

5 Chránění asynchronních motorů vn

Třífázové asynchronní motory s kotvou nakrátko jsou výrobně nejjednodušší a proto také nejběžněji používané motory. Vyrábějí se s výkonem přibližně od 100 W pro nízká napětí, až po vn motory s výkonem běžně do dvou MW. Jen výjimečně jsou navrhovány motory až do oblasti výkonů 20 MW.

Motory na nízké napětí jsou nejčastěji chráněny jističem s motorovou charakteristikou nebo jističem a stykačem s přídavným tepelným modulem. Jistič pak chrání vývod proti zkratu a tepelný modul působí při přetížení motoru.

Dnes se v pohonech často setkáme s nízkonapěťovými motory ve spojení s frekvenčními měniči. Používají se v případech, kdy je třeba zajistit plynulý rozběh zařízení nebo regulovat otáčky motoru. Frekvenční měniče mají k dispozici všechny potřebné údaje o zatížení motoru. To jim umožňuje regulovat tak, že k nebezpečnému přetěžování motoru vůbec nemůže dojít. Celé zařízení se pak chrání jen proti zkratům.

V oblasti vysokého napětí 6 kV a někdy i 10 kV se navrhují motory větších výkonů. Spodní hranice se zde pohybuje od 150 kW. Ceny těchto vn motorů jsou vysoké a proto jsou zde také vysoké požadavky na jejich chránění. Pod pojmem motorová ochrana se vždy jedná o celý soubor ochran. Mezi základní funkce patří zkratová ochrana, ochrana rozběhu motoru, tepelný model, zemní ochrana a ochrana při nesymetrii. Další používané funkce jsou například ochrana při podpětí, počítadlo startů motoru a blokování dalšího zapnutí při překročení dovoleného počtu startů za hodinu, ochrana při zablokovaném rotoru ve spojení se snímačem otáček, tepelná ochrana využívající přímé měření teploty vinutí a ložisek motoru. Pro kontrolu technologie se používá podproudová nebo podvýkonová ochrana. Ta pomůže rychle odhalit roztržení spojky, přetržení pasu dopravníku nebo ztrátu dopravované kapaliny u čerpadla.

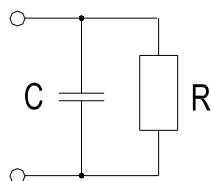
5.1 Tepelný model (1)

Funkce podle číselného značení ANSI: 49 Tepelná ochrana

Je to základní funkce motorové ochrany. Má za úkol chránit motor proti přetěžování. Během let se tato funkce vyvíjela nejvíce. Tepelný model by měl podle vzorku proudu procházejícího motorem určit oteplení vinutí a rozhodnout, zda je dosažená teplota nižší nebo zda už překračuje maximální povolenou teplotu izolace. Dlouhodobé překračování této teploty způsobuje rychlé stárnutí izolace a tím výrazné zkrácení životnosti motoru. Například trvale přetěžování motoru proudem 110 % jmenovité hodnoty způsobí oteplení odpovídající I^2 tedy 121 % a může snížit životnost motoru až na 20 %. tedy z běžné životnosti motoru přibližně z 20 let na 4 roky. Vidíme tedy, že nejjednodušší ochrany, které se používají už více než 50 let a u kterých je přesnost měření cca 15 %, mohou chránit motor nedostatečně. Moderní ochrany dosahují přesnosti lepší než 2 %.

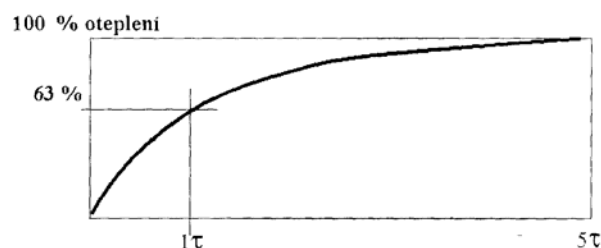
Je třeba poznamenat, že určitou rezervu si nechávají už výrobci motorů. Zatímco dříve se používaly pro izolaci vinutí materiály třídy B s maximální teplotou 130° C, dnes je zcela běžné použití materiálů třídy F s teplotou 155° C. V popisu motoru se pak objeví poznámka: Izolační systém vinutí odpovídá třídě F, avšak motor je řešen tak, že při zatížení podle štítkových hodnot se dosahuje oteplení třídy B. V poslední době je snaha výrobců dále zvyšovat účinnost motorů a tím zajistit úspory v provozu. Jedním z důsledků toho je, že se teplotní třída F začíná využívat až na svoji hranici, tedy 155° C.

Základní pohled na chránění motoru před tepelnými účinky může být velmi jednoduchý. Motor považujeme za tělesovou soustavu. Elektricky si ho můžeme představit následovně.



Obr. 5.1 Elektrický ekvivalent výpočtu oteplení motoru.

