

CHRÁNĚNÍ II

elektrická zařízení vysokého napětí
chránění zařízení v průmyslu

Ing. Rudolf Grym
Petr Hochman
Ing. Jiří Berman
Ing. Josef Machoň
Ing. Bc. Břetislav Cichoň



ZÁPADOČESKÁ
UNIVERZITA v Plzni
Univerzitní knihovna



3275049486

NENÍČ MNE !

© IRIS 2004

SIPROTEC 4 a SICAM PAS = Ochrany a řídicí systémy pro energetiku

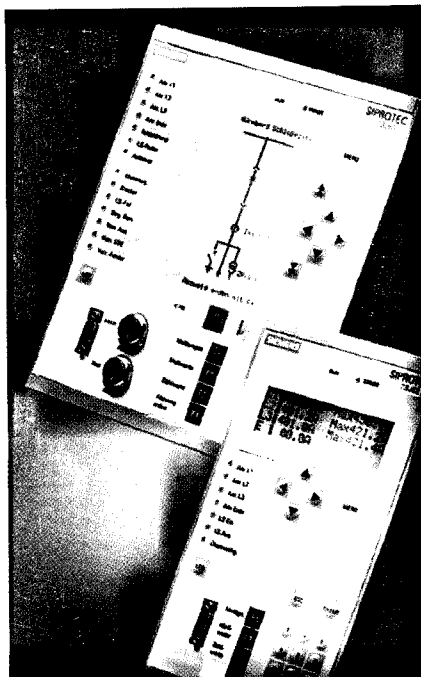
SIEMENS

- **Systémy chránění generátorů, venkovních linek, transformátorů a kabelů v energetických sítích**

- návrh chránění
- parametrizace a nastavení ochran
- uvedení do provozu
- poradenství, servis, analýza poruch

- **Systémy řízení rozvodnů vn a vvn**

- návrh řídicího systému
- příprava check-listů
- parametrizace a nastavení
- uvedení do provozu
- servis



VÝHODY PRO UŽIVATELE

- Jednotná HW báze pro chránění a řízení
- Jednotná SW báze pro ochranné a řídicí funkce
- Úplný sortiment ochran
- Stabilní komunikace mezi všemi prvky systému

Telefon: 233 032 130, -2, -4, -40 Fax: 233 032 190

Lektoři knihy:

Prof. Ing. Josef Tlustý, CSc., ČVUT FEL Praha
Prof. Ing. Karel Sokanský, CSc., VŠB TU Ostrava, FEI
Doc. Ing. Karel Chmelík, VŠB TU Ostrava, FEI

Univerzitní knihovna
Západočeské univerzity v Plzni

KN050000781

Vydala Irena Satinská - IRIS, U Stromovky 62, 736 01 Havířov
tel.: 596 815 808, tel./fax: 596 882 388
email: objednavky@ielektro.com ; www.ielektro.com

Tisk: Tiskárna Dubí s.r.o. Ostrava

Žádná část této publikace se nesmí reprodukovat nebo rozšiřovat
jakýmkoliv způsobem, ať již elektronicky, fotografickou reprodukcí
nebo jinými prostředky, bez písemného souhlasu vydavatele

ISBN 80-903540-0-9

Předmluva

Kniha podává dobře srozumitelnou formou fundovaný pohled na problematiku chránění elektroenergetických systémů, a to jak z hlediska vysvětlení principů funkce a vlastností ochran, tak i z hlediska jejich nastavení s ohledem na bezpečný a spolehlivý chod zařízení. Přístup ke zvolené látce ukazuje na velkou erudici autorů, mnoholetou zkušenost a perfektní znalosti nejen ochran, ale i problematiky chráněných objektů. Jádrem knihy tvoří výpočty nastavení ochran v systémech vn ve vazbě na standardy a předpisy s nezbytným teoretickým aparátem. Velmi přínosné jsou ovšem i ostatní části knihy, které umožňují chápat proces chránění ve světle historického vývoje elektrizačních systémů, změn legislativy i technologického pokroku samotných ochranných zařízení.

Kniha, kterou autoři zpracovali především pro technické a provozní pracovníky průmyslových závodů, je vhodná a poučná i pro širokou odbornou elektroenergetickou veřejnost. Publikace není napsána jako pouhá příručka pro nastavení ochran, ale tak, aby čtenář byl vtažen do světa ochran, začal chápat jejich důležitost, uvědomil si potřebu systémových přístupů, lépe se orientoval v požadavcích a možnostech ochran a v neposlední řadě byl podnícen jeho zájem o danou problematiku.

Prof. Ing. Josef Tlustý, C.S.c.

1. Historie chránění zařízení vysokého napětí

1.1. Historie chránění zařízení vysokého napětí do roku 1945

Při prvních přenosech elektrické energie vysokého napětí v 80-tých letech 19. století se jako jeden z prvních problémů provozování elektrických zařízení objevil elektrický zkrat. Při zkratu většinou došlo k poškození vodičů jejich přetavením a na tomto principu byl vytvořen první prvek chránění – tavná pojistka. Tavná pojistka brzy přestala vyhovovat a byla nahrazena elektromagnetickým proudovým relé. Jak tavné pojistky, tak proudová relé prošla takřka stovacetiletým vývojem a mají své opodstatnění dodnes.

První zmínky o provozování proudových relé pro ochranu při krátkých spojeních pocházejí ze začátku 90-tých let 19. století, kdy se objevují první elektromagnetická primární proudová relé. Tato relé byla pevně připojena na výkonové vypínače přímo na potenciálu vysokého napětí (v té době se jednalo o olejové – kotlové vypínače vn). Princip činnosti primárních relé spočíval v sepnutí relé elektromagnetickou energií při průchodu poruchovým proudem. Cívka přitáhla jho ochrany a tím uvolnila západku, která umožnila vypnutí vypínače. Ochrana se po působení musela vždy „nahodit“, tzn. uvést do původního stavu. Tento typ ochran měl řadu nevýhod (malou citlivost a omezenou nastavitelnost, vysoké požadavky na izolaci a izolační vzdálenosti při konstrukci relé). Mezi výhody patřila jednoduchost výroby těchto ochran a takřka neomezená životnost. Sám jsem tyto ochrany vyrobené okolo roku 1900 firmou Siemens zkoušel v roce 1962. Byly stále funkční. Případů, kdy tyto ochrany byly nebo stále jsou v provozu již 90 let, bychom určitě našli mnoho.

V roce 1901 se objevuje první proudové diskové indukční relé, jehož konstrukce byla založena na bázi indukčních měřících mechanismů (Ferrarisův princip – všem známý elektroměr). Zprvu se jednalo o mžikové relé, teprve později se začala vyrábět relé s časovým zpožděním, tato relé se již neobešla bez měřících transformátorů. V roce 1905 – 1908 se začínají vyrábět diferenciální proudová relé. Diferenciální relé byla zprvu vyráběna na indukčním principu, později na elektromagnetickém principu. Po roce 1910 se začínají objevovat první směrová proudová relé a o deset let později se objevují první distanční relé. Konstrukce prvních distančních a směrových relé byly opět na indukčním principu. První srovnávací ochrany se začaly používat v letech 1924 – 1925. Od počátku se konstrukce ochranných relé ubírala několika směry. Ochranná relé byla zapojeny do stavebnicového systému - jednotlivé měřící články byly jednofázové a bez časového členu, k nim se připojily tři časová relé a tři (nebo jedno) vypínací relé. Tento systém měl obrovskou výhodu, která spočívala v tom, že popudové články mohly být stejné pro nadproudové, diferenciální i distanční ochrany. Celá ochrana nebo správněji celý ochranný systém byl vytvořen soustavou relé. Tento princip používala hlavně firma Siemens, ale získal si i firmu Křižík. Ochranné relé jiného typu bylo vícefázové a mělo svůj časový člen včetně silového vypínacího relé, vše se nacházelo v jednom pouzdru.

V české kotlině se začínají prosazovat sekundární relé začátkem 20-tých let dvacátého století. Většina ochranných relé byla v té době dovážena ze zahraničí. Například pro chránění vedení 22 kV, napájejících doly na Ostravsku, byly v letech 1926 – 1927 používány pro významné volné vedení distanční ochrany typu SD firmy AEG. Pro méně významné vedení vn ochrany typu CO firmy Westinghaus. Moravskoslezské elektrárny (MSE) používaly pro chránění vedení 22 kV distanční ochrany firmy Westinghaus typu CZ v kombinaci s nadproudovou ochranou CO téže firmy. Ve 30-tých letech začal

rozvoj ochrany nabývat na intenzitě. Mezi největšími výrobci elektrických ochrany byly zahraniční firmy AEG, BBC, Siemens, Westinghaus a české firmy Křižík a Českomoravské strojírny (ČMS). Firma Křižík šla vlastní cestou a vyvíjela své vlastní ochrany. Firma ČMS dodávala ve velkém ochrany vyráběné v licenci firmy Westinghaus.

V této době se v bývalém Československu používala většinou tato relé:

proudové elektromagnetické relé - typu MJL3 a NJT firmy Křižík; RSZ3 firmy AEG

proudové indukční relé - typu OJT firmy Křižík; CO firmy Westinghaus

diferenciální relé - typu RJJ firmy Křižík; CA firmy Westinghaus

distanční relé - typu SD1 a SD2 firmy AEG; LB, LC, LK firmy BBC; CZ firmy Westinghaus

napětíové relé - ochrana před přepětím – typu OET firmy Křižík

napětíové relé – podpětíová ochrana – typu RUF firmy Křižík

ochrany generátoru – relé typu ZWT, ZWTR firmy Křižík

Do roku 1945 se používaly mimo předcházejících typů ještě tato relé:

proudové relé - typu 3RA4+Rs2 firmy Siemens; RSZ3f firmy AEG; RMns firmy ČMS; S firmy BBC

směrové proudové relé - typu CE, CR, HR, HRC firmy BBC; RJC, SW3 firmy Křižík; RW6 firmy Siemens

diferenciální relé - typu QS2 firmy AEG; RA4+Rs2 firmy Siemens; RB, T, TG firmy BBC; RJL3, RS2J firmy Křižík

napětíové relé - ochrana před přepětím – typu R4 firmy AEG; 3RV4+Rs1 RV5 firmy Siemens; SG firmy BBC

ochrany generátoru – typu CI, CUH, RBG, RBV firmy BBC; RW7 firmy Siemens

distanční relé – typu HY, HZ, HZC firmy Westingaus; N, PL, SD4, SD4 AMD4 firmy AEG; RZ1, RZ4 firmy Siemens; VEJ, VEJD, VST firmy Křižík

srovnávací proudové relé – typu SWJP firmy Křižík; V firmy AEG; RA2, RW10 firmy Siemens.

1.2. Historie chránění zařízení vysokého napětí po roce 1945

Po roce 1945 se hlavně jednalo o obnovení válkou zničených sítí, elektráren a průmyslových podniků. Pro obnovu se ještě dlouhou dobu používaly válečné zásoby, hlavně ochrany firmy AEG. Současně se začaly opět dovážet do Československa ochrany firem Westingaus a BBC. Došlo ke zřízení národních správ a později ke znárodnění firem vyrábějících ochrany v ČSR. Firma ČMS se změnila na ČKD národní podnik a firma Křižík se rovněž stala národním podnikem. V roce 1946 se přestěhovala firma Křižík do Trutnova, kde začala vyrábět ochrany, které původně vyrábělo AEG. V roce 1958 byl změněn název firmy Křižík Trutnov na ZPA (Závody průmyslové automatizace). Postupně byla zastavena výroba ochran v ČKD.

V 70-tých letech dvacátého století nestačila výroba ZPA Trutnov pokrýt poptávku trhu a tak byly dovezeny do Československa ochrany z Rumunska, NDR a Polska. Pokud se zde objevily ochrany vyrobené v západní Evropě, tak jedině v rámci ucelených dodávek průmyslových zařízení (hlavně v chemickém a papírenském průmyslu). S rozvojem polovodičů se v šedesátých letech minulého století začínají vyrábět analogové statické ochrany a je snaha ukončit

výrobu elektromechanických ochran. Avšak v praxi se statické ochrany neosvědčily. Byly konstruovány mnohdy na vynikajícím principu, ale kamenem úrazu byla součástková základna. Díky použití nekvalitních prvků (kondenzátorů, odporů) docházelo ke změně parametrů ochran za provozu. Protože elektromechanické ochrany byly stále funkční, nebyl o statické ochrany velký zájem. Situace se změnila po roce 1980, kdy přicházejí na trh mikroprocesorové ochrany.

Po změně politického systému v roce 1989, se otevírá trh a na českém trhu se opět objevují ochrany firem ABB, AEG, Alstom, Schneider, SEL, Siemens atd. ZPA Trutnov se dělí na tři části, výrobu ochran kupuje firma ABB, výrobu relé firma Siemens a poslední část nese původní název ZPA CZ a vyrábí elektroměry, HDO atd. Současně se na českém trhu objevuje několik malých firem, které se zabývají výrobou jak elektromechanických ochran, o které je stále zájem, doplněných o nové prvky, tak výrobou ochran nejmodernější konstrukce.

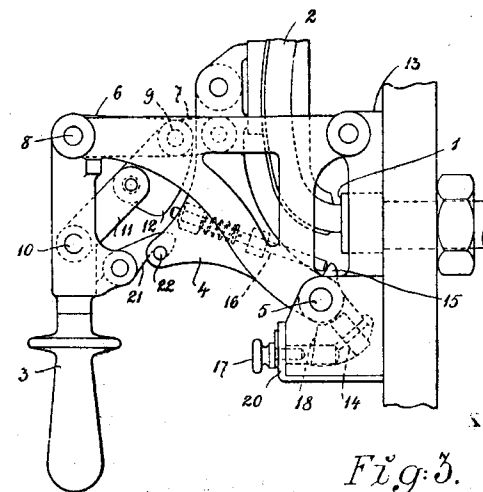


Fig. 3.

Nadproudový vypínací přístroj z roku 1900

2. Poruchové stavy v elektrizační soustavě

V elektrizační soustavě se mohou vyskytovat poruchové stavy, které ohrožují bezpečnost provozu. Abychom je mohli lépe pochopit, je nutno je popsat:

Zkrat - vzájemné spojení dvou nebo tří fází, popřípadě spojení jedné fáze se zemí v síti s přímo uzemněným uzlem, nebo nepřímo uzemněným uzlem pomocí rezistoru

Důsledky vzniku zkratu:

- zvýšené tepelné i silové namáhání elektrických vedení, spotřebičů i ostatních rozvodných zařízení
- pokles napětí nepřímo úměrný elektrické vzdálenosti od místa zkratu

Zkrat může být způsoben únavou izolace, vlivem počasí (vítr, bouře), mechanickým poškozením zařízení nebo také špatnou manipulací obsluhy. Snížení činného výkonu v důsledku zkratu může vést ke ztrátě stability synchronních generátorů, asynchronního chodu elektrizační soustavy a k jejímu případnému rozpadu.

Zemní spojení - galvanické spojení jedné fáze se zemí v síti s izolovaným uzlem, popřípadě v síti s nepřímo uzemněným uzlem (uzel uzemněn přes zhášecí tlumivku).

Důsledky vzniku zemního spojení:

- při přerušovaném zemním spojení vznik nebezpečných přepětí
- zvýšené nebezpečí vzniku následného zkratu

Prodej norem elektro, měřicích přístrojů, el. instalačního materiálu, školení z vyhl. 50/1978 Sb., semináře vysokého napětí a vybušných zařízení, revize a software pro revize....

www.ielektro.com

Přetížení - průchod příliš velké energie zařízením, zatěžování vodičů a elektrických zařízení proudem vyšším než je dovolené zatížení zařízení.

Důsledky vzniku přetížení:

- zvýšené tepelné namáhání
- urychlení stárnutí izolace

Krátkodobé přetížení nemusí být nebezpečné, dlouhodobé přetížení je nebezpečné vždy.

Přepětí dělíme na atmosférická a provozní.

Atmosférická přepětí vznikají úderem blesku do vedení nebo do nekrytých částí elektrických zařízení. Mohou vzniknout také indukci při úderu blesku v blízkosti vodičů nebo jiných částí rozvodného zařízení.

Provozní přepětí jsou způsobena spínacími pochody v obvodech s velkou indukčností nebo kapacitami (při odepínání zkratů, při přerušovaném zemním spojení).

- Důsledky vzniku přepětí:
- poškození a stárnutí izolace
- přídavné ztráty
- zvýšené nebezpečí poškození izolace a tím vzniku zkratu

Podpětí - při konstantním odebráním výkonu dochází v důsledku podpětí k proudovému přetížení. Podpětí může být způsobeno nedostatečnou kompenzací, přetížením nebo poruchou regulace napětí.

Důsledky vzniku podpětí:

- vznik proudového přetížení
- výpadek točivých strojů

Nesouměrné zatížení - provozní stav, při kterém jsou jednotlivé fáze statoru alternátoru (motoru) zatěžovány různým proudem. V důsledku toho vzniká zpětná složka proudu i_2 , která vytváří magnetické pole otáčející se dvojnásobnou úhlovou rychlostí rotoru (v opačném smyslu). V rotoru se indukují vířivé proudy, jejichž průchodem se může rotor nebezpečně zahřívat. Nesouměrnost zatížení může být způsobena přerušením některé fáze nebo nesouměrností zátěže.

Důsledky vzniku nesouměrného zatížení:

- přehřátí motoru

Zvýšení kmitočtu - bývá způsobeno poruchou regulace výkonu.

Důsledky zvýšení kmitočtu:

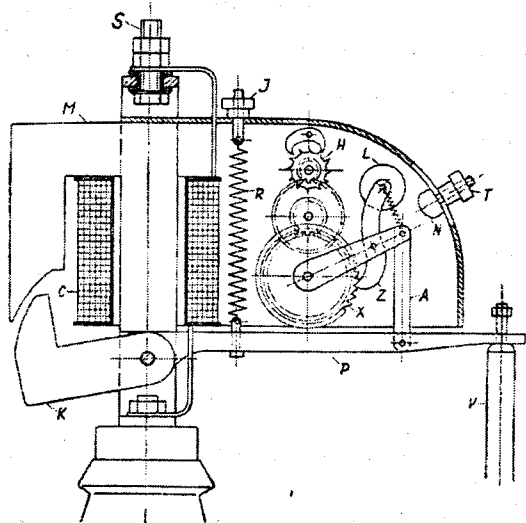
- působí mechanicky na chráněné zařízení i na připojené stroje

Snížení kmitočtu - dochází k němu přetížením zdrojů energie v síti.

