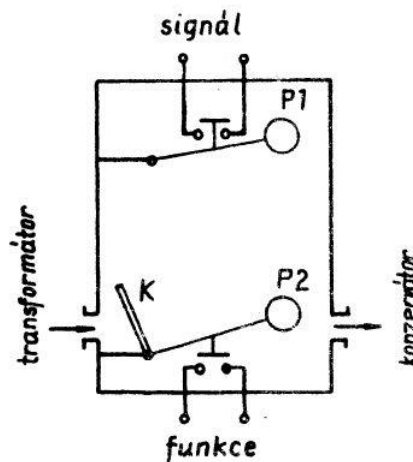
Obr. 0.15: Nádobová ochrana transformátoru

- Nadproudová ochrana:

Používají se stejné prostředky jako u chránění jiných objektů. Běžná je trojfázová, časově zpožděná nadproudová ochrana. Pokud je zapotřebí ochranu znecitlivět vůči vzdáleným zkratům, využijeme podpěťového blokování.

- Plynové relé:

Tato ochrana nalezne své uplatnění u transformátorů s olejovým chlazením. Průvodním jevem některých poruch transformátoru je totiž výron plynů z chladicího oleje. Ochrana je umístěna mezi víkem transformátoru a konzervátorem a je vybavena dvěma plováky. Plovák P1 reaguje na pomalé vyvíjení plynů (např. při přetížení), plovák P2 reaguje na pokles hladiny oleje (např. při zkratech, netěsnosti nádoby apod.). Plovák P2 může být vybaven klapkou, která urychluje funkci ochrany při zkratech (olej začne proudit z nádoby do konzervátoru). Při sepnutí plováku P1 dojde pouze k signalizaci poruchy, plovák P2 způsobí okamžité vybavení ochrany.



Obr. 0.16: Nádobová ochrana transformátoru

□ Hlavní transformátory

Hlavní transformátory slouží k vyvedení výkonu elektrárny, pokud alternátor nepracuje přímo do sítě. Transformují napětí alternátoru na napěťovou hladinu vhodnou pro přenos, mohou být také vybaveny odbočkou pro napájení vlastní spotřeby elektrárny (pokud není vlastní spotřeba kryta odbočkou ze svorek alternátoru). U jednotek velkých výkonů bývá použito dvou paralelních transformátorů, je také možný chod několika alternátorů do jednoho transformátoru. V případě blokového provedení elektrárny hovoříme o tzv. blokových transformátorech.

Výkon transformátoru je určen výkonem alternátoru, ke kterému je připojen (je ovšem třeba počítat s možným krátkodobým přetížením). Pokud je vlastní spotřeba elektrárny (případně bloku) pokryta ze svorek alternátoru, volí se výkon nižší o vlastní spotřebu. Transformátor je buďto třífázový, nebo je tvořen třemi jednofázovými jednotkami. Použití jednofázových transformátorů má své výhody – jsou jednodušší na výrobu a přepravu, levněji se také realizuje případná záloha (jako záložní stačí pouze jeden jednofázový transformátor na celou elektrárnu, kterým se v případě poruchy nahradí postižená jednotka). Nevýhodou je ovšem vyšší cena. Chlazení je olejové, přičemž může být umístěno mimo samotný transformátor. Cirkulace oleje je přirozená, nebo nucená.

Primární vinutí bývá téměř vždy zapojeno do trojúhelníka, jelikož tak lze celkem snadno snížit obsah třetí harmonické a zároveň lépe rozložit zatížení na jednotlivé fáze (zejména při nesouměrných zkratech). Rovněž i proudy jsou při zapojení do trojúhelníka nižší, což umožňuje použít vodiče menšího průřezu. Pokud se počítá s pokrytím vlastní spotřeby při rozběhu bloku z tohoto transformátoru, je mezi primárem a alternátorem zapojen alternátorový vypínač. Je – li vlastní spotřeba při rozběhu bloku kryta z jiného transformátoru,

je alternátor připojen přímo na transformátor a vypínač se nachází až na jeho sekundární straně.

Sekundární vinutí je zapojeno do hvězdy, uzemnění uzlu může být připojeno přes odpojovač z důvodu různých zkoušek a měření. Napětí nakrátko je závislé na samotné konstrukci transformátoru a běžně bývá do 15%. Sekundár může být vybaven odbočkami, kterými lze upravit převodový poměr (případně je proveden jako autotransformátor), zejména pokud je připojen současně na více napěťových hladin.