Motor běží a ohřívá se ztrátovým výkonem podle velikosti procházejícího proudu I s časovou konstantou τ , kterou navrhnul výrobce motoru. Je daná tepelnou kapacitou stroje C a výkonem chlazení R . Výrobce volí tuto celotělesovou časovou konstantu přibližně od 30 do 80 minut. Při jmenovitém zatížení motoru dosáhne teplota ze studeného stavu za 1τ , 63 % z max. hodnoty a za 5τ se teplota ustálí na jmenovité hodnotě, tedy například na 130°C.



Obr. 5.2 Průběh oteplení motoru.

100 % oteplení pak představuje při max. teplotě okolí 40 °C, $(130 - 40) - 90^\circ \text{K}$

Pro rozběh je typický proud $6I_n$ ($4-7I_n$ platí pro motory s kotvou na krátko, přímo spouštěné) oteplení by dosáhlo na 36 x vyšší hodnotu. To znamená, že k vypnutí během rozběhu by došlo už po několika desítkách vteřin.

Motor je složitá soustava ve které se projevuje mnoho dalších vlivů. Teplo, které vznikne ve satorovém vinutí, musí nejdříve prostoupit izolací, ohřát železo satoru, nuceným oběhem vzduchu být dopraveno na povrch motoru a teprve pak vyzářeno do okolí. Teplota izolace nesmí překročit 155°C.

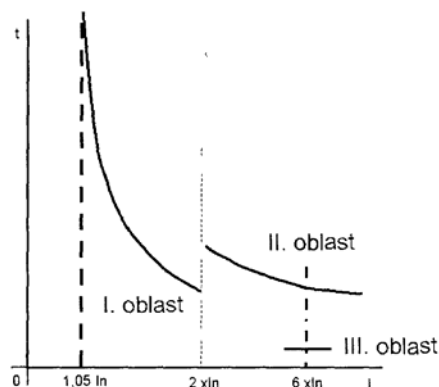
Rotor má úplně jiné vlastnosti. Vinutí zpravidla hliníková klec nemá izolaci. Předává teplo přímo do železa rotoru a dále chladícím vzduchem na povrch stroje a do okolí. Teplota tyčí z hliníku může přitom dosahovat až 250°C. Rotor má vzhledem k rozměrům mnohem kratší

časovou konstantu než je celotělesová. Běžně se uvažuje 3x až 5x kratší. Tedy má časovou konstantu přibližně od 6 do 25 minut.

Při rozběhu, hlavně v jeho první části dochází v rotorových tyčích ke skinefektu, proud je vytlačován na povrch tyčí, a tím se snižuje účinný průřez vodiče. To představuje další ztráty a další zvyšování teploty rotorových tyčí. Rozběh motoru, hlavně těžký rozběh, se velmi významně projevuje na celkovém oteplení stroje. V některých případech podíl jednoho rozběhu představuje až 30 % z celkové tepelné kapacity stroje. Výrobce motoru proto zaručuje 3 rozběhy ihned po sobě ze studeného stavu a 1 až 2 rozběhy z teplého stavu.

Tady vidíme hlavní nedostatek jednoduchého modelu. V případě, kdy jeden těžký start vyčerpá přibližně 30 % z tepelné kapacity, bude první podmínka, tři starty ze studena splněna, ale při předchozím zatížení motoru jmenovitým proudem tento model již neumožní ani jeden teplý start. Takový model lze tedy použít jen v nenáročných aplikacích, například tam, kde se motor prakticky nevypíná a kde nevadí, že před dalším zapnutím musí být zařazena přestávka. Tento model je ale dobře použitelný pro chránění transformátorů nebo kabelů.

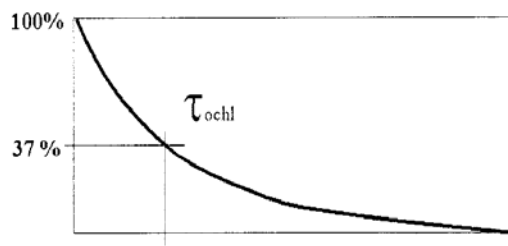
Navrhnout dokonalý model pro chránění motorů, který by zohlednil všechny vztahy, by byl příliš složitý, proto jednotliví výrobci ochrany používají některá zjednodušení tak, aby vyhověli požadavkům na chránění.



Obr. 5.3 Typická zatěžovací charakteristika motoru udávaná výrobcem.

- I. Oblast představuje chránění běžícího motoru proti přetížení
- II. Oblast pro rozběh motoru, definuje povolenou dobu rozběhu
- III. Oblast popisuje chování při zablokovaném motoru kdy nepracuje cizí ventilace

K tomu, aby se dalo určit, za jak dlouho bude možno přehřátý motor znovu zapnout, je ještě nutná ochlazovací konstanta motoru v zastaveném stavu. Dá se dobře určit měřením teploty vinutí z teplého stavu, jak ukazuje následující graf.



Obr. 5.4 Průběh ochlazování motoru.