Důsledky snížení kmitočtu:

- zvětšení magnetizačních proudů, tím zvětšení ztrát a oteplení

Zpětný tok výkonu je způsoben ztrátou výkonu pohonu nebo špatnou energetickou bilancí sítě.

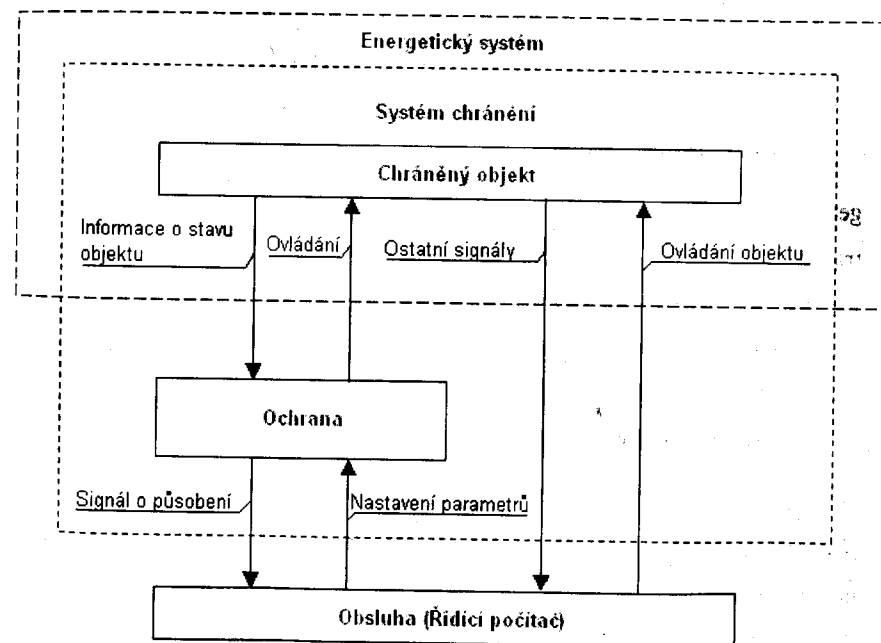


Primární nadproudová ochrana

3. Teorie ochran a chránění

3.1. Teorie ochran

Ochrana - zařízení, které kontroluje provozní bezpečnost a spolehlivost určité části energetického systému. Pomocí přístrojových transformátorů proudu a napětí, popř. z dalších čidel, získává informaci o jednotlivých veličinách chráněného objektu: Ochrana musí rozlišit, je-li chráněný objekt v mezích normálního provozu nebo zda jde o poruchu.



Vazba ochrany a chráněného objektu

Chráněný objekt - fyzikální zařízení, které přenáší energii v rámci svého okolí. Okamžitou funkci chráněného objektu lze určit pomocí stavových veličin. Stavová veličina je fyzikální veličina chráněného objektu (např. napětí, proud, okamžitý výkon, okamžitý kmitočet), jejíž velikost charakterizuje současné chování objektu. Ovládání objektu je soubor zařízení, přes které působí ochrana na objekt. (Jsou to vypínač, odbuzovače, uzávěry páry atd.) Porucha je taková fyzikální změna na objektu nebo na veličinách, která způsobí, že stav objektu překročí meze normálního provozu.

3.2. Třídění ochran

Ochrany můžeme třídit podle různých kritérií:

1. dle typu chráněného objektu

- | | |
|--------------------------|-------------|
| - generátoru | - motoru |
| - transformátoru | - přípojníc |
| - vedení | - odporníku |
| - kondenzátorová baterie | - kabelu |

2. dle druhu poruchy

- | | |
|----------------------|---------------------------|
| - zkratová | - na přetížení |
| - podpět'ová | - přepět'ová |
| - podfrekvenční | - nadfrekvenční |
| - při zemním spojení | - při zpětném toku výkonu |
| - při ztrátě buzení | - při nesouměrnosti |

3. dle doby působení

- časově závislé
- časově polozávislé – kombinace s nezávislou charakteristikou
- časově nezávislé
- mžikové

ad a) **Závislá ochrana** má charakteristiku definovanou takto

$$t = \frac{K}{(i - i_{\infty})^n} \quad \text{pro } i > i_{\infty}; \quad t = \infty \quad \text{pro } i \leq i_{\infty}$$

ad b) **Polozávislá ochrana** má charakteristiku definovanou

$$t = \frac{K}{(i - i_{\infty})^n}$$

jen do velikosti proudu i_0 . Pro větší proudy $i > i_0$ už nezkracuje dobu působení.

ad c) **Nezávislá ochrana** působí v nastaveném čase t_k při dosažení proudu i_k . Doba působení nezávisí na velikosti proudu $i > i_k$.

ad d) **Mžiková ochrana** v principu nezávislá ochrana která působí při překročení nastaveného proudu i_k bez zpoždění.

4. dle funkčního principu

- proudová
- napět'ová
- distanční
- rozdílová
- srovnávací

- wattová
- jalová
- frekvenční
- při nesouměrnosti

5. dle konstrukce

- elektromechanické
- tranzistorové
- číslicové

6. dle funkce

- základní (hlavní ochrana)
- záložní (nahrazuje funkci základní ochrany v případě jejího selhání)

7. dle připojení k chráněnému objektu

- primární (ochrana, která pracuje bez přístrojových transformátorů)
- sekundární (ochrana je připojena k objektu přes přístrojové transformátory nebo senzory).

3.3. Požadavky kladené na ochrany

Spolehlivost funkce ochrany – je to pravděpodobnost, že ochrana vykoná požadovanou funkci za daných podmínek a v daném časovém intervalu, tzn. že nebude ani v poruše, ani nebude nadbytečně působit.

Odolnost ochrany při rušení - v energetickém provozu se vyskytuje mnoho vlivů, které mohou ochranu poškodit. Je to především prašné prostředí, obsah agresivních plynů v ovzduší elektrárny, otřesy, magnetická a elektrická pole při zkratech apod.

Rychlost ochrany – je dána dobou působení ochrany. Rychlost ochrany snižuje míru rizika poškození chráněného objektu. Rychlé vypnutí poruchy zvětšuje stabilitu soustavy.

Citlivost ochrany - velikost stavové veličiny, na kterou je ochrana nařízena a při které působí.

Přesnost ochrany - poměrná chyba citlivosti ochrany vyjádřená v procentech.

Nařiditelnost ochrany - rozsah všech hodnot měřené nebo stavové veličiny, na které lze nastavit citlivost ochrany.

Přídržný poměr ochrany - poměr velikosti stavové veličiny při návratu ochrany k velikosti stavové veličiny při rozběhu ochrany.

Rozlišovací schopnost - schopnost ochrany rozeznat dva blízké stavy objektu, které se liší o Δx , z nichž jeden je poruchový a druhý ne. Minimální velikost Δx , kterou ochrana rozliší, nazýváme rozlišovací schopností ochrany.

Doba působení ochrany - časový úsek mezi vznikem poruchy a signálem na výstupu ochrany

Přetížitelnost ochrany - maximální velikost vstupní veličiny, která působí definovanou dobu a ještě neohrozí životnost ochrany.

Spotřeba ochrany - příkon potřebný pro provoz ochrany. Spotřeba je udána samostatně pro vstupy ochrany a pro pomocné napájecí obvody ochrany.

Absolutní chyba - definována jako rozdíl mezi naměřenou a skutečnou hodnotou.

Zálohování ochran - v případě poruchy hlavní ochrany je třeba zajistit vypnutí poruchy ochranou záložní. Ty mohou být:

a) **místní záložní ochrany** pracují na jiném principu než ochrany hlavní, mají samostatné napájení, vypínací obvod (jsou napojeny na jinou cívku vypínače) a měří v jiném místě než hlavní ochrana (jsou připojeny na jiné vinutí PT nebo na zcela jiný PT).

b) **vzdálené záložní ochrany** pracují na stejném principu jako hlavní ochrany, mají mít stejnou charakteristiku. Ochrana působí ve svém úseku jako hlavní, v následujících úsecích jako záložní.

Pro chránění zvláště důležitých částí elektrizační soustavy se doporučuje použít dvě hlavní ochrany. U záložní ochrany se připouští nižší kvalita chránění (delší doba působení, nižší selektivita apod.), než jakou poskytuje základní ochrana.

Selektivita ochran - je to schopnost ochrany nepůsobit mimo objekt nebo na poruchy dané stavovou veličinou, na kterou ochrana nesmí působit. Vypíná se takto co nejmenší úsek elektrizační soustavy postižené poruchou, čímž se zmenšuje pravděpodobnost ztráty stability soustavy.

Selektivitu lze zajistit následujícími způsoby:

- časovým odstupňováním vypínacích časů
- odstupňováním hodnoty nastavené veličiny
- měřením více veličin současně (impedanční ochrany)
- měřením veličiny na více místech (rozdílové a srovnávací ochrany, logické automatiky)
- směrovým nastavením ochran

Stanovení stupně časové selektivity mezi jednotlivými ochranami

$$\Delta t = t_{v(n-1)} + t_{r(n-1)} + t_m + t_z$$

- $t_{v(n-1)}$ doba vypnutí vypínače předcházejícího (n-1) úseku
- $t_{r(n-1)}$ celková absolutní největší kladná chyba časového členu ochrany předcházejícího úseku
- t_m celková absolutní nejvyšší záporná chyba časového členu následující ochrany
- t_z záložní čas (zahrnuje nepřesnosti předcházejících činitelů)

3.4. Základní členy ochran

Ochrana se většinou skládá z těchto základních členů:

- a) **vstupní člen** - převádí vstupní signál na zpracovatelný tvar a úroveň. Jmenovité vstupní hodnoty ochran jsou 100V a 5A, 1A, 0,2A nebo 150mV pro senzory. Tyto veličiny jsou přivedeny na vstup ochrany z měřících transformátorů nebo senzoru napětí a proudu a jsou zpracovány na úroveň voltů a ampérů pro potřeby měřícího členu. Vstupní členy digitálních ochran jsou

tvořeny A/D převodníky. Tyto převodníky provedou vzorkování a následně kvantování vstupního signálu, čímž se převede analogový signál na diskretní.

b) popudový člen - v případě vzniku poruchy dává popudový člen signál měřicímu členu a logice ochrany. Zda ochrana zapůsobí, rozhodne až logika a měřicí člen, popud pouze zajistí rozběh těchto obvodů. Má obdobnou konstrukci jako měřicí člen, má však vyšší citlivost.

c) měřicí člen - rozhoduje o poruše v objektu. Na jeho vstup je přiveden stav chráněného objektu. Měřicí člen vymezuje prostor působení ochrany.

Rozlišujeme 6 typů měřících členů:

Amplitudový měřicí člen zjišťuje velikost proudu nebo napětí. Při překročení nastavené velikosti veličiny působí. Podle měřené veličiny dále dělíme tento člen na čtyři typy.

Střídavý amplitudový člen na střední hodnotu

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt$$

K - nastavitelná citlivost měřicího členu

T - doba periody měřené veličiny $x(t)$

$x(t)$ - měřená veličina (proud nebo napětí)

Střídavý amplitudový člen na efektivní hodnotu

$$K^2 = \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt$$

Stejnoseměrný amplitudový měřicí člen

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt$$

Amplitudový měřicí člen na maximální hodnotu

$$K = \max[x(t)]$$

Závislý měřicí člen zjišťuje velikost proudu nebo napětí v závislosti na době trvání poruchy. Pro $x(t) = x$ konstantní, má rovnice členu tvar:

$$(x - x_\infty)^n \cdot t = K$$

$$t = \infty \quad \text{pro} \quad x \leq x_\infty$$

$$t = \frac{K}{(x - x_\infty)} \quad \text{pro} \quad x > x_\infty$$

Rozdílový měřicí člen porovnává amplitudu dvou vstupních veličin. Působí, je-li $x_a(t)$ větší než $x_b(t)$ o nastavenou hodnotu K . Pro rozdílový člen na střední hodnotu platí rovnice:

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T |x_a(t) - x_b(t)| dt$$

Amplitudový komparátor je zvláštní typ rozdílového měřicího členu s velkou citlivostí, kde $K \rightarrow 0$. Rovnice tohoto členu je:

$$0 = \frac{1}{T} \int_0^T |x_a(t) - x_b(t)| dt$$

Součinný měřicí člen má rovnici:

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T x_a(t) \cdot x_b(t) dt$$

je-li $x_a(t) = u(t)$ a $x_b(t) = i(t)$ pak

$$K = P = UI \cos \varphi$$

Součinný člen se používá ve wattových a jalových ochránách.

Fázový komparátor je součinný měřicí člen s citlivostí $K \rightarrow 0$.

d) logika - zpracovává signál z popudu a určuje funkci měřicího členu. Na základě signálu z měřicího členu pak dává pokyn koncovému členu. Vstupy i výstupy logiky jsou booleovské funkce. Proto lze strukturu logiky vytvořit jako soustavu tří logických funkcí: součtu, součinu a negace. Logika se realizuje těmito členy: klasická pomocná relé, jazýčkové relé, diody, tranzistory, integrované obvody nebo software číslicového procesoru.

e) koncový člen - funkcí koncového členu je upravit signál logiky tak, aby byl schopen provést prostřednictvím vypínače vypnutí chráněného objektu a současně signalizovat vznik poruchy obsluze (signál musí mít dostatečnou úroveň a musí být odolný vůči rušení). Koncové členy jsou nejčastěji tvořeny pomocnými relé s výkonovými kontakty.

f) časový člen - zajišťuje prodloužení doby působení ochrany. Časový člen je ovládán signálem z logiky ochrany. Používá z těchto důvodů:

- zajištění selektivity (zpožděním ochrana umožňuje funkci jiné ochrany, která je blíže k místu poruchy)
- využití možné akumulace energie v objektu (zpožděním může ochrana umožnit přetížení, pokud toto přetížení neohrozí chráněný objekt)
- vyloučení chybného působení ochrany, které je způsobeno přechodnou poruchou krátkého trvání

g) napájecí člen - napájení ochrany může být zajištěno několika způsoby:

- ochrany bez napájení (nepotřebují pomocné napětí)
- přímé napájení ze staniční baterie
- napájení přes stabilizátor

- akumulátor umístěný v ochraně
- galvanické oddělení soustavou střídač-usměrňovač
- napájení z přístrojových transformátorů

Jako zdroj se nejčastěji používá akumulátorová baterie.

g) filtry souměrných složek - souměrné složky proudu nebo napětí jsou důležité stavové veličiny objektu. Podle jejich velikostí lze určit o jaký druh poruchy se jedná.

Jmenovité hodnoty ochrany:

- jmenovitý proud I_n znamená jmenovitý proud vstupních obvodů ochrany
- jmenovité napětí U_n udává jmenovité napětí vstupních obvodů
- jmenovité napájecí napětí U_{pn} nejčastěji stejnosměrné

Rychlé a spolehlivé určení poruchy je podmíněno:

- popisem chráněného objektu (zjištění jeho parametrů)
- určením charakteristiky chráněného objektu
- specifikací mezi

- a) normálním provozem
- b) překročením meze normálního provozu
- c) poruchou

- výběrem vhodného rozsahu měření (měřicí transformátory)
- výběrem vhodné logiky vypínání
- výběrem vhodné ochrany

3.5. Teorie chránění

Chráněné zařízení a okolí - základním úkolem chránění elektrických zařízení je zabezpečit, aby nedošlo k takovému oteplení elektrického zařízení, které by toto zařízení poškodilo. Oteplení elektrického zařízení můžeme rozdělit do dvou skupin a to na oteplení zařízení, díky kterému dochází k předčasnému stárnutí izolace a na oteplení, při kterém dochází k trvalému poškození izolace s následkem destrukce zařízení. První případ nastává při tepelném přetěžování zařízení (nedodržení dovoleného zatížení), druhý případ ve vyskytuje v případě elektrického zkratu na zařízení.

Můžeme říct, že na takřka každé elektrické zařízení můžeme hledět z pohledu jeho tepelného modelu obecně stejně (kabelové vedení, transformátor, motor atd.). Každé silnoproudé elektrické zařízení má svou tepelnou konstantu (kterou bohužel ne vždy známe). Na elektrické zařízení však nepůsobí jen procházející proud, ale také okolí. Vliv okolí je velmi významný, může zařízení ještě více oteplovat, nebo naopak ochlazovat. Stejně důležitý je pohled na vliv elektrického zařízení na okolí a to z pohledu, jak elektrické zařízení svým působením negativně ovlivňuje okolí (oteplování, požár, iniciace výbuchu, rušení atd.). Z tohoto důvodu bychom měli mít vždy co nejpodrobnější informace nejen o chráněném zařízení, ale též o prostředí, ve kterém se elektrické zařízení nachází. Pokud jsou tyto informace neúplné, měli bychom uvažovat o přísnějším posouzení vlivu okolí na elektrické zařízení. Jestliže je úroveň informace o okolí nejasná, neměli bychom k výpočtu chránění elektrického zařízení vůbec přistupovat.

Informace o provozu zařízení - velmi podstatná je komunikace se stávajícím nebo budoucím uživatelem zařízení. Pro výpočet chránění potřebujeme informace o způsobu provozu zařízení (jiný pohled bude na zařízení,

3. *Teorie ochrany a chránění*

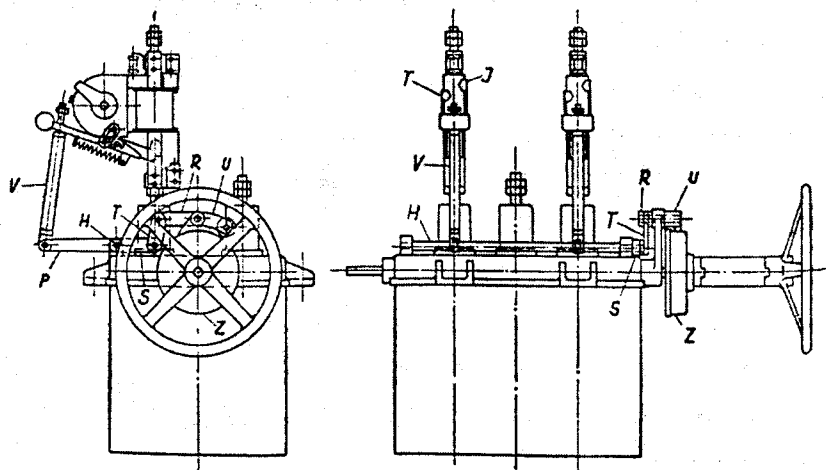
které se bude používat trvale, jiný na zařízení, které slouží jako rezerva a je zapnuto pár dnů v roce, nebo slouží jen pro dobu výstavby atd.). Je nutné pochopit filozofii chránění systému. V každém odvětví průmyslu a energetiky jsou odlišné priority, jiné zvyklosti při chránění. Každý problém má více správných řešení a je jen otázkou úhlu pohledu na problém, které řešení bude určeno jako nejvýhodnější.

Informace o stavu zařízení - jiný pohled z hlediska chránění musíme mít na zařízení, které je zcela nové, jiný na zařízení staré několik desítek let, které zažilo přetěžování (špatný stav izolace), průchozí zkratky (uvolněné vinutí) atd.

Informace o stávajícím systému chránění - nejméně příznivá pro návrh chránění je situace, kdy musíme implementovat své řešení do již stávajícího systému (modernizace a výměna zařízení omezeného celku), kdy musíme respektovat názor projektanta před námi, který nám nemusí vždy připadat jako ten nejlepší. V tomto případě je nejdůležitější pochopit stávající systém chránění (říkám tomu: co tím chtěl básník říci). Největší chybou je vynášení unáhlených názorů, že ten přede mnou tomu nerozuměl, že byl diletant atd. Mnohokrát se mi stalo, že jsem lomil rukama nad prací svého předchůdce, ale když jsem se důkladně seznámil s problémem, dospěl jsem k názoru, že jsem zase objevil něco nového a že je vše v pořádku. Navíc je třeba zohlednit možnosti, které v té době byly (použití výpočetní techniky, jaké ochrany byly v té době na trhu atd.). Každý výpočet nastavení ochrany je podmíněn dobou, kdy byl vytvořen (ve kterém roce), finančním krytím (kvalitou použitých ochrany, kvalitou výpočtu), kvalitou informací o daném problému a v neposlední řadě tím, kdo výpočet prováděl.

K informacím o stávajícím systému chránění patří informace o nastavení ochrany v systému „nadřazených rozvodů.“ (Pokud hovoříme o průmyslových rozvodnách vn, tak to většinou budou rozvodny energetiky.) Současně se musíme

zajímat o nastavení „podřízených rozvodů.“ (rozvodny vn, nn atd.). Pokud provádíme výpočet ochran na starém zařízení, je vždy dobré zjistit původní nastavení, a to z důvodu, že můžeme narazit na některé anomálie. Například zjistíme, že nastavení transformátoru je neúměrně vysoké a než nastavení snížíme, je si třeba položit otázku – proč bylo nastaveno tak vysoko, je to omyl nebo záměr? I tento případ může mít několik správných řešení. Pokud se jednalo o nastavení ochrany s nezávislou charakteristikou, transformátor nemohl být v normálním provozu přetížen, ale v případě řešení havarijní situace jej bylo nutné po dobu manipulace přetížit, a tudíž nastavení bylo správné. Než navrhneme podstatnou změnu v nastavení, je nutné ji důkladně probrat s provozovatelem!



Primární nadproudové ochrany na olejovém vypínači

4. Technická data pro výpočet nastavení ochran

Základem výpočtu nastavení ochran jsou pokud možno co nejpřesnější vstupní údaje. I když se budou některé požadavky zdát přemrštěné (např. požadavky výrobce atd.), jsou nutné pro dopřesnění oteplovacích charakteristik apod. Každý výrobce má svá specifika, podle výrobce se dá vyhledat výrobek v katalogu výrobků a získat takto další údaje, které nám zadavatel neposkytl. Potřebujeme znát tyto údaje:

Zkratové poměry – zkratové poměry na přípojnici vstupní rozvodny

- maximální $Sk''_{\max 3 \text{ fázový}}$ – nebo $Ik''_{\max 3 \text{ fázový}}$
- minimální $Sk''_{\min 3 \text{ fázový}}$ – nebo $Ik''_{\min 3 \text{ fázový}}$

Vedení – volná vedení

- typ vodiče (např. AlFe6)
- jeho průřez (např. 95 mm²)
- délka vedení – l [km]
- způsob provozování (paralelní chod)

Vedení – kabelová vedení

- typ kabelu (např. 6 ANKTOPV)
- jeho průřez (např. u jednožilového kabelu 3x1x 240 mm²)
- u jednofázových kabelů uspořádání (vedle sebe nebo ve svazku)
- počet kabelů (počet kabelů na fázi)
- délka kabelu – l [km]
- uložení kabelů podle ČSN (v zemi nebo na lávce aj.)
- způsob provozování (paralelní chod)

Transformátory

- výrobce transformátoru (štítkový údaj)
- typ transformátoru (štítkový údaj)
- jmenovitý výkon transformátoru – S_n [MVA] (štítkový údaj)
- jmenovitá napětí jednotlivých vinutí – U_n [kV] (štítkový údaj)
- počet odboček (pokud je s regulací - štítkový údaj)
- napětí nakrátko – u_k [%] (štítkový údaj)
- skupinu zapojení vinutí
- ztráty nakrátko – P_k [kW] (štítkový údaj)
- ztráty naprázdno – P_o [kW] (štítkový údaj)
- způsob uzemnění nuly transformátoru (přímo, rezistor, tlumivka)
- způsob provozování transformátoru (zatěžování, paralelní chod)
- způsob odlehčování zátěže (zda je na místě obsluha, bez obsluhy, sledování pomocí řídicího systému)
- jestli měření teploty signalizuje nebo vypíná
- zapínací ráz transformátoru (pokud je znám)
- pokud bude použita nádobová ochrana transformátoru - data průvlekového měřicího transformátoru (štítkový údaj)
- způsob jištění transformátoru (např. u transformátorů vn/nn, kdy počítáme jen stranu vn, nás musí také zajímat, jak je transformátor chráněn na straně nn, jestli má jistič, ochranu nebo pojistku atd.)
- okolní teplota [°C]

Uzlové odporníky sítě

- výrobce odporníku (štítkový údaj)
- typ odporníku (štítkový údaj)

4. Technická data pro výpočet nastavení ochran

- jmenovité napětí odporníku – U_n [kV] (štítkový údaj)
- jmenovitý odpor odporníku – R_n [Ω] (štítkový údaj)
- jmenovitý proud odporníku – I_{sec} [A/sec] (štítkový údaj)
- trvale dovolený proud – I_{∞} (štítkový údaj)
- provedení odporníku (ve skříni nebo bez skříně)
- velikost měřicího transformátoru proudu, přes který je odporník připojen na zem (štítkový údaj)
- pokud má odporník skříň a je použita nádobová ochrana – velikost měřicího transformátoru, proud použitého pro tuto ochranu (štítkový údaj)

Reaktory

- typ reaktoru (štítkový údaj)
- jmenovité napětí reaktoru – U_n [kV] (štítkový údaj)
- jmenovitý proud reaktoru – I_n [A] (štítkový údaj)
- reaktanční napětí – u_r [%] (štítkový údaj)
- průchozí zkratový výkon – S_{nr} [MVA] (štítkový údaj)

Synchronní motory

- výrobce motoru (štítkový údaj)
- typ synchronního motoru (štítkový údaj)
- jmenovitý výkon motoru – S_n [MVA] (štítkový údaj)
- jmenovitý proud motoru – I_n [A] (štítkový údaj)
- jmenovité napětí – U_n [kV] (štítkový údaj)
- rozběhový proud I_s [x I_n] (údaj ve zkušebním protokolu)
- doba rozběhu t_s [sec] (údaj ve zkušebním protokolu)

- způsob spouštění (zapínání) motoru (uvedeno v projektu)
- podélná rázová reaktance – x_d'' [%] (údaj ve zkušebním protokolu, měl by ho znát výrobce)
- počet pólů (údaj ve zkušebním protokolu)
- ochlazovací konstanty (údaje výrobce)
- způsob provozování (počet zapínání za směnu), (údaj ve zkušebním protokolu)
- počet povolených startů za studena a za tepla (údaj ve zkušebním protokolu)
- okolní teplota [$^{\circ}\text{C}$]

Asynchronní motory

- výrobce asynchronního motoru (štítkový údaj)
- typ asynchronního motoru (štítkový údaj)
- jmenovitý výkon asynchronního motoru – P_n [kW] (štítkový údaj)
- jmenovité napětí asynchronního motoru – U_n [kV] (štítkový údaj)
- jmenovitý proud asynchronního motoru – I_n [A] (štítkový údaj)
- rozběhový proud – I_s [$\times I_n$] (štítkový údaj nebo zkušební protokol)
- doba rozběhu – t_s [sec] (zkušební protokol)
- $\cos \phi$ motoru [-] (štítkový údaj)
- účinnost motoru [%] (štítkový údaj)
- způsob spouštění (zapínání) motoru (dokumentace)
- maximální povolená doba startu za studeného stavu (počet povolených startů za studena)
- maximální povolená doba startu za tepla (počet povolených startů za tepla)

4. Technická data pro výpočet nastavení ochran

- je-li u motoru připojena kompenzace, místo připojení (před MTP, nebo za MTP) a její velikost [kVAr]
- okolní teplota [$^{\circ}\text{C}$]
- konstrukce motoru (druh krytí)
- chlazení motoru (druh chlazení)
- počet rozběhů za den (data výrobce – katalog)
- zda je motor zapínán vypínačem nebo stykačem (projekt)

Generátory

- výrobce generátoru (štítkový údaj)
- typ generátoru (štítkový údaj)
- jmenovitý zdánlivý výkon – S_n [MVA] (štítkový údaj)
- jmenovitý činný výkon – P_n [MW] (štítkový výkon)
- jmenovitý proud generátoru – I_n [A] (štítkový údaj)
- jmenovité napětí – U_n [kV] (štítkový údaj)
- $\cos \phi$ generátoru (štítkový údaj)
- jmenovité otáčky (štítkový údaj)
- typ rotoru
- synchronní reaktance (nenasycená) – x_d (zkušební protokol)
- přechodová podélná reaktance – x_d' (zkušební protokol)
- rázová podélná reaktance – x_d'' (zkušební protokol)
- rázová příčná reaktance – x_q'' (zkušební protokol)
- synchronní příčná reaktance x_q (zkušební protokol)
- zpětná reaktance x_2 (zkušební protokol)
- nulová reaktance x_0 (zkušební protokol)

Druh soustavy vn (podle uzemnění nuly transformátoru)

- (izolovaná, přímo uzemněná, nepřímo uzemněná pomocí tlumivky, nepřímo uzemněná pomocí odporníku)

Pro výpočet nastavení zemních ochran

- u kabelových vedení (u všech kabelů provozovaných v soustavě uvést typ kabelu, jeho průřez, počet paralelních kabelů a jejich délku)
- u volných vedení uvést typ a délku

Při použití zhášecí tlumivky je třeba znát

- technická data tlumivky (štítkové údaje), jak je v současné době tlumivka naladěna, zda se připojuje odporník a na jak dlouho
- velikost U_0 při naladění, při zemním spojení a jak se změní
- velikost U_0 při připojení odporníku

U měřících transformátorů proudu potřebujeme znát

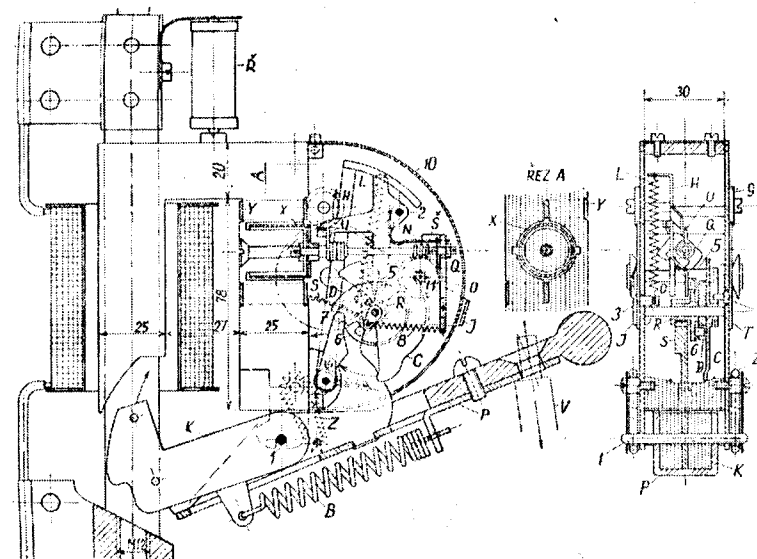
- pokud jsou použity stávající MTP – opsat štítek, pokud jsou MTP nové, vyžádat si data od výrobce včetně vnitřního odporu MTP
- délku a typ kabelu včetně průřezu kabelu mezi MTP a ochranou, kolik ochran (jiných přístrojů) je připojeno na ochrannářské vinutí MTP

U chráněné energetické soustavy potřebujeme znát

- nastavení stávajících ochran v soustavě nad a pod chráněnou soustavou (včetně typu ochran)

4. Technická data pro výpočet nastavení ochran

- zda je v napájecí soustavě použito opětného zapínání a jeho nastavení (zjistíme u energetického podniku, který napájí chráněnou soustavu)
- jednopólové schéma celé chráněné soustavy včetně zkreslení provozního stavu
- jaký typ vypínačů je použit v chráněné soustavě (doba vypnutí)

*Primární nadproudová ochrana*

5. Výpočet zkratů

5.1. Teorie výpočtu zkratů

Nejrozšířenějšími poruchami v elektrizační soustavě jsou zkraty. Při zkratu se celková impedance postižené části soustavy podstatně zmenší, tím dojde k výraznému nárůstu proudu (tento proud se nazývá zkratový proud) a v konečném důsledku dochází ke snížení napětí v místech blízkých zkratu. Obvykle dochází v místě zkratu k hoření oblouku. Proud i délka oblouku se v průběhu zkratu mění, tím se mění i odpor oblouku. Při výpočtu zkratových proudů pro účely dimenzování elektrických zařízení přechodný odpor oblouku zanedbáváme. Jsou-li zkratem postiženy současně všechny tři fáze, jedná se o souměrný (trojfázový) zkrat. Ostatní druhy zkratů jsou nesouměrné a patří k nim: dvoufázový zkrat, dvoufázový zemní zkrat a jednofázový zkrat. U venkovních vedení se trojfázový zkrat vyskytuje poměrně málo, naopak v kabelových sítích je nejvíce zkratů trojfázových.

Poměry při zkratech - hodnoty proudů a napětí při zkratu v určitém místě elektrizační soustavy.

Zkrat - náhodné nebo úmyslné spojení přes poměrně malý odpor nebo impedanci dvou nebo více bodů obvodu, které mají při normálním provozu různá napětí.

Zkratový proud - nadproud při zkratu, který je důsledkem poruchy nebo nesprávného propojení v elektrickém obvodu.

Předpokládaný zkratový proud - proud, který by protékal obvodem, kdyby zkrat byl nahrazen spojením se zanedbatelnou impedancí bez změny napájení. V případě trojfázového zkratu se předpokládá, že proud vzniká současně ve všech třech fázích.

Souměrný zkratový proud - efektivní hodnota střídavé souměrné složky předpokládaného zkratového proudu se zanedbanou eventuelní aperiodickou složkou proudu.

Počáteční rázový zkratový proud I_k'' - efektivní hodnota střídavé souměrné složky předpokládaného zkratového proudu v okamžiku vzniku zkratu. zůstane-li hodnota impedance stejná jako v okamžiku vzniku zkratu.

Stojnosměrná (aperiodická) složka zkratového proudu I_a - střední hodnota horní a dolní obalové křivky průběhu zkratového proudu klesajícího ze své počáteční hodnoty k nule.

Nárazový zkratový proud i_p - největší možná vrcholová hodnota předpokládaného zkratového proudu.

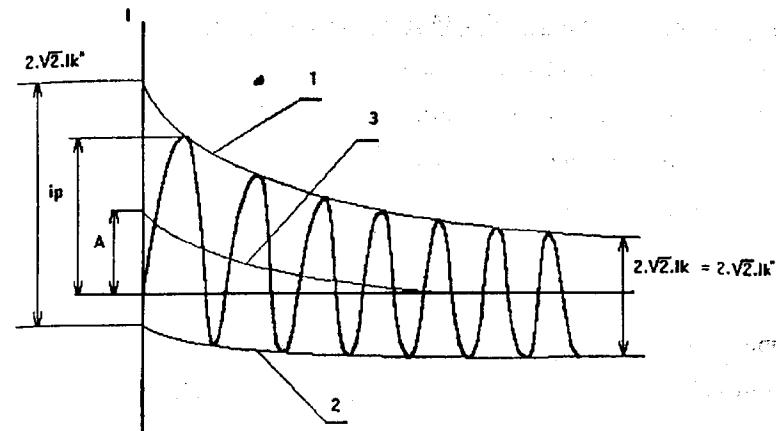
Ekvivalentní oteplovací proud $I_{ke} = I_{th}$ - efektivní hodnota fiktivního proudu sinusového průběhu s konstantní amplitudou, který za dobu zkratu vyvine stejné množství tepla jako předpokládaný zkratový proud s největší možnou stojnosměrnou složkou.

Ustálený zkratový proud I_k - efektivní hodnota souměrného zkratového proudu, který protéká obvodem po doznění přechodných jevů.

Ekvivalentní elektrický obvod - model použitý pro popis chování elektrického obvodu pomocí soustavy tvořené prvky s idealizovanými vlastnostmi.

Trojfázový zkratový výkon S_k - smluvní hodnota, vyjádřená součinem počátečního rázového zkratového proudu, jmenovitého napětí sítě a fázového činitele $\sqrt{3}$.

Elektricky blízký zkrat - zkrat, při kterém příspěvek alespoň jednoho alternátoru k předpokládanému počátečnímu rázovému zkratovému proudu překračuje při trojfázovém zkratu dvojnásobek jmenovitého proudu alternátoru.



Zkratový proud elektricky vzdáleného zkratu (schématický diagram)

kde I_k'' počáteční rázový zkratový proud

i_p nárazový zkratový proud

I_k ustálený zkratový proud

A počáteční hodnota stojnosměrné složky

1 horní obalová křivka

2 dolní obalová křivka

3 zanikající stojnosměrná složka

Elektricky vzdálený zkrat - zkrat, při kterém příspěvek ani jednoho alternátoru k předpokládanému počátečnímu rázovému zkratovému proudu nepřekračuje při trojfázovém zkratu dvojnásobek jmenovitého proudu alternátoru.

Doba trvání zkratu t_k - doba od okamžiku vzniku zkratu až do jeho konečného vypnutí ve všech fázích.