$\tau = \tau_{\text{ochl}}$ běžná hodnota je 4 až 6-krát delší než oteplovací časová konstanta τ

Běžné řešení tepelného modelu:

Tepelný model je vybaven třemi časovými konstantami. Jeho střadač se naplňuje nebo vybíjí s časovou konstantou přepínanou podle velikosti procházejícího proudu. Při proudu 0,1 až $2 I_n$ je použita konstanta určená pro chod motoru. Při větším proudu než $2 I_n$ se uplatňuje druhá konstanta určená pro rozběh motoru a třetí konstanta modeluje ochlazování stojícího stroje. Tento model opět neřeší, stejně tak jako nejjednodušší jednosložkový model, zapnutí motoru z teplého stavu. Dá se zde využít rozdíl mezi jmenovitou teplotou pro třídu B (130°C) a maximální povolenou teplotou pro třídu F (155°C). Případně lze ještě využít toho, že teplota okolí bude vždy nižší než 40°C , jak předepisuje norma. V našich podmínkách můžeme uvažovat max. teplotu okolí 30°C . Jmenovitou teplotu stroje tím snížíme na 120°C . Tím se rozdíl teplot z jmenovité po maximální pro třídu F zvýší na 35° . Tento rozdíl je pro jeden teplý start již dostačující.

Doba do vypnutí t se vypočítá podle následujícího vztahu:

$$t = \tau I_n \cdot \frac{\left(\frac{I}{I_{Mn}}\right)^2 \frac{v_p - v_u}{v_{Mn} - v_u}}{\left(\frac{I}{I_{Mn}}\right)^2 \frac{v^* - v_u}{v_{Mn} - v_u}} \quad (5.1)$$

kde je:

- τ ... zvolená časová konstanta
- I ... skutečný proud motoru
- I_{Mn} ... jmenovitý proud motoru
- v_p ... teplota z předchozího stavu
- v_u ... teplota okolí
- v_{Mn} ... jmenovitá teplota
- v^* ... vypínací teplota

Řešení s využitím teorie horké skvrny:

Vychází z toho, že při startu motoru se nadměrně ohřejí jen určité části motoru a je-li start úspěšný, teplo se rychle odvede do chladnějšího okolí těchto částí.

Příkladem mohou být rotorové tyče. Ty mají za provozu teplotu blížíící se okolním částem stroje, tedy například 130°C. Jejich maximální povolená teplota je ale až 200-250°C. Mají tedy k dispozici rezervu minimálně 50 %. Výpočty motorů tento stav potvrzují. Při startu roste v prvním okamžiku teplota tyčí velmi rychle, ale jak se rotor dostává postupně do otáček, začne se uplatňovat ventilace a teplota tyčí ještě během probíhajícího rozběhu začne klesat. Po ukončení rozběhu dojde přibližně v průběhu půl minuty k vyrovnání teplot mezi tyčemi a železem rotoru.

Tepelný model, který umí tento vývoj napodobit využívá pro zjednodušení jen jednu časovou konstantu. V tomto případě je vhodné použít kratší časovou konstantu určenou pro rotor. Znamená to, že teplota modelu může reagovat rychleji na změny proudu. Statorové vinutí je v takovém případě chráněno s velkou rezervou.

Místo časové konstanty se někdy využívá výrazu t_{6x} , tím se definuje čas do vypnutí ze studeného stavu při proudu $6I_n$. Přepočet na časovou konstantu je následující:

t_{6x} se udává v sekundách, τ vychází v minutách

$$\tau = 32 \times t_{6x}$$

Doba do vypnutí t se vypočítá podle následujícího vztahu:

$$t = 32 \cdot t_{6x} \cdot I_n \frac{\left(\frac{I}{I_\theta}\right)^2 - \frac{p}{100} \left(\frac{I_p}{I_\theta}\right)^2}{\left(\frac{I}{I_\theta}\right)^2 - \left(\frac{I_t}{I_\theta}\right)^2} \quad (5.2)$$

I skutečný proud motorem

I_θ jmenovitý proud motoru

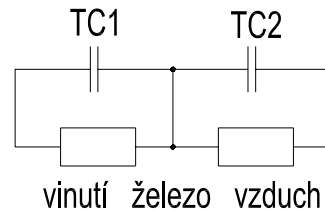
p udává na kolik % poklesne teplota modelu po ukončení rozběhu

I_p proud při předchozím zatížení motoru

I_t minimální proud při kterém dojde k vypnutí $I_t = 1,05I$

Dvousložkový tepelný model:

Zatím nejdokonalejší tepelný model. Modeluje přechod tepla mezi vinutím, železem a vzduchem. V ochraně je použit dvakrát. V jednom případě modeluje teplotu ve statoru stroje, v druhém pak v rotoru. Vypíná ten stupeň u něhož dojde dříve k překročení povolené teploty. Dvousložkový tepelný model si můžeme představit takto:



Obr. 5.5 Dvousložkový model výpočtu oteplení motoru.