Stanovení základních předpokladů pro výpočet zkratů:

- 1) Při výpočtu zkratů předpokládáme, že se v průběhu trvání zkratu parametry prvků elektrizační soustavy nemění.
- 2) Soustava před zkratem se předpokládá symetrická.
- 3) Změny v zapojení soustavy v době trvání zkratu se uvažují, pouze když ovlivní velikost ekvivalentního oteplovacího proudu.
- 4) Předpokládá se, že zkraty postihující více než jednu fázi, vznikají v téměř místě a současně (neplatí pro jednofázový zkrat).
- 5) Vliv elektrického oblouku na velikost zkratového proudu se neuvažuje.
- 6) Při výpočtu zkratových proudů se uvažuje vliv synchronních alternátorů, motorů, kompenzátorů a asynchronních motorů. Vliv polovodičových systémů se uvažuje, pouze když mohou při zkratu dodávat zkratový proud.

Synchronní alternátory a motory - při výpočtu se předpokládá, že zkrat je od synchronních strojů dostatečně elektricky vzdálen, takže se vyvine střídavá složka s konstantní amplitudou. Je-li příspěvek synchronního stroje větší než dvojnásobek jeho jmenovitého proudu, doporučuje se, přinese-li to ekonomické výhody, provést podrobnější výpočet pro elektricky blízký zkrat.

Asynchronní motory - příspěvek jednofázových asynchronních motorů se uvažuje, je-li jejich součtový výkon větší než 15% součtového výkonu trojfázových asynchronních motorů. Příspěvek motorů opatřených polovodičovými měniči se uvažuje jen k trojfázovému počátečnímu rázovému a nárazovému zkratovému proudu, když měnič dovolí rekuperaci energie při zkratu. Příspěvek asynchronních motorů se neuvažuje:

- je-li jejich příspěvek malý

- protéká-li zkratový proud indukčních motorů přes impedanci podstatné velikosti (např. přes impedanci dvou transformátorů).

Podmínky pro stanovení maximálního zkratového proudu

Vycházíme z nejnejpříznivějšího stavu elektrizační soustavy, při kterém se předpokládá:

- provozně přípustné zapojení soustavy, které v místě zkratu dává největší zkratové proudy
- chod uvažovaných zdrojů s jmenovitým výkonem a jmenovitým napětím při jmenovitém účinníku
- chod motorů
- teplota vodičů vedení 20°C, při výpočtech s činným odporem.

Podmínky pro stanovení minimálního zkratového proudu

Vycházíme z omezeného provozního stavu soustavy, při kterém se předpokládá:

- zapojení soustavy, která zajišťuje jen minimální odběry
- chod sníženého počtu zdrojů, které napájejí místo zkratu a pracují naprázdno s jmenovitým napětím
- teplota vodičů venkovních vedení 80°C a kabelových vedení maximální přípustná provozní teplota, při výpočtech s rezistencí
- vliv motorů se neuvažuje.

Postup výpočtu zkratových poměrů

- sestavení schématu dané soustavy (parametry uvažovaných prvků vztahujeme k jejich jmenovitému výkonu a napětí)
- sestavení náhradního schématu soustavy (pro souměrné zkraty pouze náhradní schéma sousledné složky, pro nesouměrné zkraty náhradní schémata sousledné, zpětné i nulové složky)
- stanovení impedance všech prvků náhradních schémat

- pro každý složkový systém se určí jeho impedance nakrátko vztažená k místu zkratu
- výpočet počátečního rázového zkratového proudu
- výpočet nárazového zkratového proudu, ekvivalentního oteplovacího proudu a vypínacího zkratového proudu

Výpočet zkratových poměrů lze provést dvěma způsoby:

- ve fyzikálních jednotkách (skutečných hodnotách)
- v poměrných hodnotách

Výpočet zkratových poměrů ve fyzikálních jednotkách:

Počáteční rázový zkratový proud I_{k3}'' při trojfázovém zkratu

$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{(1)}|} \quad [\text{kA}, -, \text{kV}, \Omega]$$

Počáteční rázový zkratový proud I_{k2}'' při dvoufázovém zkratu

$$I_{k2}'' = \frac{c \cdot U_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)}|} \quad [\text{kA}, -, \text{kV}, \Omega]$$

Počáteční rázový zkratový proud I_{k1}'' při jednofázovém zkratu

$$I_{k1}'' = \frac{c \cdot \sqrt{3} \cdot U_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}|} \quad [\text{kA}, -, \text{kV}, \Omega]$$

c napěťový činitel (pro zkraty vn platí, že $c_{\max} = 1,1$, $c_{\min} = 1,0$)

U_n jmenovité sdružené napětí sítě v místě zkratu

$Z_{(1)}$ výsledná sousledná impedance zkratového obvodu

$Z_{(2)}$ výsledná zpětná impedance zkratového obvodu

5. Výpočet zkratů

$Z_{(0)}$ výsledná nulová impedance zkratového obvodu

Určení parametrů prvků soustavy ve fyzikálních jednotkách:

Náhradní impedance soustavy:

Sousledná složka $Z_{(1)} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_{k3}''} \quad [\Omega, -, \text{kV}, \text{MVA}]$

Zpětná složka $Z_{(2)} = Z_{(1)} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_{k3}''} \quad [\Omega, -, \text{kV}, \text{MVA}]$

Nulová složka $Z_{(0)} = c \cdot U_n^2 \cdot \left(\frac{3}{S_{k1}''} - \frac{2}{S_{k3}''} \right) \quad [\Omega, -, \text{kV}, \text{MVA}]$

U_n jmenovité sdružené napětí nahrazované sítě

S_k'' zkratový výkon soustavy

Náhradní impedance synchronního alternátoru:

Hodnoty parametrů zjišťujeme podle dokumentace dodané výrobcem. Nemáme-li tuto dokumentaci k dispozici, stanovíme hodnoty parametrů orientačně dle odborné literatury nebo starých ČSN.

Sousledná složka $X_{(1)} = \frac{x_d'' \cdot U_{nG}^2}{100 \cdot S_{nG}} \quad [\Omega, \%, \text{kV}, \text{MVA}]$

$R_{(1)} \approx 0 \Rightarrow Z_{(1)} = X_{(1)} \quad [\Omega]$

Zpětná složka $Z_{(2)} = Z_{(1)} \quad [\Omega]$

Nulová složka $X_{(0)} = (0,15 \div 0,6) \cdot X_{(1)} \quad [\Omega, \%, \text{kV}, \text{MVA}]$
 $R_{(0)} = R_{(1)} = R_{(2)} \approx 0 \Rightarrow Z_{(0)} = X_{(0)} \quad [\Omega]$

U_{nG} jmenovité napětí alternátoru
 S_{nG} jmenovitý zdánlivý výkon alternátoru
 x_d'' rázová reaktance alternátoru

Náhradní impedance asynchronního motoru:

Sousledná složka $Z_{(1)} = \frac{U_{nAM}^2}{i_z \cdot S_{nAM}} \quad [\Omega, \text{kV}, -, \text{MVA}]$

Zpětná složka $Z_{(2)} = Z_{(1)} = \frac{U_{nM}^2}{i_z \cdot S_{nM}} \quad [\Omega, \text{kV}, -, \text{MVA}]$

Nulová složka značně závisí na konstrukci stroje, proto ji určujeme výhradně z výrobní dokumentace nebo měřením.

U_{nAM} jmenovité napětí motoru
 i_z poměrný záběrný proud motoru
 S_{nAM} jmenovitý zdánlivý výkon motoru

Náhradní impedance dvouvinutového transformátoru:

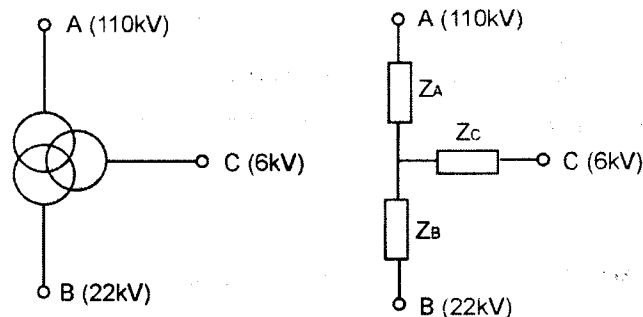
Sousledná složka $Z_{(1)} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} \quad [\Omega, \%, \text{kV}, \text{MVA}]$

Zpětná složka $Z_{(2)} = Z_{(1)} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} \quad [\Omega, \%, \text{kV}, \text{MVA}]$

u_k jmenovité napětí nakrátko
 U_{nT} jmenovité napětí transformátoru
 S_{nT} jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru

Nulová složka - určuje se podle zapojení vinutí transformátoru a podle konstrukce transformátoru

Náhradní impedance třívinutového transformátoru:



Sousledná složka $Z_{(1AB)} = \frac{u_{kAB} \cdot U_{nTA}^2}{100 \cdot S_{nTAB}} \quad [\Omega, \%, \text{kV}, \text{MVA}]$

$Z_{(1AC)} = \frac{u_{kAC} \cdot U_{nTA}^2}{100 \cdot S_{nTAC}} \quad [\Omega, \%, \text{kV}, \text{MVA}]$

$$Z_{(1BC)} = \frac{u_{kBC} \cdot U_{nTA}^2}{100 \cdot S_{nTBC}} \quad [\Omega, \%, \text{kV}, \text{MVA}]$$

$$Z_{(1A)} = \frac{1}{2} (Z_{AB} + Z_{AC} - Z_{BC}) \quad [\Omega]$$

$$Z_{(1B)} = \frac{1}{2} (Z_{AB} + Z_{BC} - Z_{AC}) \quad [\Omega]$$

$$Z_{(1C)} = \frac{1}{2} (Z_{AC} + Z_{BC} - Z_{AB}) \quad [\Omega]$$

$u_{k(AB)}$ jmenovité napětí nakrátko mezi vinutím A - B

$U_{nT(AB)}$ jmenovité napětí transformátoru na vinutí B

$S_{nT(AB)}$ jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru na vinutí B

Zpětná složka $Z_{(2A)} = Z_{(1A)}, Z_{(2B)} = Z_{(1B)}, Z_{(2C)} = Z_{(1C)} \quad [\Omega]$

Nulová složka - určuje se podle zapojení vinutí transformátoru a podle konstrukce transformátoru

Náhradní impedance reaktoru:

Reaktor patří mezi statické články bez magnetické vazby, pro které platí:

$$R_{(1)} = R_{(2)} = R_{(0)} \quad X_{(1)} = X_{(2)} = X_{(0)} \quad Z_{(1)} = Z_{(2)} = Z_{(0)}$$

Pro všechny tři složky náhradní impedance platí vztah:

$$Z_{(1)} = Z_{(2)} = Z_{(0)} = \frac{10 \cdot u_R \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_n} \quad [\Omega, \%, \text{kV}, \text{A}]$$

u_R imedanční napětí reaktoru

U_n jmenovité sdružené napětí reaktoru

I_n jmenovitý proud reaktoru

Náhradní rezistence a reaktance vedení:

Sousledná složka $R_{(1)} = R_k \cdot l \quad [\Omega, \Omega/\text{km}, \text{km}]$

$$X_{(1)} = X_k \cdot l \quad [\Omega, \Omega/\text{km}, \text{km}]$$

Zpětná složka $R_{(2)} = R_{(1)} = R_k \cdot l \quad [\Omega, \Omega/\text{km}, \text{km}]$

$$X_{(2)} = X_{(1)} = X_k \cdot l \quad [\Omega, \Omega/\text{km}, \text{km}]$$

Nulová složka - je nutno zjistit měřením nebo výpočtem (pro složitost nebudeme rozebírat, je potřebná jen pro distanční ochrany, kterými se nebudeme v této knize zabývat).

R_k rezistence vedení délky 1 km

X_k reaktance vedení délky 1 km

l délka vedení

Při výpočtu zkratových poměrů ve fyzikálních jednotkách musíme parametry jednotlivých prvků přepočítat na napěťovou hladinu v místě zkratu podle vztahu:

$$Z_2 = Z_1 \cdot \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 \quad [\Omega, \Omega, \text{kV}, \text{kV}]$$

Z_2 impedance přepočtená na napěťovou hladinu U_2 v místě zkratu

Z_1 impedance na napěťové hladině U_1

5.2. Výpočty zkratů v praxi

Stanovením výpočtu zkratů se zabývá ČSN 33 3022 (2002) Zkratové proudy v třífázových střídavých soustavách spolu s ČSN 33 2023, ČSN 33 2024, PNE 33 3042.

Tyto normy slouží pro přesný výpočet zkratů ve všech jejich podobách (blízké, vzdálené, nárazové, vypínací atd.). Pro nastavení ochran nám postačí zjednodušený výpočet zkratů provedený jen v impedanční rovině. Výpočet sice bude o něco vyšší než přesný výpočet podle ČSN a nelze ho použít pro blízké zkraty. Podrobné výpočty je nutno provést podle výše uvedených norem.

Síťové napáječe

$$x_S = \frac{c \cdot U_n^2}{S_k''} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_k''} \quad [\Omega]$$

U_n jmenovité napětí soustavy bodě připojení

S_k'' počáteční souměrný zkratový zdánlivý výkon v bodě připojení

I_k'' počáteční rázový zkratový proud v bodě připojení

c součinitel napětí

Transformátory dvouvinut'ové

$$x_T = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{nT}^2}{S_{nT}} \quad [\Omega]$$

5. Výpočet zkratů

U_{nT}	jmenovité napětí transformátoru na straně vyššího nebo nižšího napětí
I_{nT}	jmenovitý proud transformátoru na straně vyššího nebo nižšího napětí
S_{nT}	jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru
u_k	jmenovité napětí nakrátko v %

Reaktory omezující zkratový proud

Sousledné, zpětné a netočivé impedance si jsou rovny za předpokladu geometrické souměrnosti. Omezující reaktory se považují za součást zkratové impedance.

$$x_R = \frac{10 \cdot u_{kR} \cdot U_{nR}}{\sqrt{3} \cdot I_{nR}} \quad [\Omega]$$

u_{kR} impedanční napětí reaktoru v %

U_{nR} jmenovité napětí reaktoru v kV

I_{nR} jmenovitý proud reaktoru v A

Venkovní vedení a kabely:

Reaktanci x_L lze získat z výrobních katalogů jednotlivých výrobců.

Je uvedena v tabulkách na konci knihy.

Generátory

$$x_G = \frac{x_d'' \cdot U_{nG}^2}{100 \cdot S_{nG}} \quad [\Omega]$$

$$p^2 = \left| \frac{U_n^1}{U_n^2} \right|^2 \quad [-]$$

x_2 přepočtená impedance na jinou napěťovou hladinu

x_1 původní vypočtená impedance

U_n^1 napětí hladiny na kterém se nachází původní impedance

U_n^2 napětí na kterou je původní impedance přepočtena

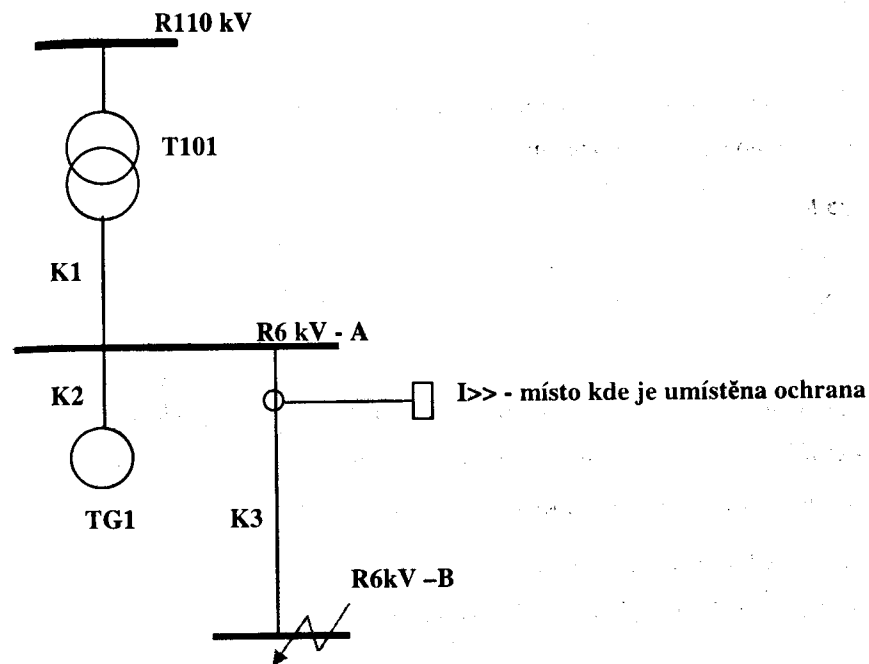
5.3. Příklad výpočtu zkratů pro nastavení ochran:

Základem výpočtu nastavení ochran je výpočet zkratů. Musíme znát maximální rázový třífázový zkratový proud I''_{kmax3f} a minimální dvoufázový zkratový proud I''_{kmin2f} .

I''_{kmax3f} potřebujeme pro výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu I_{th} (I_{ke}), pro kontrolu zařízení na oteplení – tedy výpočtu maximálního času, do kdy je nutné zařízení odepnout.

I''_{kmin2f} potřebujeme pro výpočet nastavení proudu zkratových ochran - tyto musí být nastaveny tak, aby vypnuly při nejmenším možném zkratovém proudu, tedy vždy.

Výpočet I''_{kmax3f} a I''_{kmin3f} pro výpočet zkratových ochran



Data R110 kV: data, která potřebujeme jsou S''_{kmax3f} nebo I''_{kmax3f} a S''_{kmin3f} nebo I''_{kmin3f} , je to zkratový příspěvek na přípojnici 110 kV z nadřazené soustavy, ale bez příspěvku soustavy 22 kV (v našem případě TG1), data dostaneme od provozovatele R110 kV.

$$S''_{kmax3f} = 2500 \text{ MVA}$$

$$S''_{kmin3f} = 1500 \text{ MVA}$$

Data T101: potřebná data jsou S_{nT101} , $U_{nT101 \text{ prim}}$, $U_{nT101 \text{ sek}}$, u_{kT101} , data jsou uvedena na štítku transformátoru.

$$S_n = 40 \text{ MVA}$$

$$U_n = 110 / 6,3 \text{ kV}$$

$$u_k = 13\%$$

Data TG1: potřebná data jsou S_{nTG1} , U_{nTG1} , $x_d''_{TG1}$, data jsou uvedena na štítku generátoru nebo v jeho protokolu měření od výrobce.

$$S_n = 25 \text{ MVA}$$

$$U_n = 6 \text{ kV}$$

$$x_d'' = 14 \%$$

Pro zjednodušení výpočtu použijeme jeden typ kabelů pro všechny vývody 10 AXEKCY 3 x 1 x 240 mm² kabely budou uloženy vedle sebe (nebudou svazkovány do trojúhelníka), $z_{\text{kabelu}} = (0,125 + j0,1675) \Omega/\text{km}$

Data K1: kabel mezi T101 – R6 kV

10 AXEKCY 4 x 3 x 1 x 240 mm², délka 40 metrů

Data K2: kabel mezi TG1 – R6 kV

10 AXEKCY 3 x 3 x 1 x 240 mm², délka 60 metrů

Data K3: kabel mezi R6-A – R6-B

10 AXEKCY 3 x 1 x 240 mm², délka 1000 metrů

Jako první si vypočteme náhradní reaktance jednotlivých prvků. Výpočet provedeme jen v reaktanční rovině (zanedbáme činnou složku), výpočet nám vyjde sice o několik procent větší, ale pro nastavení zkratových ochran nám bohatě vystačí. Všechny reaktance přepočítáváme na napětí v místě zkratu.

náhradní reaktance soustavy:

$$x_{s \max} = \frac{c \cdot U_{\text{zkratu}}^2}{S_{\max 3f}} = \frac{1,1 \cdot 6^2}{2500} = 0,01746 \quad [\Omega]$$

$$x_{s \min} = \frac{c \cdot U_{\text{zkratu}}^2}{S_{\min 3f}} = \frac{1 \cdot 6^2}{1500} = 0,03646 \quad [\Omega]$$

reaktance transformátoru T101:

$$x_{T101} = \frac{u_k \cdot U_{nT101}^2}{100 \cdot S_{nT101}} = \frac{13 \cdot 6,3^2}{100 \cdot 40} = 0,12899 \quad [\Omega]$$

reaktance generátoru TG1:

$$x_{TG1} = \frac{x_d'' \cdot U_{nTG1}^2}{100 \cdot S_{nTG1}} = \frac{14 \cdot 6,3^2}{100 \cdot 25} = 0,22226 \quad [\Omega]$$

reaktance kabelu K1:

$$x_{K1} = \frac{x_{K(\Omega/km)} \cdot l_{(km)}}{\text{počet} - \text{kabelů}} = \frac{0,1675 \cdot 0,04}{4} = 0,00167 \quad [\Omega]$$

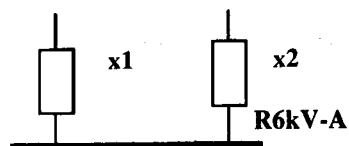
reaktance kabelu K2:

$$x_{K2} = \frac{x_{K(\Omega/km)} \cdot l_{(km)}}{\text{počet} - \text{kabelů}} = \frac{0,1675 \cdot 0,06}{3} = 0,00335 \quad [\Omega]$$

reaktance kabelu K3:

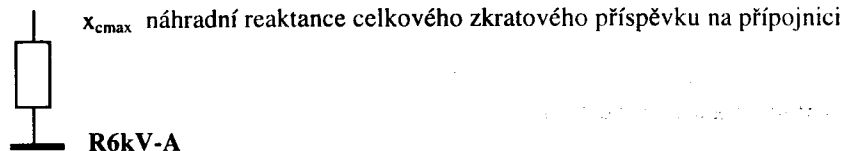
$$x_{K3} = \frac{x_{K(\Omega/km)} \cdot l_{(km)}}{\text{počet} - \text{kabelů}} = \frac{0,1675 \cdot 1}{1} = 0,1675 \quad [\Omega]$$

Jako první nakreslíme náhradní schéma zkratových příspěvků na R6kV-A:



$$\text{kde } x_1 = x_{s\max} + x_{T101} + x_{K1} = 0,148132 \quad [\Omega]$$

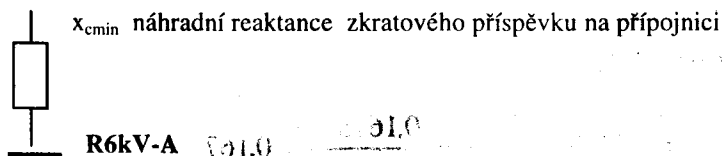
$$x_2 = x_{TG1} + x_{K2} = 0,225614 \quad [\Omega]$$



$$\text{kde } x_{c\max} = 0,089421 \quad [\Omega] \quad x_{c\max} = \frac{x_1 \cdot x_2}{x_1 + x_2}$$

potom hodnota maximálního rázového příspěvku $I''_{k\max 3f}$ na přípojnici bude:

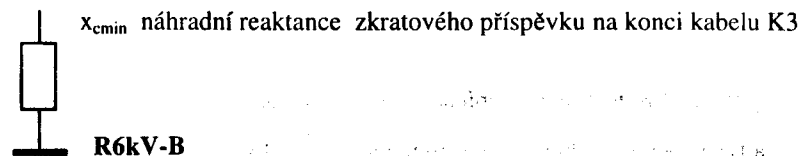
$$I''_{k\max 3f} = \frac{c \cdot U_{zkratu}}{\sqrt{1,73 \cdot x_{c\max}}} = \frac{1,1 \cdot 6,3}{1,73 \cdot 0,089421} = 44,187 \quad [\text{kA}]$$



$$\text{kde } x_{c\min} = x_{s\min} + x_{T101} + x_{K1} = 0,157128 \quad [\Omega]$$

potom hodnota maximálního rázového příspěvku $I''_{k\min 3f}$ na přípojnici bude:

$$I''_{k\min 3f} = \frac{c \cdot U_{zkratu}}{\sqrt{1,73 \cdot x_{c\min}}} = \frac{1 \cdot 6,3}{1,73 \cdot 0,157128} = 23,17 \quad [\text{kA}]$$



$$\text{kde } x_{c\min} = x_{s\min} + x_{T101} + x_{K1} + x_{K3} = 0,324628 \quad [\Omega]$$

potom hodnota minimálního rázového příspěvku $I''_{k\min 3f}$ na konci kabelu K3 bude:

$$I''_{k\min 3f} = \frac{c \cdot U_{zkratu}}{\sqrt{1,73 \cdot x_{c\min}}} = \frac{1 \cdot 6,3}{1,73 \cdot 0,324628} = 11,21 \quad [\text{kA}]$$

Vypočtená data použijeme pro výpočet nastavení zkratové ochrany vývodu na K3.

Data kabelu K3: kabel mezi R6-A – R6-B, 10 AXEKCY 3 x 1 x 240 mm². Kabel při zkratu se nesmí zahřát nad dovolenou teplotu. Tuto teplotu reprezentuje koeficient K (je uveden v ČSN 332000-4-43). V tomto případě je **K = 94**.

Nejprve vypočteme oteplovací zkratový proud I_{th} (I_{ke}):

$$I_{th} = k \cdot I''_{k\max 3f} = 1,09 \cdot 44,187 = 48,16 \quad [\text{kA}]$$

koeficient $k = 1.09$ reprezentuje dobu vypnutí zkratu za 200 msec, pak vypočteme maximální čas odepnutí zkratu.

$$t_{\text{vyp}} \leq \left[\frac{K \cdot S}{I_{th}} \right]^2 = \left[\frac{94 \cdot 240}{48163} \right]^2 = 0,2194 \quad [\text{sec}]$$

Vypínací čas je součet vypínacího času vypínače a ochrany. Proto tedy závisí na typu vypínače, který zkrat odepíná. Pokud by to byl moderní vypínač s vypínacím časem do 50 msec, tak časové nastavení zkratové ochrany bude 150 msec.

Zkratová ochrana musí odepínat všechny zkraty, které mohou na kabelu K3 vzniknout. Musíme počítat s tou nejméně příznivou situací. Je to minimální dvoufázový zkrat na konci kabelu. Vyjdeme z minimálního třífázového zkratu na konci kabelu vypočteného výše $I''_{k \min 3f} = 11,21 \text{ kA}$. Protože dvoufázový zkrat je menší než třífázový, budeme muset nejprve vypočíst $I''_{k \min 2f}$.

$$I''_{k \min 2f} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I''_{k \min 3f} = 0,866 \cdot 11,21 = 9,7 \quad [\text{kA}]$$

Nastavení ochrany v primárních hodnotách potom bude:

$$I_r \leq \frac{I''_{k \min 2f}}{k_b} = \frac{9,7}{1,5} = 6,47 \quad [\text{kA}]$$

Výsledek výpočtu ukazuje, že nastavení zkratové ochrany chránící kabel K3 musí být nižší nebo rovné 6,47 kA s časem nižším nebo rovným 150 msec.

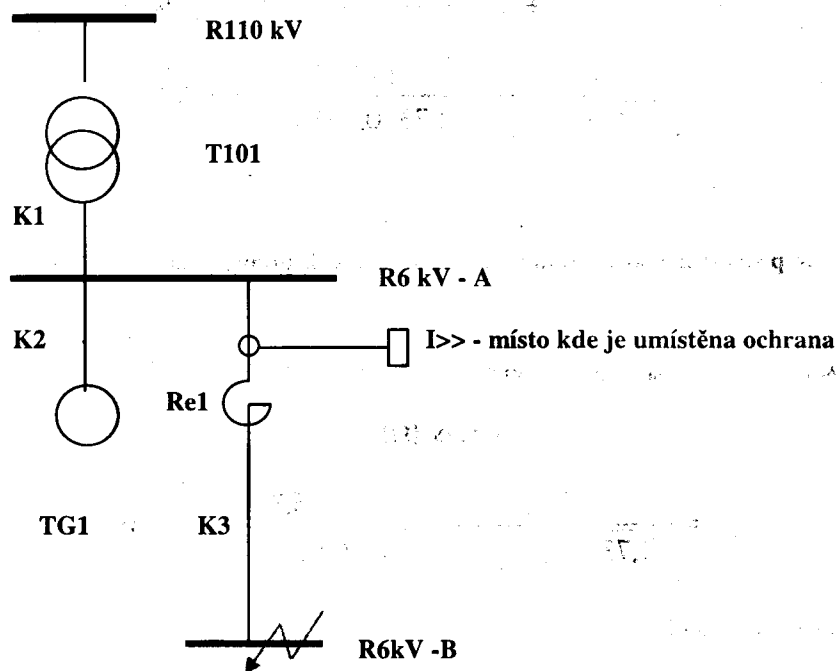
Pro další příklad uvedeme stejný výpočet, ale s použitím reaktoru pro omezení zkratů na vývodu kabelu K3.

Data reaktoru Re1: potřebná data jsou U_{nRe1} , I_{nRe1} , u_{rRe1} , data jsou uvedená na štítku reaktoru.

$$U_{nRe1} = 6 \text{ kV}$$

$$I_{nRe1} = 1000 \text{ A}$$

$$u_{rRe1} = 8 \%$$



reaktance reaktoru Re1 :

$$x_{Re1} = \frac{10 \cdot u_r \cdot U_{nR}}{\sqrt{3} \cdot I_{nR}} = \frac{10 \cdot 8 \cdot 6}{\sqrt{3} \cdot 1000} = 0,27745 \quad [\Omega]$$

Za základ výpočtu vezmeme vypočtená data z předcházejícího výpočtu, tj. zkratová data na přípojnici R6-A : $I''_{k \max 3f} = 40,72 \text{ kA}$, $I''_{k \min 3f} = 23,17 \text{ kA}$,
 $x_{c \max 3f}$ na přípojnici R6A = $0,089421 \Omega$ (platí pro $44,18 \text{ kA}$)
 $x_{c \min 3f}$ na přípojnici R6A = $0,157128 \Omega$ (platí pro $23,17 \text{ kA}$).

Reaktor bude mít vliv na snížení velikosti zkratů na kabelu a proto musíme provést přepočet maximálních zkratových poměrů na kabelu K3:

$$x_{c \max 3f \text{ na K3}} = x_{c \max 3f \text{ na R6-A}} + x_{\text{Rel}} = 0,089421 + 0,2777457 = 0,36688 \text{ } [\Omega]$$

$$I''_{k \max 3f K3} = \frac{c \cdot U_{\text{zkratu}}}{\sqrt{1,73} \cdot x_{c \max 3f K3}} = \frac{1,1 \cdot 6,3}{1,73 \cdot 0,366878} = 10,92 \text{ } [\text{kA}]$$

Musíme provést přepočet minimálních zkratových poměrů na konci kabelu K3:

$$x_{c \min 3f \text{ na K3}} = x_{c \min 3f \text{ na R6-A}} + x_{K3} + x_{\text{Rel}} = 0,157128 + 0,1675 + 0,2777457 = 0,60208 \text{ } [\Omega]$$

$$I''_{k \min 3f K3 \text{ konec}} = \frac{c \cdot U_{\text{zkratu}}}{\sqrt{1,73} \cdot x_{c \min 3f K3 \text{ konec}}} = \frac{1 \cdot 6,3}{1,73 \cdot 0,60208} = 6,048 \text{ } [\text{kA}]$$

provedeme výpočet I_{th} :

$$I_{th} = k \cdot I''_{k \max 3f} = 1,09 \cdot 10,92 = 11,9 \text{ } [\text{kA}]$$

pak vypočteme maximální čas odepnutí zkratu

$$t_{\text{vyp}} \leq \left[\frac{K \cdot S}{I_{th}} \right]^2 = \left[\frac{94 \cdot 240}{11902} \right]^2 = 3,59 \text{ } [\text{sec}]$$

$$I''_{k \min 2f} = 0,866 \cdot I''_{k \min 3f} = 0,866 \cdot 6,048 = 5,24 \text{ } [\text{kA}]$$

Nastavení ochrany v primárních hodnotách potom bude:

$$I_r \leq \frac{I''_{k \min 2f}}{k_b} = \frac{5,237}{1,5} = 3,49 \text{ } [\text{kA}]$$

Výsledek výpočtu naznačuje, že nastavení zkratové ochrany chráničů kabel K3 po instalaci reaktoru na vývod K3 musí být nastaveno níže nebo rovno **3,49 kA s časem nižším nebo rovným 3,5 sec.**

Literatura:

ČSN 33 3022 (2002) Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách – Část 0: Výpočet proudů

ČSN 33 3023 (1997) Výpočet zkratových proudů v trojfázových střídavých soustavách. – Část 1: Součinitele pro výpočet zkratových proudů v trojfázových střídavých soustavách podle IEC 909.

ČSN 33 3024 (1997) Data pro výpočty zkratových proudů v souladu s IEC 909

PNE 33 3042 (2003) Příklady výpočtů zkratových proudů ve střídavých sítích.

Neplatné ČSN:

ČSN 38 0411 (1960) Výpočet poměrů při zkratech v trojfázové elektrizační soustavě

ČSN 33 3020 (1987) Výpočet poměrů při zkratech v trojfázové elektrizační soustavě

ČSN 33 3020 (1992) Výpočet poměrů při zkratech v trojfázové elektrizační soustavě

6. Chránění kabelových vedení

Hlavní zásady pro volbu chránění:

- a) jádro jištěného kabelu při nadproudech způsobených přetížením nemá překročit teplotu podle tabulky 43-NA 1 ČSN 33 2000-4-43 (1994)
- b) jádro jištěného kabelu při nadproudech způsobených zkratem nesmí překročit teplotu podle tabulky 43-NA 1 ČSN 33 2000-4-43 (1994), v nové normě ČSN 33 2000-4-43 (2003) jsou tytéž teploty uvedeny v tabulce 43A, kde jsou uvedeny pod pojmem – počáteční a konečná teplota
- c) v prostředích, kde je stanovena nejvyšší dovolená teplota povrchu, povrch jištěného kabelu při nadproudech způsobených přetížením nebo pokud je to výslovně stanoveno v příslušných ČSN i zkratovými proudy, nesmí překročit nejvyšší dovolenou teplotu povrchu
- d) při normálním provozu nesmí nastat nežádoucí působení jistících prvků
- e) jistící prvky mají odpojit při svém působení, pokud je možné, jen postiženou část vedení
- f) každý jistící prvek při svém selhání musí být nahrazen jiným jistícím prvkem (místní a vzdálené zálohování), který poškozenou část bezpečně vypne
- g) pro celkový návrh chránění je podstatné zda má chráněné zařízení trvalou obsluhu, jestli jsou signály ochrany zavedeny do řídicího systému, nebo se jedná o rozvodnu bez obsluhy. V prvních dvou případech lze využít funkce signalizace přetížení a tím ochranu vypínat jen tehdy, pokud nedošlo po upozornění signálem o přetížení k odlehčení (ideální se zde jeví závislá proudová charakteristika), zatím co v místě bez obsluhy signalizace nemá žádný význam a zde je nutné vypínat bez upozornění (více se zde využívá nezávislých charakteristik)

- h) ochrany pro vedení vn předepsané ČSN 33 3051 (1992) najdeme v tabulce č.10 a č.11. Výčet uvedených ochran platí v plném rozsahu až na ochranu distanční, která je v průmyslových podnicích používána velmi zřídka.

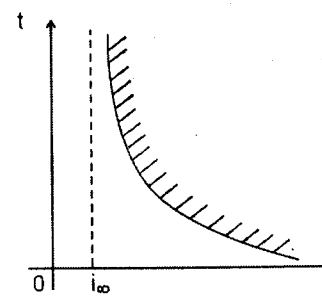
Poruchy na vedeních vn - poruchy, které mohou vzniknout na příslušném vedení, závisí na způsobu uzemnění uzlu soustavy. V soustavách s přímo uzemněným uzlem mohou vzniknout tyto poruchy: přetížení, zkraty, přerušení vodiče a přepětí. V soustavách s izolovaným nebo kompenzovaným uzlem může vzniknout, kromě výše zmíněných poruch, také zemní spojení.

Ochrany vedení vn se dělí na dvě základní skupiny:

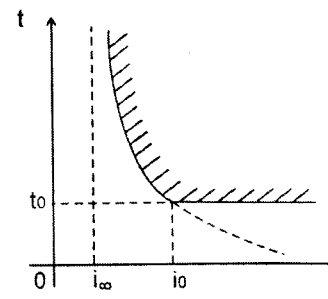
a) *stupňové* – jsou to takové ochrany, které ke svému selektivnímu působení potřebují časové zpoždění vhodně odstupňované. Do této skupiny patří nadproudové ochrany závislé, nezávislé, směrové a ochrany distanční.

b) *srovnávací* – jsou to ochrany, které pracují na principu porovnání stavové veličiny na vstupu a výstupu chráněného objektu a pokud jsou tyto hodnoty různé, vypínají okamžitě bez časového zpoždění.