Model počítá oteplení podle následujícího vztahu:

$$\Delta\Theta = \left[p \cdot \left(\frac{I}{I_n} \right)^2 \cdot \Delta\Theta_n \right] \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{TC1}} \right) + \left[(1-p) \cdot \left(\frac{I}{I_n} \right)^2 \cdot \Delta\Theta_n \right] \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{TC2}} \right) \quad (5.3)$$

- $\Delta\Theta$ oteplení statoru nebo rotoru
- p váhový faktor pro krátkou časovou konstantu
- I skutečný proud motoru
- I_n jmenovitý proud motoru
- $\Delta\Theta_n$ jmenovité oteplení motoru při I_n
- TC1 krátká časová konstanta (přechod z vodiče do železa)
- TC2 dlouhá časová konstanta (přechod ze železa do vzduchu)

Protože tyto časové konstanty většinou výrobci motoru neudávají, nabízí tepelný model doporučené hodnoty TC1 a TC2 a maximální i jmenovité teploty pro rotor a stator. Hodnoty navrhuje podle zadané konstrukce a velikosti motoru. Všechny tyto parametry jsou jen informativní a lze je po dohodě s výrobcem motoru změnit.

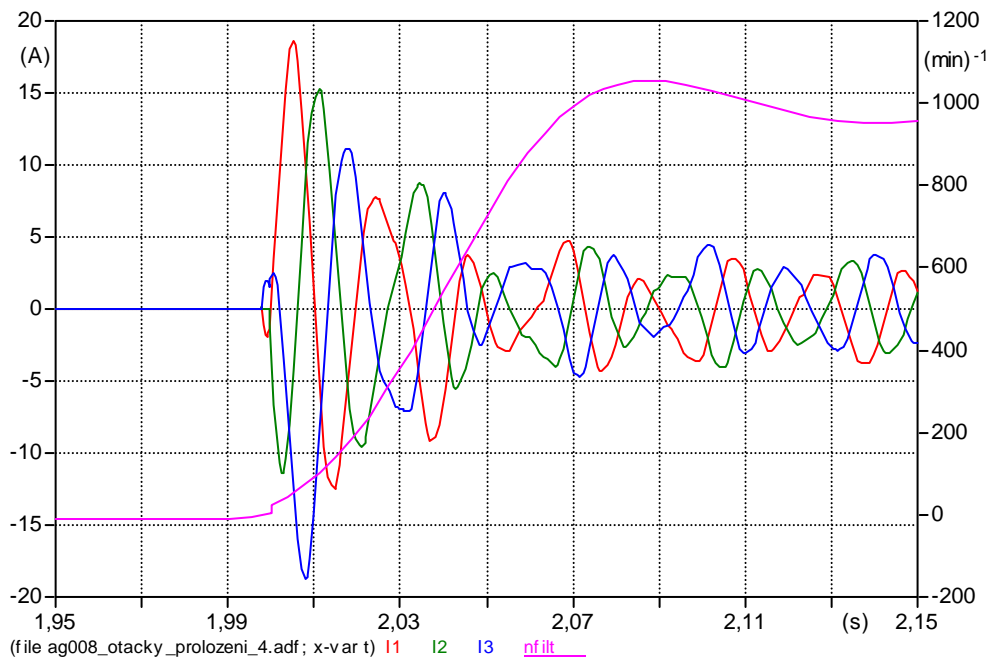
5.2 Ochrana rozběhu

Funkce podle číselného značení ANSI: 51 nadproudová ochrana časově zpožděná

Chrání motor během rozběhu a bývá kombinována s ochranou při zablokovaném rotoru a s ochranou, která počítá opakované starty.

Pro rozběh motoru s kotvou nakrátko je typický následující průběh:

Startovací proud skokem vystoupí na hodnotu $6I_n$ motoru a trvá po celou dobu rozběhu. Při dosažení jmenovitých otáček motoru proud prudce klesne a dále se mění podle skutečné zátěže motoru.



Obr. 5.6 Průběh rozjezdu asynchronního motoru 1,1kW s kroužkovou kotvou, $I_n = 3$ A, (průběh fázových proudů a otáček).

Pro chránění rozběhu je možno použít nadproudovou ochranu s pevným časem. Její nevýhoda se projeví v případě, kdy během startu motoru dojde k významnému poklesu napětí a tím k nedefinovanému prodloužení doby rozběhu. V těchto případech není funkce s pevným časem příliš vhodná.

Nejčastěji se používá ochrana s funkcí $I^2 \cdot t$. Ta vypočítává tepelné namáhání během rozběhu a porovnává ho s plochou obdélníka $I_s^2 \cdot t_s$. Při poklesu napětí během rozběhu si tedy ochrana sama přepočítá a prodlouží vypínací čas.

Stejná funkce se někdy používá pro chránění zablokovaného rotoru, to je v případě kdy se motor vůbec nerozběhne a nezačne se chladit. V těchto případech nelze čekat, až uplyne normální doba rozběhu, ale je třeba motor vypnout mnohem dříve. U některých typů motorů je tato doba až 1/3 normální doby rozběhu. Tato funkce využívá signál ze snímače otáček na hřídeli motoru. Když se motor rozbíhá normálně, snímač otáček zablokuje funkci této ochrany a v činnosti zůstává základní ochrana při rozběhu. Když motor zůstane stát nebo nedosáhne požadovaných otáček, ochrana zablokovaného rotoru vypne a zakáže další starty.