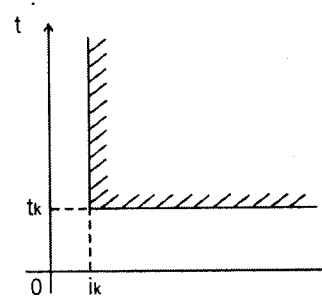
Nadproudové ochrany - princip těchto ochran je dán tím, že při přetížení nebo zkratu se zvětšuje proud procházející chráněným objektem. Tento proud ochrana měří a pokud dojde k překročení nastavené hodnoty dává povel k vypnutí. Podle doby působení rozeznáváme tyto typy nadproudových ochran:



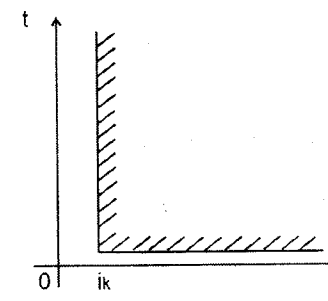
a)



b)



c)



d)

a) závislá, b) polozávislá, c) nezávislá – časová, d) nezávislá – mžiková

Závislé ochrany ve většině případů používají charakteristiky IDMT.

Při volbě závislé charakteristiky IDMT je vypínací čas stupně funkcí proudu. Čím vyšší je proud, tím kratší je vypínací čas. K dispozici jsou čtyři normalizované křivky označené jako extrémně závislá, velmi závislá, normálně závislá a dlouhodobě závislá charakteristika. Vztah mezi proudem a časem v souladu s normami BS 142.1966 a IEC 255-4 je vyjádřen vztahem:

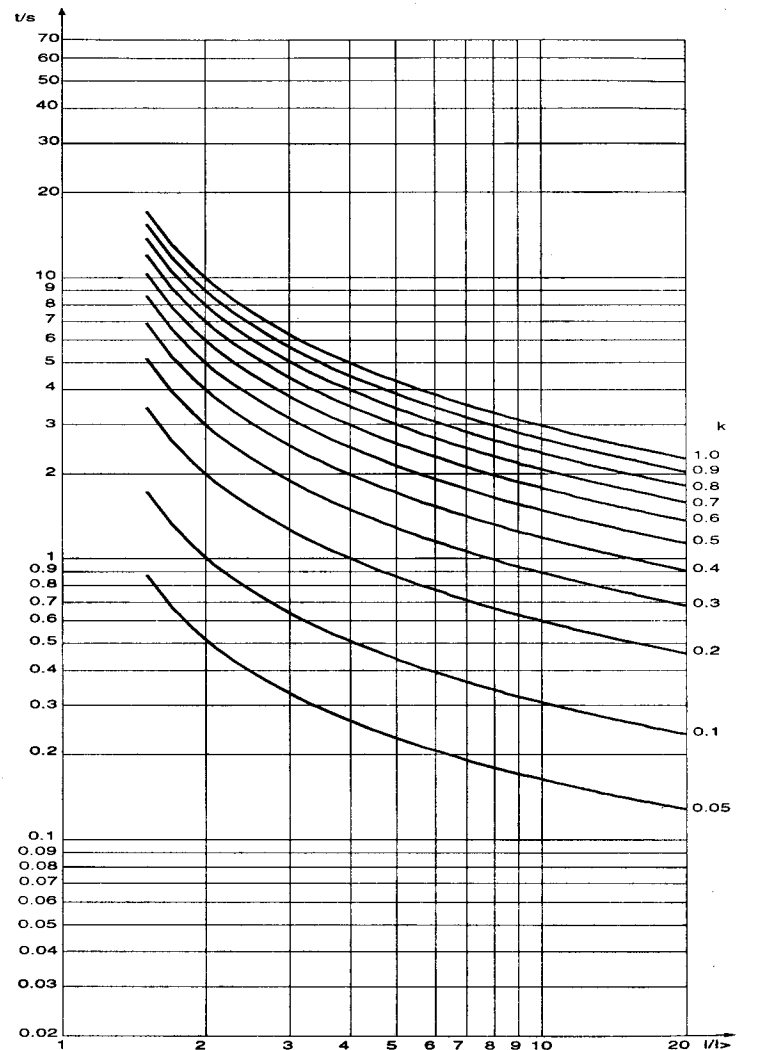
$$t = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I_0}\right)^\alpha - 1} \quad [s, s, -, A, A, -]$$

kde

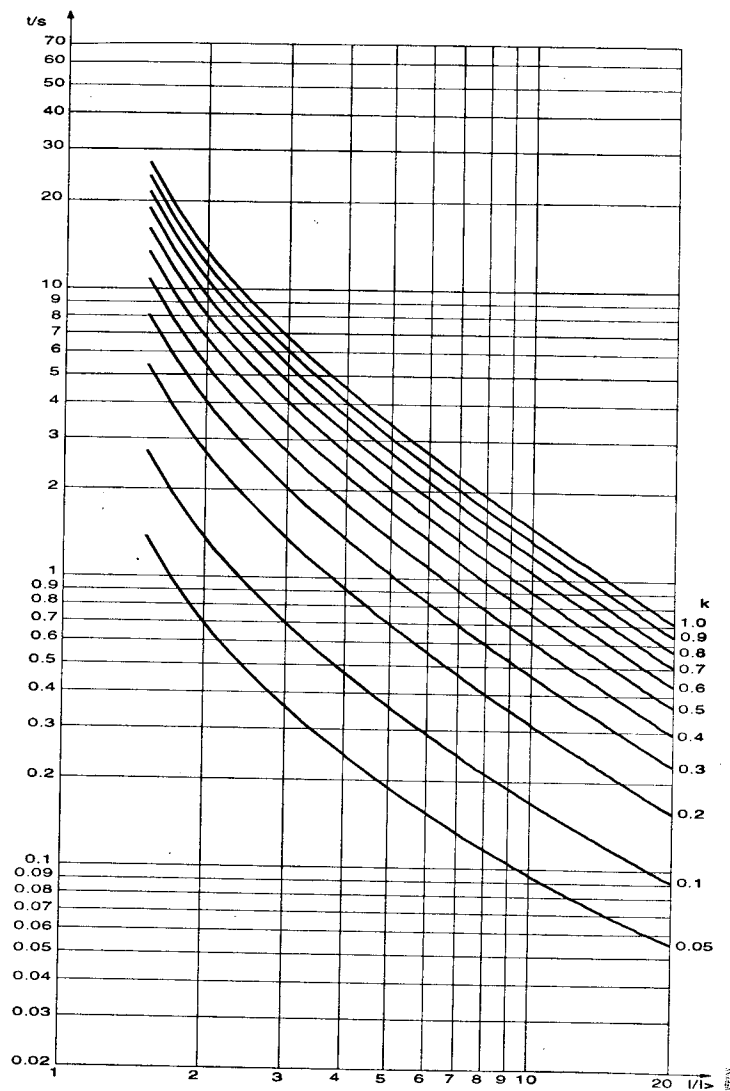
t vypínací čas**k** násobící časový faktor**I** měřená hodnota proudu**I₀** nastavená popudová hodnota proudu**α, β** konstanty určující průběh IDMT charakteristikyHodnoty konstant **α** a **β**

Skupina křivek závislosti čas / proud	α	β
Normálně závislá	0,02	0,14
Velmi závislá	1,0	13,5
Extrémně závislá	2,0	80,0
Dlouhodobě závislá	1,0	120

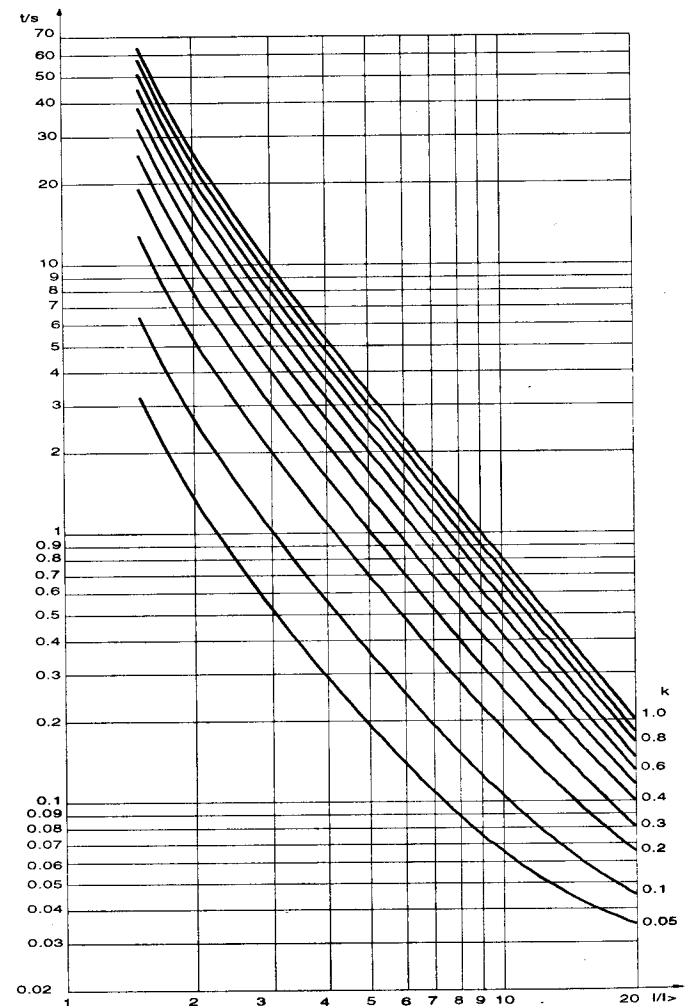
Norma BS 142.1996 definuje normální proudový rozsah jako 2 až 20-ti násobek nastavené hodnoty. Kromě toho musí u ochrany dojít k popudu nejdříve v okamžiku, kdy proud překročí 1,3 násobek nastavené hodnoty proudu, pokud je použita normálně závislá, velmi závislá nebo extrémně závislá charakteristika. U dlouhodobě závislé charakteristiky je normální proudový rozsah specifikován jako 2 až 7-násobek nastavené hodnoty a u ochrany musí dojít k popudu v okamžiku, kdy proud překročí 1,1 násobek nastavené hodnoty.



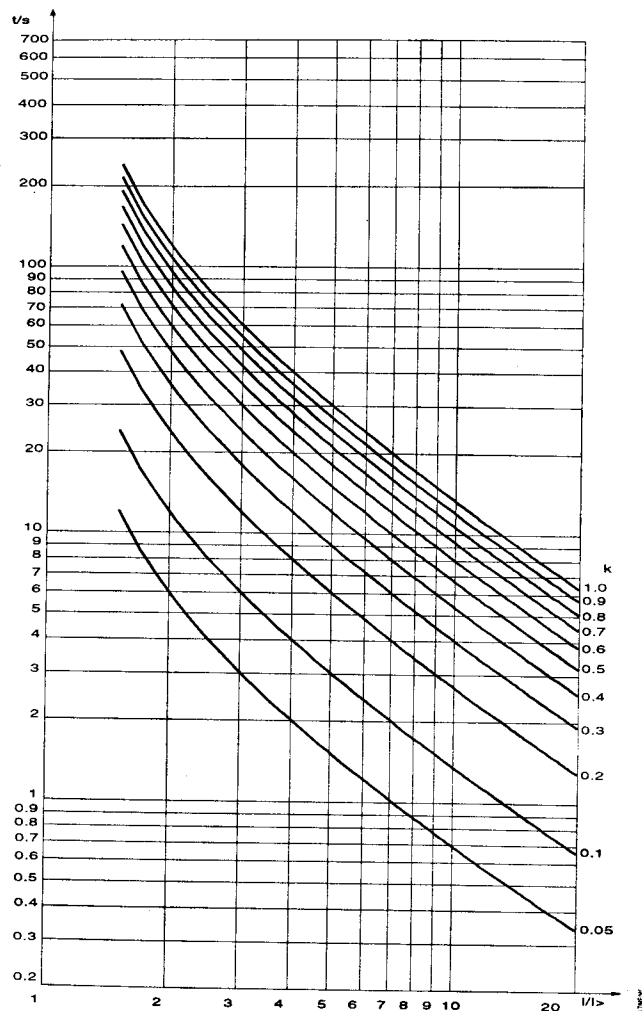
Normálně inverzní charakteristiky



Velmi inverzní charakteristiky



Extrémně inverzní charakteristiky



Dlouhodobě inverzní charakteristiky

Speciální charakteristiky

Charakteristika typu RI - je speciální charakteristika, která je používána hlavně pro časové odstupňování v systémech s elektromechanickými ochranami. Tuto charakteristiku je možné matematicky vyjádřit následujícím vztah

$$t = \frac{k}{0.339 - 0.236 \cdot \left(\frac{I}{I>} \right)} \quad [\text{sec}]$$

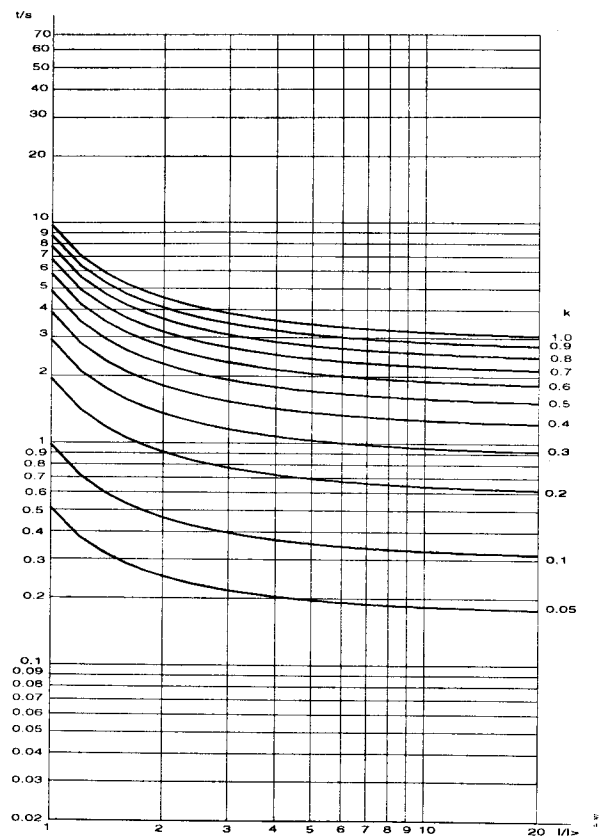
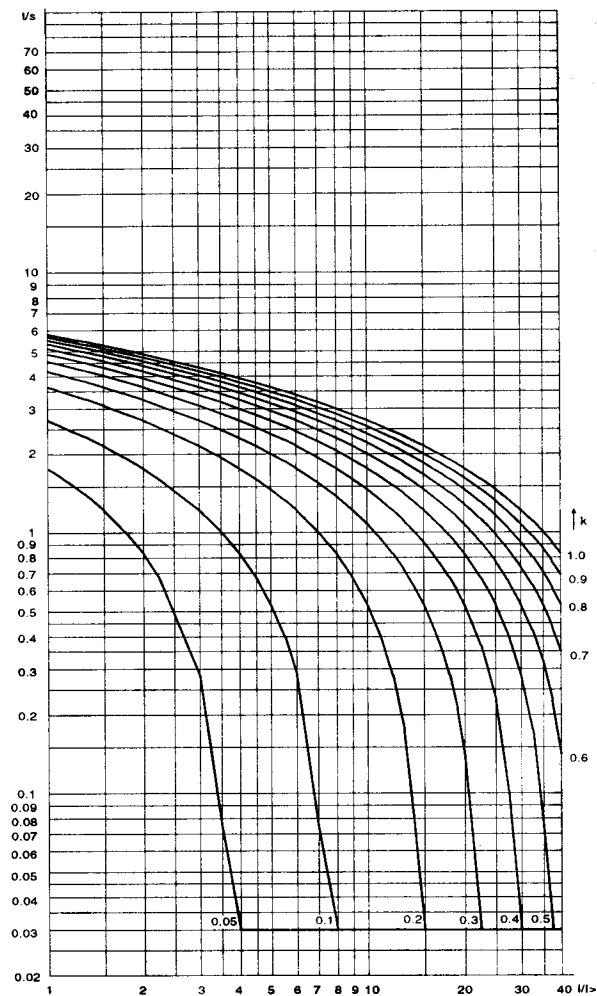
- kde t = vypínací čas v sekundách
 k = násobící časový faktor
 I = fázový proud
 $I>$ = nastavený popudový proud

Charakteristika typu RD

Charakteristika typu RD je speciální charakteristika, která je používána hlavně pro chránění při zemních poruchách v systémech, kde je vyžadován vysoký stupeň selektivity i pro poruchy s vysokou odporovou složkou. S touto charakteristikou může být ochrana selektivní i v případě, že se nejedná o ochranu směrovou. Matematicky je možné charakteristiku závislosti čas / proud vyjádřit následujícím vztahem:

$$t = 5.8 - 1.35 \log_e \left(\frac{I}{k \cdot I>} \right) \quad [\text{sec}]$$

- kde t = vypínací čas v sekundách
 k = násobící časový faktor
 I = fázový proud
 $I>$ = nastavený popudový proud

Charakteristika RI Charakteristika RD

Srovnávací ochrany - srovnávací ochrany nepřenáší veličinu úměrnou proudu, ale signál, který určuje pouze fázi proudu. Přenosové vedení musí věrně přenášet jen fázi bez ohledu na amplitudu. Měří fázový úhel φ mezi vstupním a výstupním proudem objektu.

Rovnice srovnávací ochrany je:

$$|\varphi| = |\arg i_a - \arg i_b| = \alpha \quad \alpha - \text{citlivost srovnávací ochrany}$$

Srovnávací ochrana je kompromis mezi použitím ochrany distanční a rozdílové. Je vhodná tam, kde pro krátkou vzdálenost vedení není možné použít ochranu distanční.

Distanční ochrany - ochrana využívá principu měření impedance zkratové smyčky. Ochrana měří napětí u_k a proud i_k v místě připojení ochrany. Veličiny u_k , i_k určují jednoznačně impedanci z zkratové smyčky a tím i vzdálenost l zkratu od ochrany.

$$z = \frac{u_k}{i_k} \approx l \quad [\Omega, V, A, m]$$

Ochrana působí pokud je změřená impedance menší než nastavená.

6.1. Chránění proti proudovým přetížením

Chránění musí zajistit dostatečnou životnost vodičů a jejich izolací vystavených tepelným účinkům proudů, působících dlouhodobě (jedná se o proudy, které vzniknou při nestandardním provozu, nejedná se o zkrat).