5.3 Ochrana proti opakovaným startům

Funkce podle číselného značení ANSI: 48 ochrana neukončené sekvence.

Výrobce motoru většinou definuje povolený počet startů motoru za hodinu. Tato ochrana sčítá doby jednotlivých startů a porovnává je s povoleným údajem startů za hodinu. Po vyčerpání

limitu zablokuje další starty. Ochrana pak odečítá nastavenou rychlostí z počítadla startovací doby. Při dosažení hodnoty pod povoleným limitem povolí další start. Stejným způsobem pracuje i při úspěšném startu. Při chodu motoru dojde po nastavené době k úplnému vymazání stavu počítadla startovací doby a ochrana umožní znovu plný počet startů.

5.4 Zkratová ochrana

Funkce podle číselného značení ANSI: 50 mžiková nadproudová ochrana případně 51 nadproudová ochrana časově zpožděná

Je to základní ochrana, která chrání současně motor i přívodní kabel. Musí rychle vypínat zkratové proudy a proto musí být nastavena dostatečně vysoko od provozních stavů motoru. Typický rozběhový proud se pohybuje kolem $6I_n$ motoru, v prvním okamžiku zapnutí dochází ještě navíc k nabíjení kapacit stroje. Tento nabíjecí proud dosahuje asi $9I_n$ a trvá přibližně 20 ms.

Vzhledem k malým jmenovitým proudům motoru nepředstavuje nastavení zkratové ochrany na přibližně $10I_n$ motoru žádný problém. Zkratové proudy se v soustavě 6 kV většinou pohybují v oblasti desítek kA a tak je odstup nastavení od minimálního zkratového proudu vždy dostatečný. Jen u výjimečně velkých strojů je vhodné volit zkratovou ochranu nastavenou níže například na $5I_n$ a toto nastavení během zapínacího pochodu zdvojnásobit.

Velký problém ale mohou představovat přístrojové transformátory proudu. Například motor 6 kV o výkonu 200 kW má jmenovitý proud kolem 25 A. Když použijeme přístrojové transformátory s převodem 25/5 A, může dojít až k jejich 1000 násobnému přesycení. Zkratový proud 25 kA je ve větších provozech poměrně běžný. Je tedy třeba vždy volit přístrojové transformátory s dostatečným výkonem a nadproudovým číslem s ohledem na velikost zkratových proudů. Přístrojové transformátory se skutečným nadproudovým číslem n^* alespoň 30, již většinou těmto požadavkům vyhovují.

Skutečné nadproudové číslo je nadproudové číslo měniče přepočítané pro skutečnou zátěž.

$$n^* = n \cdot \frac{\frac{P}{I_n^2} + R_2}{R_s + R_2} \quad (5.4)$$

n^*	skutečné nadproudové číslo
n	nadproudové číslo udávané výrobcem
P	jmenovitý výkon měniče
I_n	jmenovitý proud měniče
R_2	vnitřní odpor měniče
R_s	odpor ochrany a přívodu k ní

5.5 Zemní ochrana

Funkce podle číselného značení ANSI: 51 N nadproudová ochrana časově zpožděná pro I_0

Zemní ochrana je určena pro chránění při zemních spojeních na kabelu, ale hlavně v motoru. Motory jsou mnohem více namáhány než například transformátory. Vinutí statoru je umístěno v úzké drážce, motor se za provozu zahřívá a chvěje. K zemnímu spojení dochází nejčastěji poškozením izolace vinutí. Další vývoj poruchy už záleží od vlastnosti sítě.

Izolovaná síť se zemním proudem do 10 A zpravidla žádné větší škody nezpůsobí. Jiskřením v místě poruchy se bude stav poškozené izolace dále zhoršovat.

Podobně tomu bude i v případě soustavy s kompenzační tlumivkou. Ta ve vykompenzovaném stavu omezí poruchový proud pod hranici 10 A.

většinou na 2 až 4 A činné složky proudu. Důsledky budou ještě mírnější než v prvním případě.

Kritické pro motor jsou soustavy s velkým zemním proudem, buď rozsáhlé nekompenzované soustavy nebo soustavy uzemněné přes odporník. V obou případech zemní proudy dosahují desítek A. Pak už nedochází jen k poškození izolace, ale také k poškození statorových plechů. Oprava je pak velice nákladná, představuje rozebrání celého stroje.

Z tohoto pohledu se zdají být výhodnější malé izolované soustavy nebo soustavy s kompenzační tlumivkou. Zkušenosti ale ukazují, že právě v těchto soustavách dochází vlivem vysokých přepětí při zemních poruchách mnohem častěji k poškození izolace motorů.

Nejvhodnější pro motory je tedy odporově uzemněná soustava, kde ke zmiňovaným přepětím nedochází. Právě tady je nasazení zemní ochrany nezbytné. Doba do vypnutí s ohledem na poškození železa musí být pod 1 s.

Zemní proudy se získávají nejčastěji dvěma způsoby. Součtem okamžitých hodnot fázových proudů nebo průvlekovým měničem. Výhoda prvního způsobu je v jednoduchosti zapojení, v ušetřených nákladech za průvlekový měnič a za jeho dodatečnou montáž. Nevýhoda spočívá hlavně v tom, že chyby přístrojových transformátorů se projeví jako falešný proud I_0 . To znamená, že se musí volit vyšší nastavení a delší vypínací časy. nebo blokovat funkci zemní ochrany během startu motoru.

Řešení s průvlekovým měničem na kabelu znamená, že ochrana měří skutečný proud I_0 . Může být nastavena citlivě a s krátkým vypínacím časem. Instalace průvlekového měniče je dnes mnohem jednodušší. Běžně jsou dostupné průvlekové měniče s děleným jádrem, které umožňují dodatečnou montáž bez odpojení vn kabelu.

5.6 Ochrana při nesymetrii

Funkce podle číselného značení ANSI: 46 ochrana vyhodnocující proudovou nesymetrii

Nesymetrie ve vinutí motoru není možná. Může vzniknout při poruše motoru, ale nejčastěji bývá nesymetrie způsobena harmonickými v síti. Zpětnou složku získáme rozkladem z třífázové soustavy. Má opačný směr otáčení než základní složka. Působí tedy proti směru otáčení motoru a zvyšuje ztráty motoru.

Ochrana při nesymetrii má pro motory dva hlavní významy:

Zabránit provozu motoru na dvě fáze (nesymetrie 58 %). Tento stav může nastat při poruše jednoho pólu vypínače, nebo při přerušení pojistky u motorů ovládaných stykačem. Běžné úrovně nesymetrie již nejsou pro motor tak nebezpečné. Podle zkušenosti je 10% nesymetrie pro motor zcela neškodné a 20 % ještě použitelné. Vyšší hodnoty nesymetrie už významně zvyšují teplotu motoru a měly by se vypínat. Výhodou je použití závislé charakteristiky, která přiřadí vypínací čas podle skutečné velikosti nesymetrie.

Druhou důležitou vlastností je, že ochrana proti nesymetrii současně hlídá směr točení motoru. Může tedy zabránit opačnému otáčení ventilátoru nebo čerpadla, případně zničení drahého stroje.

5.7 Podpět'ová ochrana

Funkce podle číselného značení ANSI: 27 podpět'ová ochrana

Při poklesu napětí klesá také moment a snižuje se rezerva přebytku momentu potřebná pro pohon. V krajním případě by mohlo dojít až k zastavení motoru. Tomu je nutno předejít a pokud podpětí trvá, motor raději odpojit.

Většinou se volí postup, kdy při menším podpětí se nejdříve odpojí méně důležité spotřebiče, aby se síť odlehčila a důležité motory se udržely v chodu. Pokud toto odlehčení nestačí, musí se odpojit všechny motory.

Motory jsou navrženy tak, že se naprázdno rozběhnou ještě při podpětí $0,6U_n$. V praxi se ale volí hranice podpětí pro vypínání vyšší. Bývá to $0,65$ až $0,7U_n$ (ČSN 38 1120). Další důležitou funkcí podpět'ové ochrany je zajistit odpojení všech motorů při výpadku napětí, aby po jeho obnově nedošlo k automatickému spuštění motorů.

V provozech, kde je nutné udržet motory v chodu se používá automatický záskok. Pro motor může být kritické, dojde li k jeho novému připojení v protifázi. Proto se musí počkat, až napětí motoru klesne pod hranici cca $0,2 U_n$ a teprve pak se připojí nové zdravé napětí. Dnes se již začínají používat zařízení, která umožňují synchronizovaný záskok. Tato zařízení se pokusí připojit nový zdroj v okamžiku, kdy je ve fázové shodě s napětím na motoru. Teprve, když se to nepodaří uskutečnit, proběhne klasický zpožděný záskok.

5.8 Podproudová ochrana

Funkce podle číselného značení ANSI: 37 podproudová ochrana nebo ochrana při snížení výkonu

Podproudová ochrana motoru má za úkol chránit technologii a nahlásit včas její poruchu. Ochrana nabíhá při poklesu proudu pod stanovený limit. Musí být vybavena funkcí, která zablokuje její působení v případě, kdy je motor vypnutý.

Při jmenovitém zatížení teče motorem jmenovitý proud, při poklesu zátěže proud postupně klesá a současně se zhoršuje účinnost, až nakonec při chodu motoru naprázdno zůstává proud na hodnotě kolem 30% I_n a mění se jen účinnost. Proudová podmínka tedy nemusí být vždy jednoznačná. V takových případech se volí podwattová ochrana. Ta měří skutečný výkon motoru a lze ji proto nastavit mnohem citlivěji.

5.9 Tepelná ochrana

Funkce podle číselného značení ANSI : 26 zařízení pro vyhodnocení teploty

Bývá využívána pro měření teploty ložisek, chladicího média nebo přímo teploty vinutí v motoru. Nevýhodou této funkce je určitá setrvačnost, takže výsledky přicházejí se zpožděním. Je ale nenahraditelná například při poruše chladicího systému, nebo při začínající závadě ložisek motoru. Dnes se také začíná uplatňovat ve spojení s tepelným modelem, kde místo pevně zadávané teploty okolí 40°C jako výchozí stav tepelného modelu, zadává skutečnou teplotu okolí. Tím lze významně zvýšit dovolené zatížení motoru.