Při chránění proti proudovému přetížení vycházíme z **dovoleného proudového zatížení I_Z** ve smyslu čl. 523.ON5 ČSN 33 2000-5-523 z roku 1994. (Tato norma byla nahrazena v dubnu 2003 novou normou ČSN 33 2000-5-523, která platí jen pro kabely do 1 kV - původní ČSN 33 2000 -5-523 z února 1994 platila pro dimenzování holých i izolovaných vodičů a kabelů všech napětí - proto nám nezbývá nic jiného, než se držet normy z roku 1994.

$$I_Z = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_i \cdot I_N \quad [A]$$

Jmenovitý proud I_N pro daný typ kabelu převezmeme z údajů výrobce kabelu, u starších kabelů jej najdeme v **Národní příloze NK ČSN 33 2000 - 5-523 (1994) - Technické parametry vodičů a kabelů** - nebo příslušných normách z doby výroby kabelů. Pro nastavení ochrany použijeme hodnotu **dovoleného proudového zatížení I_Z** , kterou vypočteme podle výše citované normy.

Pro použití vypínací charakteristiky ochrany (některé ze závislých charakteristik nebo nezávislé charakteristiky) je podstatné, jaká je celková filosofie chránění. Záleží také na tom, ve kterém místě sítě vn se chráněný prvek nachází.

Protože každé nastavení musí být selektivní oproti „okolnímu“ nastavení ochrany, je nutné zvážit, zda je možné použít kombinaci závislých a nezávislých charakteristik v jednom systému chránění.

U chránění kabelových vedení proti proudovým přetížením dávám přednost závislým charakteristikám. Je to velmi dobře proveditelné tam, kde jsou digitální ochrany provozovány ve spolupráci s řídicím systémem. Popud závislé proudové ochrany je možné použít pro signalizaci, že zařízení je přetíženo, a že

došlo k rozběhu závislé proudové ochrany. Při použití vhodného typu závislé charakteristiky můžeme dosáhnout toho, že obsluha má čas na úpravu provozu.

Charakteristiku působení závislé proudové ochrany si můžeme poměrně přesně vykreslit například v programu EXCEL. Takto máme možnost provést kontrolu selektivity působení mezi závislými charakteristikami nebo mezi závislou a nezávislou proudovou charakteristikou. Je to jen otázka praxe. Případy kdy lze vynechat ochranu proti přetížení jsou uvedeny v čl. 473.1.2. ČSN 33 2000 - 4 - 473 (1994). Případy, ve kterých se z bezpečnostních důvodů doporučuje vynechání ochrany proti přetížení jsou uvedeny v čl. 473.1.4 ČSN 33 2000 - 4 - 473 (1994). Umístění ochrany proti přetížení je možné na začátku kabelového vedení nebo na konci kabelového vedení, proud procházejí kabelem je stejný. Je ale také možné použít nadproudovou ochranu na obou koncích kabelového vedení (ochrany musí být oproti sobě selektivní), podle mého názoru je to nadbytečné. Pokud tato ochranná funkce slouží současně pro vypínání zkratů (například při použití jediné ochrany - AT31X apod.), je nutné k umístění ochrany přistupovat jako k ochraně proti zkratovým proudům.

6.2. Výpočet nastavení nadproudových ochran

Výpočet nastavení nadproudových ochran vychází z dovoleného zatížení kabelu I_Z , které určíme podle uvedené ČSN 33 2000 - 5 - 523(1994). Podle PNE 38 4065 (2004) platí:

$$I_{r-\text{přetížení}} \geq \frac{k_b \cdot I_Z}{k_p \cdot p_p} \quad [\text{A}]$$

kde	I_Z	dovolené zatížení kabelů
	I_r	nastavení na ochraně
	k_p	přidržený poměr - udává výrobce ochran
	k_b	koefficient bezpečnosti - volí se 1,05 až 2 (1,05 pro signalizaci přetížení)
	P_p	převod měřících transformátorů proudu

U nadproudových ochran vedení, nebo úseků řazených za sebou nemá být ochrana blíže ke zdroji citlivější než ochrana dalších úseků. Nastavení proudu na ochranách musí vyhovovat podmínce:

$$I_m = (1,1 \div 1,3) I_{r(n-1)} \quad [\text{A}]$$

Jde o případ proudové selektivity. Tuto selektivitu můžeme zajistit použitím obou typů charakteristik - závislých i nezávislých.

Pro časovou selektivitu platí:

$$\Delta t = t_n - t_{n-1} \quad [\text{sec}]$$

Časová selektivita je mnohem důležitější, protože ta je funkční i při stavech, kdy poruchové proudy jsou vyšší než jsou nastavené nadproudové ochrany (kdy se rozběhnou všechny nadproudové ochrany a tím proudová selektivita neplatí, toto pravidlo neplatí pro ochrany se závislou charakteristikou).

Příklad výpočtu:

A) Vedení je realizováno kabelem, který je v rozvodně uchycen na zdi kabelovými háky, dále je veden zemí, na konci je vyveden na stožár a dále vedení pokračuje jako volné vedení. Nadproudová ochrana – PTP 400/1.

kabel: 22ANKTOPV 3x240mm²

$I_{NV} = 329A$ – pro uložení ve vzduchu

$I_{NZ} = 353A$ – pro uložení v zemi

Počet kabelů – 1

$k = 1$ (uložení E-L podle Tab. 52-NF29 v normě ČSN 33 2000-5-523)

volné vedení : AlFe – 6 – 120mm² , $I_N = 357A$

$$I_z = k \cdot I_N = 1 \cdot 329A = 329 \quad [A] \quad (\text{použijeme nejnižší } I_N \text{ vedení})$$

nastavení nadproudové ochrany:

$$I_r \geq \frac{k_b \cdot I_z}{k_p \cdot p_i} = \frac{1,2 \cdot 329}{0,95 \cdot 400} = 1,038 \quad [In \text{ ochrany}]$$

kde k_b	přídržný poměr (1,2)
k_p	koeficient bezpečnosti (0,95)
p_i	převod měřicího transformátorů proudu
I_z	dovolené zatížení vedení

B) Vedení je kabelové, kabely v rozvodně jsou vedeny na zdi v neperforované lávce, volně seskupené, dále pak uloženy v zemi. Nadproudová ochrana – PTP 800/1.

kabel: 6ANKOPV 3x240mm²

$I_{NV} = 363A$ – pro uložení ve vzduchu

$I_{NZ} = 406A$ – pro uložení v zemi

Počet kabelů – 2

$k = 0,95$ (uložení E-H podle Tab. 52-NF29 v normě ČSN 33 2000-5-523)

$$I_z = k \cdot I_N = 2 \cdot 0,95 \cdot 363 = 689,7 \quad [A]$$

nastavení nadproudové ochrany:

$$I_r \geq \frac{k_b \cdot I_z}{k_p \cdot p_i} = \frac{1,2 \cdot 689,7}{0,95 \cdot 800} = 1,089 \quad [In \text{ ochrany}]$$

kde k_b	přídržný poměr (0,95)
k_p	koeficient bezpečnosti (1,2)
p_i	převod měřicího transformátorů proudu
I_z	dovolené zatížení vedení

6.3. Chránění proti zkratovým proudům

(při dvou a třífázovém zkratu)

Zkratová ochrana musí být schopna přerušit každý zkratový proud ve vodičích obvodu dříve, než by se takový proud mohl stát nebezpečným v důsledku tepelných účinků vznikajících ve vodičích kabelu. Vypínací čas každého zkratového proudu v kterémkoliv místě obvodu nesmí být větší než čas, ve kterém vodiče dosáhnou přípustnou teplotní mez. Do vypínacího času je nutné zahrnout vypínací čas ochrany a vypínací čas vypínače.

Při výpočtu vypínacího času lze postupovat podle odstavce 434.3 ČSN 33 2000 – 4 – 43 (2003). U tohoto výpočtu je nutné dávat pozor na různý výklad zkratového proudu v místě zkratu. Podle ČSN 33 2000 – 4 – 43 (2003) je označen jako ekvivalentní oteplovací proud I , ale tento proud je totožný s ekvivalentním oteplovacím proudem I_{ke} podle ČSN 33 3022 (1992) a současně s ekvivalentním oteplovacím proudem I_{th} podle ČSN 33 3040 (1990). Ve všech případech se jedná o stejnou výslednou proudovou hodnotu.

Pro výpočet nastavení ochrany proti zkratovým proudům je vhodné si nakreslit všechny možné varianty zapojení pro chráněný prvek, a pro všechny provést výpočet zkratů. V každém případě počítáme s tou nejvyšší hodnotou zkratu, která vyjde pro různá zapojení. Chránění proti zkratovým proudům (dřívější termín byl kontrola vedení na oteplení při zkratu) je nejdůležitější část chránění zařízení proti nadproudům.

Pro chránění proti zkratovým proudům používáme u kabelů vn zásadně proudovou ochranu s nezávislou charakteristikou (i když použití některé ze závislých charakteristik u digitálních proudových ochrany by bylo taktéž možné, nastal by zde velký problém s dodržáním selektivity). Případy, ve kterých se může vynechat ochrana proti zkratovým proudům, jsou uvedeny v článcích 473.2.3 ČSN 33 2000 – 4 – 473 (1994).

Umístění ochrany proti zkratovým proudům z pohledu začátku a konce kabelového vedení není stejné jako u ochrany proti proudovému přetížení. V tomto případě je vhodné, aby byla ochrana proti zkratovým proudům na obou koncích kabelového vedení. V horším případě na straně napájení, ale to jen v případě, že není uvažováno napájení oběma směry (v tomto případě je nutná zkratová ochrana na obou stranách).

6.4. Výpočet nastavení ochrany při oteplení při zkratu

Podstata tohoto výpočtu je výpočet času za kterou se musí odepnout zkrat. Tento čas je součet vypínacího času vypínače a nastaveného vypínacího času ochrany. To znamená, že tento vypočtený čas po odečtení času vypínače je nejvyšší čas, který smíme na ochraně nastavit. V současné době tento výpočet uvádí dvě ČSN a každá ho uvádí v jiném tvaru, ale obsah vzorců je stejný a výsledek totožný.

ČSN 33 2000 – 4 – 43 (2003) uvádí :

$$\sqrt{t} = k \cdot \frac{S}{I} \quad \text{jinak napsaný vzorec} \quad t = \left[\frac{k \cdot S}{I} \right]^2 \quad [\text{sec}]$$

kde

t	doba trvání zkratu v sec
k	koefficient pro výpočet oteplení při zkratu v $\text{As}^{0.5} / \text{mm}^2$

kde koefficient k :

- 115 platí pro Cu vodiče s izolací PVC, pro průřezy menší než 300 mm^2 , při počáteční teplotě 70°C
- 100 platí pro Cu vodiče s izolací PVC, pro průřezy menší než 300 mm^2 , při počáteční teplotě 90°C
- 103 platí pro Cu vodiče s izolací PVC, pro průřezy větší než 300 mm^2 , při počáteční teplotě 70°C
- 86 platí pro Cu vodiče s izolací PVC, pro průřezy větší než 300 mm^2 , při počáteční teplotě 90°C

- 76 platí pro Al vodiče s izolací PVC, pro průřezy menší než 300 mm², při počáteční teplotě 70°C
- 66 platí pro Al vodiče s izolací PVC, pro průřezy menší než 300 mm², při počáteční teplotě 90°C
- 68 platí pro Al vodiče s izolací PVC, pro průřezy větší než 300 mm², při počáteční teplotě 70°C
- 57 platí pro Al vodiče s izolací PVC, pro průřezy větší než 300 mm², při počáteční teplotě 90°C
- 143 platí pro Cu vodiče s izolací se síťovaného polyetylénu
- 94 platí pro Al vodiče s izolací se síťovaného polyetylénu
- S průřez vedení v mm²
- I = I_{ke} ekvivalentní oteplovací proud v A

ČSN 33 3040 (1990) uvádí:

$$T_K = \left[\frac{K \cdot A}{I_{th}} \right]^2 \quad [\text{sec}]$$

kde

- T_K doba trvání zkratu v sec
- A průřez vedení v mm²
- I_{th} ekvivalentní oteplovací proud v A
- K koeficient pro výpočet oteplení při zkratu v As^{0.5}/mm²

Zvláštní pozornost musíme věnovat výpočtu nastavení ochran na oteplení při zkratu u paralelních kabelů. Zde musíme provést navíc kontrolu maximálního

vypínacího času pro zkrat na konci jednoho z kabelů. V případě, kdy zkrat vznikne na konci jednoho z kabelů (místo zkratu je tím napájeno ze dvou stran), dojde ke značnému zkrácení maximálního vypínacího času (kontrolovaný průřez již není součet průřezů všech paralelních kabelů, ale musíme počítat jen průřezem poškozeného kabelu). Tento výpočet je závislý na délce kabelů, protože musíme počítat se zkratovým proudem na konci kabelů (řešíme jako dvě paralelní vedení). Tento problém řeší článek 473.2.4 ČSN 33 2000-4-473 (1994).

Časové nastavení ochrany potom bude (platí pro kontrolu na oteplení):

$$t_{ochrany} \leq t_{doba \cdot trvání \cdot zkratu} - t_{vypínače} \quad [\text{sec}]$$

Příklad výpočtu je uveden u výpočtu zkratů.

6.5. Výpočet nastavení ochran pro selektivní vypínání zkratů

Hodnota nastaveného zkratového proudu musí odepnout každý zkrat, který může nastat v chráněném úseku. To znamená, že se jedná o tzv. minimální zkrat, který je nutné vypočítat. Normy ve své definici minimálního zkratu povolují jisté procento točivých strojů v soustavě, kde počítáme zkrat. Ale z praktického hlediska musíme na minimální zkrat hledět tak, že zapínáme soustavu pod napětí, jediný zkratový příspěvek soustavy je z nadřazené soustavy, a to taktéž jako minimální zkratový příspěvek. Z této hodnoty I_{k min} musíme vycházet v dalším výpočtu. Protože ne všechny zkraty jsou třípólové, musíme zkrat přepočítat na dvoupólový, který je menší.

$$I_{k \min 2f}'' = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k \min 3f}'' \approx 0,86 \cdot I_{k \min 3f}'' \quad [\text{A}]$$

Potom výsledný výpočet bude:

$$I_{r-zkraty} \leq \frac{I''_{k \min 2f}}{k_c \cdot p_p} = \frac{I''_{k \min 2f}}{1,5 \cdot p_p} \quad [A]$$

kde I_r	nastavení na ochraně
k_c	koeficient citlivosti - pro zkraty volíme 1,5 - 2
p_p	převod měřících transformátorů proudu
$I''_{k \min 2f}$	minimální dvoufázový zkratový proud

Při výpočtu musíme dát pozor, aby platil vztah:

$$I_{r-zkraty} \geq \frac{k_b \cdot I_z}{k_p \cdot p_p} \quad [A]$$

kde I_r	nastavení na ochraně
k_p	přídržný poměr
k_b	koeficient bezpečnosti
p_p	převod měřících transformátorů proudu
I_z	nastavení nadproudové ochrany na přetížení

U dlouhých vedení může dojít k tomu, že dvoufázový minimální zkratový proud se může blížit nastavení nadproudové ochrany, která respektuje zatížení na konci vedení. Jedná se o to, aby běžné provozní přetížení nezasahovalo do nastavení zkratové ochrany.

Druhý předpoklad, který musí nastavení zkratové ochrany splnit, je zkratové nastavení ochrany vyšší než je rozběhový proud motorů.

$$I_{r-zkraty} \geq \frac{k_b \cdot I_s}{k_p \cdot p_p} \quad [A]$$

kde I_r	nastavení na ochraně
k_p	přídržný poměr
k_b	koeficient bezpečnosti
p_p	převod měřících transformátorů proudu
I_s	rozběhový proud motorů

Pokud nelze tuto podmínku splnit, je ji možné vyřešit použitím směrové proudové ochrany. Časové nastavení těchto zkratových ochran musí respektovat selektivní časové nastavení jednotlivých ochran. Při použití digitálních ochran je dnes snaha časovou selektivitu mezi ochranami snížit na co nejnižší mez – cca až na 50 ms. Je třeba uvážit, že i digitální ochrany mají svůj odpad. Proto je třeba velmi zvážit, jaké nejnižší časové nastavení použijeme a jakou použijeme nejnižší časovou selektivitu. Není vhodné nastavovat kratší časy zkratů než 100 ms, a to jak u motorů, tak u transformátorů. Kratší nastavené časy nic nevyřeší, naopak můžou pouze přinést problémy. Na časovou selektivitu má vliv kvalita vypínače (jeho rychlost vypínání), ale i u nejmodernějších vypínačů se snažíme dodržet selektivitu 100 ms. Já se snažím dodržet 200 ms, je-li to je možné.

Příklad výpočtu:

$I''_{k \min 2f} = 6108,1A$, převod 400/1

$$I_r \leq \frac{I''_{k \min 2f}}{k_c \cdot p_p} = \frac{6108,1}{1,5 \cdot 400} = 10,18 \quad [I_{n \text{ ochrany}}]$$

kde k_c	koeficient citlivosti (1,5)
p_p	převod měřícího transformátorů proudu
$I''_{k \min 2f}$	minimální zkratový proud

6.6. Teoretický rozbor výpočtů proudů při zemních poruchách

Sít' s izolovaným uzlem (sítě IT):

Pro proud procházející místem poruchy, v tomto případě současně kapacitní proud sítě platí:

$$I_p = I_c = j3\omega \cdot C \cdot U_f \quad [\text{A}]$$

Pro tzv. součtový proud, vyhodnocovaný zemní ochranou platí u postiženého vedení:

$$I_{\Sigma 1} = j3\omega \cdot (C - C_1)U_f = I_c - I_{c1} \quad [\text{A}]$$

a u zdravého vedení:

$$I_{\Sigma 2} = -j3\omega \cdot C_2 U_f = -I_{c2} \quad [\text{A}]$$

Protože se proudy $I_{\Sigma 1}$ a $I_{\Sigma 2}$ liší především svým směrem, užívají se pro zjišťování zemních poruch v sítích s izolovaným uzlem zemní jalové relé.