5.10 Diferenciální ochrana

Funkce podle číselného značení ANSI : 87 rozdílová (diferenciální) ochrana

Tato ochrana je podle normy povinná pro motory až od výkonu 6 MW. Doporučuje se ale její použití již od výkonu 1 MW. Při dnešních vysokých cenách motorů se začíná používat častěji. Pro motory může být zvolena i jednoduchá verze takové ochrany. Měníče na svorkách i v uzlu motoru mají stejný převod a stejný úhel. Porovnávají se tedy vždy dva stejné proudy. Ochrana může být nastavena velmi citlivě. Běžné nastavení I_{dif} je 10 - 20 % I_n motoru. Při poruchách v motoru ochrana velmi rychle vypíná a dokáže tak zabránit vysokým škodám. Při zkratech v síti vn přispívá motor do poruchy proudem přibližně $6I_n$ je důležité, aby v těchto případech diferenciální ochrana nezapůsobila.

5.11 Ochrany asynchronních motorů z pohledu ČSN

Současná ČSN 33 3051 (1992) Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení, která se jako jediná zabývá chráněním asynchronním motorů je z pohledu chránění asynchronních motorů zastaralá, nerespektuje dnešní moderní typy ochran.

Asynchronní motory vn se vybaví ochranami

asynchronní motory $P_{AM} \leq 1$ (MW)

nadproudová zkratová mžiková
nadproudová při přetížení (tepelný model)
podpěťová

asynchronní motory $1(MW) < P_{AM} \leq 6$ (MW)

nadproudová zkratová mžiková
nadproudová při přetížení (tepelný model)
podpěťová
zemní
nesouměrné zatížení
ložisková

asynchronní motory $P_{AM} \geq 6$ (MW)

nadproudová zkratová mžiková
nadproudová při přetížení (tepelný model)
podpěťová
zemní
nesouměrné zatížení
ložisková
zpětná wattová
rozdílová

- u motorů s těžkým rozběhem se použije nadproudová ochrana závislá s tepelným modelem. U motorů se zvláště těžkým provozem se doporučuje použít proti přetížení ochranu zapojenou na snímač teploty stroje nebo vystupujícího chladícího média
- zajímavý z pohledu chránění motorů je článek 7.1.3 - tepelnou ochranu motoru u pohonu jehož odstavení způsobí následnou poruchu mnohem většího rozsahu, než je poškození motoru tepelným namáháním, lze zapojit pouze na návěští.
- podpěťová dvoustupňová asynchronních motorů ochrana se projektuje podle ČSN 38 1120

ČSN 38 1120 (1994) Vlastní spotřeba tepelných elektráren a tepláren, její část čl.4.2. Napětí v přechodných stavech říká:

čl. 4.2.1. Při spouštění jednotlivých pohonů s elektromotory nesmí napětí klesnout po odeznění elektromagnetického přechodového děje pod 85% U_n . Celkově však nesmí klesnout pod 80% U_n .

čl. 4.2.3. Při rozběhu motorů při samonajždění nesmí po odeznění elektromagnetického přechodového děje poklesnout pod 65% U_n .

čl. 5. Zásady volby elektromotorů - doporučuje se, aby motory byly schopny tří spuštění za studena a 2 spuštění z teplého stavu bezprostředně po sobě.

Další ČSN, která se zabývala chráněním asynchronních motorů byla **ČSN 38 1009 (1971)** Měření, řízení, ochrany, automatika a sdělovací zařízení v energetických výrobnách a rozvodu elektřiny, část VI. Reléové ochrany. Tato část ČSN 38 1009 byla nahrazena roku 1983 ČSN 33 3051. Pro úplnost uvedu její znění z pohledu chránění asynchronních motorů.

Ochrany motorů:

čl. 243 - U motorů (všech výkonů) se zvláště těžkým provozem se doporučuje proti přetížení užít

a) Sondu (termokopii) s termistorem, anebo termostatem anebo odporovým teploměrem, umístěnou ve výfukovém vzduchu motorů) nadproudovou ochranu na vzrůst proudu, které se může při rozběhu objevit jen jednou

čl. 244 - Pro ochranu při mžikových zkratech se doporučuje kromě mžikové nadproudové ochrany - ochranu proti proudové nesymetrii u důležitých motorů do 4 MW a u všech nad 4 MW

čl.247 Asynchronní motory se jistí

a) mžikovou nadproudovou ochranou proti zkratům

b) ochranou proti přetížení, závislou nadproudovou ochranou

c) rozdílovou ochranou u motorů nad 4 MW

d) zemní ochranou jen u důležitých motorů nad 4 MW

e) dvoustupňovou podpěťovou ochranou u elektrárenských pohonů podle ČSN 38 1120

f) ochranou proti nesymetrii jen u motorů nad 4 MW

g) ochranou proti zpětného výkonu u motorů nad 4 MW s velkým setrvačným momentem

h) ochranou proti ložiskovým proudům.

5.12 Chránění synchronních motorů

Chránění synchronních motorů se dá u menších strojů přirovnat k chránění asynchronních motorů, u velkých se blíží k chránění turbogenerátorů. Stejně jako u asynchronních motorů existuje celá řada konstrukčních odlišení. Díky tomu se mohou lišit jejich tepelné modely, rozběhy (dobou i velikostí rozběhu), buzení atd.

Současná ČSN 33 3051 (1992) Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení, která se jako jediná zabývá chráněním synchronních motorů je z pohledu chránění synchronních motorů zastaralá (platí totéž jako u asynchronních motorů), nerespektuje dnešní moderní typy ochran.

Synchronní motory vn se vybaví ochranami

synchronní motory $S_{SM} \leq 1$ (MVA)

nadproudová zkratová mžiková
nadproudová při přetížení (tepelný model)
zemní

synchronní motory 1(MVA) $\leq S_{SM} < 2$ (MVA)

nadproudová zkratová mžiková
nadproudová při přetížení (tepelný model)
rozdílová
při ztrátě buzení
zemní

synchronní motory 2(MVA) $\leq S_{SM} < 4$ (MVA)

nadproudová zkratová mžiková
nadproudová při přetížení (tepelný model)
rozdílová
při ztrátě buzení
při asynchronním chodu
zemní

synchronní motory $S_{SM} \geq 4$ (MVA)

nadproudová zkratová mžiková
nadproudová při přetížení (tepelný model)
rozdílová
při ztrátě buzení
při asynchronním chodu
při zemním spojení rotoru
zemní

- u motorů s těžkým rozběhem se použije nadproudová ochrana závislá s tepelným modelem. U motorů se zvláště těžkým provozem se doporučuje použít proti přetížení ochranu zapojenou na snímač teploty stroje nebo vystupujícího chladícího média.

Další ČSN, která se zabývala chráněním synchronních motorů byla **ČSN 38 1009** (1971) Měření, řízení, ochrany, automatika a sdělovací zařízení v energetických výrobnách a rozvodu elektřiny, část VI. Reléové ochrany. Tato část ČSN 38 1009 byla nahrazena roku 1983 ČSN 33 3051. Pro úplnost uvedu její znění z pohledu chránění synchronních motorů.

Ochrany motorů:

čl.243 - U motorů (všech výkonů) se zvláště těžkým provozem se doporučuje proti přetížení užít

- a) sondu (termokopii) s termistorem, anebo termostatem anebo odporovým teploměrem, umístěnou ve výfukovém vzduchu motoru
- b) nadproudovou ochranu na vzrůst proudu, které se může při rozběhu objevit jen jednou

čl.244 - Pro ochranu při mžikových zkratech se doporučuje kromě mžikové nadproudové ochrany - ochranu proti proudové nesymetrii u důležitých motorů do 4 MW a u všech nad 4 MW

čl.248 Synchronní motor se vybaví

- a) ochranou proti zkratu (nadproudová, rozdílová), zemnímu spojení, podpětí, nesymetrii, zpětnému výkonu a poruchám ložisek jako u asynchronního motoru
- b) ochranou proti přetížení - nadproudovou ochranou, u důležitých motorů nad 4 MW termokopii jako u asynchronního motoru
- c) ochranou proti zemnímu spojení rotoru jen u motoru nad 1 MVA
- d) ochranou proti ztrátě buzení a asynchronnímu chodu u důležitých motorů nad 4 MVA.

Provedeme li srovnání dnešní platné ČSN 33 3051(1992) s výše uvedenou normou ČSN 38 1009(1971) zjistíme, že pohled na chránění synchronních motorů se od roku 1971 značně změnil. Protože platí ustanovení ČSN 33 2000 -1 (2003), že elektrická zařízení provedená a provozovaná podle předpisů a norem platných v době, kdy byla tato zařízení zřizována, lze ponechat v provozu beze změny (odpovídající i nadále předpisům, podle kterých byla tato zařízení zřizována a provozována, jestliže nemají závady, jež by ohrožovaly zdraví ani nejsou nebezpečná životu a neohrožují bezpečnost věcí), je znalost přinejmenším ČSN 38 1009 vhodná.

Literatura:

(1) Grym, R., Hochman, P., Machon, J. Bermann, J., Dohoň, B.: Chránění II, IRIS 2004

Související literatura:

ČSN 33 2200 ČSN EN 60204-1 (2000) Elektrická zařízení strojů ČSN 33 3051(1992) Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení ČSN 38 1009 (1972) Měření, řízení, ochrany, automatika a sdělovací zařízení v energetických výrobnách a rozvodu elektřiny, čl.205 až 271 OEG 38 3011(1966) Provozní pravidla pro elektrárny a sítě. Část B. Elektrická rozvodná zařízení

PNE 38 4065 (2004) Provoz, navrhování a zkoušení ochran a automatik Bermann, J.: Ochrany pohonů p.63-94. Technika ochran 2.Vydala fy Dohnalem.