Sít' s nepřímým uzemněním pomocí zhášecí tlumivky (sítě IT(r)):

Proud procházející místem poruchy, označovaný obvykle jako zbytkový, je dán rozdílem kapacitního proudu sítě a proudu zhášecí tlumivky, která jej kompenzuje. U těchto sítí je třeba uvažovat i svodové odpory síťových kapacit proti zemi a činný odpor zhášecí tlumivky. Pro stav před poruchou platí, že zbytkový proud:

$$I_{zb} = \left[\frac{3}{R} + \frac{1}{R_L} + j \left(3\omega C - \frac{1}{\omega L} \right) \right] U_f \quad [\text{A}]$$

Pro proud vyhodnocovaný zemní ochranou platí:

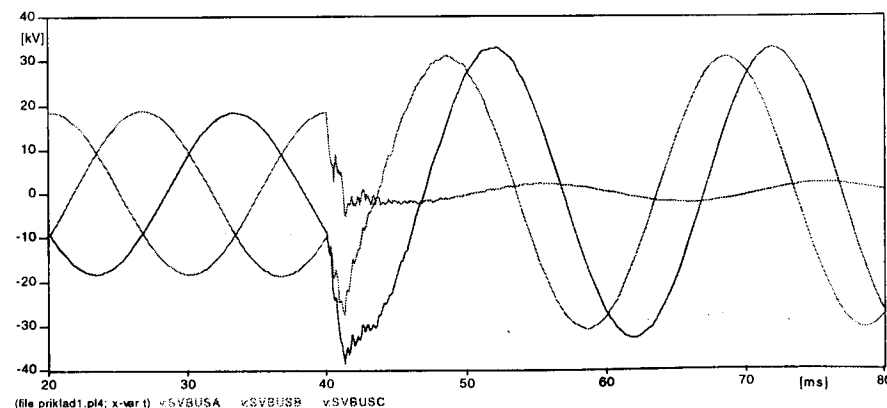
$$I_{\Sigma 1} = \left[\frac{3}{R} - \frac{3}{R_1} + \frac{1}{R_L} + j \left(3\omega C - 3\omega C_1 - \frac{1}{\omega L} \right) \right] U_f \quad [\text{A}]$$

a u zdravého vedení:

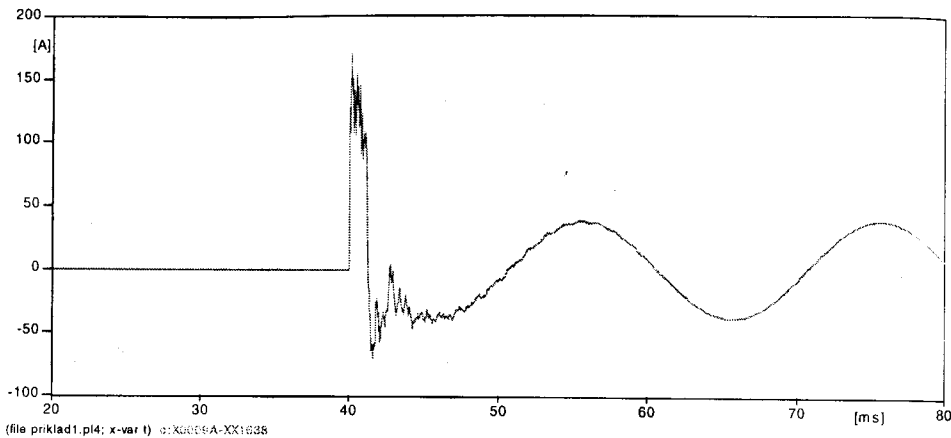
$$I_{\Sigma 2} = - \left(\frac{3}{R_2} + j3\omega C_2 \right) U_f \quad [\text{A}]$$

Zemní wattová relé využívají pro svou činnost rozdílu ve směru činné složky postiženého a zdravého vedení.

Tzv. zvyšování činné složky proudu zemního spojení zatěžováním pomocného vinutí zhášecí tlumivky připojením odporníku, se projeví ve zmenšení RL, tj. jak ve zvýšení zbytkového proudu, tak i jeho činné složky, pouze u vedení s poruchou. U dobře vykompenzovaných sítí je zbytkový proud 5 % (norma říká do 10% I_c 1.harmonické u automaticky laděných sítí) z kapacitního proudu sítě. Přídavné zvyšování činné složky má za následek krátkodobé (do 1s) zvýšení činné složky proudu závisí na použitém odporu.



Průběh napětí při zemním spojení



Průběh proudů při zemním spojení

Síť s nepřímo uzemněným uzlem pomocí rezistoru (sítě IT(r)):

Proud procházející místem poruchy lze psát jako

$$I_p = \left(\frac{1}{R_N} + j3\omega C \right) U_f \quad [\text{A}]$$

Proud zemní ochranou postiženého vývodu

$$I_{\Sigma I} = \left(\frac{1}{R_N} + j3\omega(C - C_1) \right) U_f \quad [\text{A}]$$

Pro rozlišení mezi zdravým a postiženým vedením u těchto sítí obvykle postačuje rozdíl ve velikosti proudů (pokud proud procházející uzlovým odporem

dostatečně převyšuje vlastní kapacitní proudy jednotlivých vývodů), tj. obvyčejné nadproudové relé.

6.7. Chránění proti zkratovým proudům při zemních zkratech (Soustava nepřímo uzemněná pomocí rezistoru)

Soustava nepřímo uzemněná pomocí odporníku se používá především u kabelových sítí. Velikosti této sítě odpovídá zvolená velikost odporníku. Většina sítí vn (hlavně se jedná o síť 6 kV) je zapojena do trojúhelníka, v tomto případě je nutno použít pomocnou nulovou tlumivku, na kterou se připojí odporník. V případě vyvedené nuly u strany vn se připojí odporník přímo na nulu transformátoru. Tento způsob provozování sítě je velmi vhodný pro průmyslové sítě, ale jsou takto připojeny i některé elektrárny. Zemní zkraty jsou odpojovány rychle a bezpečně. Způsob připojení odporníku na síť (přímo na nulu transformátoru nebo přes pomocný transformátor) nemá vliv na způsob provozování a nastavení ochran. Poruchový proud můžeme popsat takto:

$$I_p = \frac{U_f \sqrt{1 + (R_N \cdot 3 \cdot \omega \cdot C_0)^2}}{\sqrt{(R_f + R_N)^2 + (R_f \cdot R_N \cdot 3 \cdot \omega \cdot C_0)^2}} \quad [\text{A}]$$

kde

I_p	poruchový proud
U_f	fázové napětí
C_0	celková kapacita kabelů
R_N	odpor odporníku
R_f	odpor poruchy

po zjednodušení je možno napsat:

$$I_p = \frac{U_f}{R_N + R_f} \quad [\text{A}]$$

6.8. Chránění proti proudům při zemním spojení

(izolovaná soustava)

Soustavy vn provozované jako izolovaná soustava jsou omezeny podmínkou **celkového kapacitního proudu** I_c , který nesmí přesáhnout 20 A (ČSN 33 3070 z roku 1981, Kompenzace kapacitních zemních proudů v sítích vysokého napětí.). Přesto se často setkáváme z izolovanou sítí o celkovém kapacitním proudu 60 A i více. U těchto soustav se většinou zemní spojení jen signalizuje na přípojnicí, protože panuje obecné povědomí, že tyto poruchové proudy jsou malé a často samy zhasínají při průchodu nulou. Mnoho lidí si také myslí, že daleko větším nebezpečím jsou přepětí, která nejsou ničím tlumená a proto jsou velká. Místem poruchy však teče celkový kapacitní proud soustavy. Pokud si vypočteme, jak velký tepelný výkon nám prochází místem zemního spojení, zjistíme, že tento poruchový stav nesmíme zanedbávat. Toto zemní spojení ohřívá okolní izolaci tak dlouho, až dojde k dvoufázovému zkratu a vedení je odepnuto zkratovou ochranou. Proto je vhodné tato zemní spojení co nejdříve lokalizovat a poruchové místo odepnout. Pro signalizaci nebo vypínání zemních spojení používáme většinou „zemní“ proudové ochrany s nezávislou charakteristikou, i když použití závislých charakteristik u „zemních“ proudových ochran je v jiných zemích běžné. V případě zemního spojení v izolované soustavě teče místem zemního spojení tento poruchový proud:

$$I_p = \frac{I_c}{\sqrt{1 + \left(\frac{I_c}{U_f} \cdot R_f \right)^2}} \quad [\text{A}]$$

kde

I_p	poruchový proud
I_c	celkový kapacitní proud
U_f	fázové napětí
R_f	odpor poruchy

V neuzemněných soustavách velikost poruchového proudu nezávisí na místě poruchy. Nulová složka proudu vývodu s poruchou, měřená ochranou, zahrnuje pouze tu část proudu, která se uzavírá přes kapacity zdravých fází.

Velikost kapacitního proudu je dána typem kabelů, jejich průřezem, uložením, délkou a napětím soustavy, na které jsou provozovány.

$$I_c = 3 \cdot \omega \cdot C_o \cdot U_f \quad [\text{A}]$$

kde I_c	celkový kapacitní proud
U_f	fázové napětí
C_o	celková kapacita kabelů

Kapacitní proudy jednotlivých kabelů je možné zjistit z katalogů jednotlivých výrobců nebo přibližně odvodit z příloh NN ČSN 33 2000 – 4 – 41(1996), ČSN 33 3070 (1981) nebo ze starších norem ČSN 34 1010 apod., neboť velikosti kapacitních proudů se harmonizace norem netýká, kapacitní proudy jednotlivých typů kabelů se vždy měřily. Technická data nejpoužívanějších kabelů jsou v tabulkách na konci knihy.

6.9. Chránění proti proudům při zemním spojení (soustava nepřímá uzemněná pomocí zhášecí tlumivky)

Soustava vn provozovaná jako nepřímá uzemněná pomocí zhášecí tlumivky se používá především u smíšených sítí, ale tento způsob provozu je možný i u sítí čistě kabelové. Používá se hlavně u sítí s vyvedenou nulou napájecího transformátoru, kde se zhášecí tlumivka připojí na nulu transformátoru.

Pokud je síť bez vyvedené nuly u napájecího transformátoru, můžeme zhášecí tlumivku připojit na některou vyvedenou nulu transformátoru vn/nn na primární straně transformátoru, pokud se v síti takový transformátor nachází.

Pokud je sekundární strana napájecího transformátoru zapojena do trojúhelníka, připojí se zhášecí tlumivka na uzel uměle vytvořený trojfázovou nulovou tlumivkou. Vinutí nulové tlumivky je zapojeno do lomené hvězdy, jmenovité napětí nulové tlumivky musí odpovídat jmenovitému napětí sítě. Jako náhradní řešení lze použít připojení zhášecí tlumivky k uzlu nezátíženého pomocného transformátoru v zapojení YN/d1.

Velikost zhášecí tlumivky je dána velikostí kapacitního proudu sítě I_c , to znamená rozlehlostí sítě. Obvod je paralelním rezonančním obvodem a pokud je zhášecí tlumivka naladěna na kapacitu systému, má poruchový proud pouze odporovou složku. Velikost poruchového proudu je podmíněna ohmickým odporem zhášecí tlumivky a vedení vn spolu se svodovými odpory R_0 . Výhodou tohoto způsobu provozu je, že většina oblouků (zemních spojení) se samovolně uhasí (platí jen pro volná vedení, kde převážnou část zemních spojení tvoří dorůstající stromy). Navíc je zde možnost provozování soustavy se zemním spojením po dobu, která je omezená pouze dobou oteplení zhášecí tlumivky. Zhášecí tlumivka bývá doplněna paralelně připínaným odporem, který se připíná

v době zemního spojení na dobu cca 1 sec za účelem zvětšení činného proudu, a tím lepšího působení ochran. Poruchový proud můžeme popsat takto:

$$I_p = \frac{U_f \sqrt{1 + R_0^2 \left(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L} \right)^2}}{\sqrt{(R_f + R_0)^2 + R_f^2 R_0^2 \left(3\omega C_0 - \frac{1}{\omega L} \right)^2}} \quad [\text{A}]$$

Kompenzaci kapacitních zemních proudů v sítích vysokého napětí se věnuje ČSN 33 3070 (1981).

6.10. Výpočet nastavení ochran pro zemní poruchy

Problém nastavení ochran pro signalizaci nebo vypínání zemních poruch můžeme rozdělit do tří skupin, a to podle provozovaných systémů.

- soustava nepřímá uzemněná pomocí rezistoru*
- soustava izolovaná*
- soustava nepřímá uzemněná pomocí zhášecí tlumivky*

U každé s těchto soustav je zcela odlišný způsob měření zemní poruchy, navíc je velmi podstatné, zda budeme potřebovat měření nesměrové nebo směrové. V případě nesměrového měření můžeme použít nadproudové relé. Jiná situace je pokud potřebujeme zemní směrovou ochranu. Potom musíme využívat měřicí články, které měří činnou nebo jalovou složku proudu. Uvedené výpočty nerespektují odpor poruchy, který se případ od případu velmi liší.

Způsob měření zemních poruch pomocí měřicích transformátorů proudu je možné rozdělit do tří skupin. První způsob měření I_0 je možný pomocí tzv. Holmgrénova zapojení měřicích transformátorů proudu, druhý pomocí průvlekového měřicího transformátoru a třetí způsob je v zapojení měřicího článku zemní ochrany mezi výstup z jednotlivých proudových obvodů ochrany a zem. Zatím co první dva způsoby lze doporučit, třetí způsob je nejméně přesný.

Předtím než provedeme rozhodnutí, že budeme měřit I_0 , musíme provést rozvahu, zda bude toto měření vůbec možné z pohledu převodu měřicích transformátorů a z pohledu citlivosti jednotlivých typů ochran.

ad a) soustava nepřímou uzemněná pomocí rezistoru se používá v průmyslových rozvodech i městských sítích. Pro síť vn v byly přijaty následující podmínky volby velikosti uzlových odporů:

$$R_N \leq \frac{1}{3j\omega C} = \frac{U_f}{I_c} \quad [\Omega]$$

kde R_N je odpor odporníku
 I_c kapacitní proud soustavy

$$R_0 \geq 2X_0 \quad [\Omega]$$

První podmínka vyjadřuje požadavek, aby jmenovitý proud uzlového odporu byl větší, než je kapacitní proud sítě. Druhá podmínka vyžaduje, aby nulový složkový odpor včetně uzlu byl alespoň dvojnásobek nulové složky reaktance (včetně reaktance uzlu sítě). Obě tyto podmínky zajišťují tlumení přepětí při zemních poruchách. Nastavení ochrany musí splňovat tyto podmínky:

$$I_r \leq \frac{I_{p \min}}{p_p \cdot k_c} \quad [A]$$

kde I_p minimální poruchový proud
 k_c koeficient citlivosti = 1,5
 p_p převod měřicích transformátorů proudu

Při zanedbání odporu poruchy R_p můžeme napsat:

$$I_{p \min} = \frac{0,7 \cdot U_f}{R_N + \frac{2 \cdot R_{I \text{ved}} + R_{O \text{ved}}}{3}} \quad [A]$$

kde $R_{I \text{ved}}$ R_1 nejdelšího připojeného vedení na odporník
 $R_{O \text{ved}}$ R_0 nejdelšího připojeného vedení na odporník
 R_N je odpor odporníku

Aby ochrana nepůsobila při zkratu mimo vlastní vedení, je zapotřebí splnit podmínku, aby nastavení na ochraně bylo větší než kapacitní proud vlastního vedení (aby nedocházelo k falešnému působení při poruše na jiném vedení):

$$I_r \geq \frac{k_b I_{c \text{ vlastní}}}{p_p} \quad [A]$$

kde $I_{c \text{ vlastní}}$ kapacitní proud vlastního vedení
 k_b koeficient bezpečnosti = 1,3
 p_p převod měřicích transformátorů proudu

K proudové a časové selektivitě ochran přistupujeme stejně jako k nastavení zkratových ochran. Pro průmyslové rozvody s točivými stroji vn se doporučuje, aby jmenovitý proud uzlového odporu byl alespoň desetinásobek rozběhové primární citlivosti ochran, což prakticky odpovídá požadavku chránit 90 % vinutí strojů spojených do hvězdy. Primární nastavení pro motory musí

odpovídat podmínce:

$$I_r \leq \frac{I_{RNjm}}{10 p_p \cdot k_c} \quad [A]$$

kde I_{RNjm} jmenovitý proud odporníku

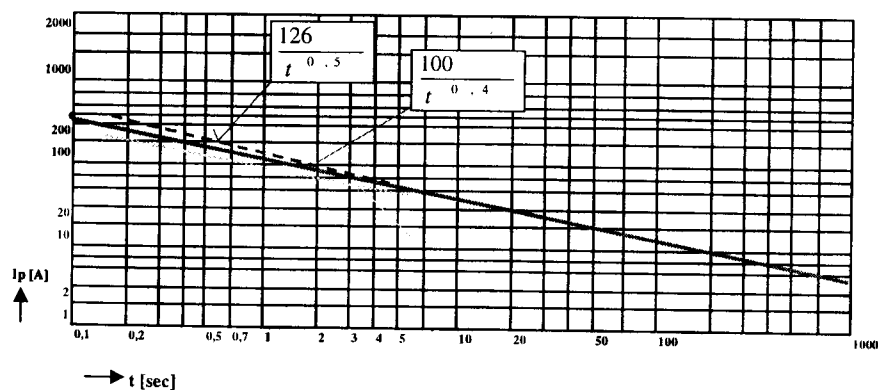
k_c koeficient citlivosti = 1,5

p_p převod měřících transformátorů proudu

$$I_{P-MAX} = \sqrt{I_{RNjm}^2 + I_{c-celkem}^2} \quad [A]$$

kde I_{P-MAX} poruchový proud

$I_{c-celkem}$ celkový kapacitní proud



Připustné trvání proudů zemních poruch v sítích s připojenými motory

Z grafu vyplývá, že při $I_p \max 100 A$ nesmí doba odepnutí zemní poruchy delší než 1 sec, jinak může dojít k neopravitelné poruše (vypálená díra ve satoru).

Příklad výpočtu:

celkový kapacitní proud sítě: $I_{Ccelk} = 200A$

použitý odporník typ: $I_{RN} = 200A$

$$R_N = 20\Omega$$

$$I_{C-VN001} = I_{C-kabelu} \cdot l_{kabelu} = 3,19 \cdot 2,5 = 7,97 \quad [A]$$

$$R_{VN001} = r \cdot l = 0,149 \cdot 2,5 = 0,372 \quad [\Omega]$$

$$I_{pmin} = \frac{0,7 \cdot U_f}{R_N + R_{C-VN001}} = \frac{0,7 \cdot 5,78 \cdot 10^3}{20 + 0,372} = 198,6 \quad [A]$$

Pro nastavení ochrany musí platit tyto dvě podmínky:

$$I_r \leq \frac{I_{pmin}}{p_p \cdot k_c} = \frac{198,6}{100 \cdot 1,2} = 1,65 \quad [A]$$

$$I_r \geq \frac{k_b \cdot I_{C-VN001}}{p_p} = \frac{1,3 \cdot 7,97}{100} = 0,1 \quad [A]$$

$$1,65A > I_r > 0,1 \quad [A]$$

$$I_{Nochrany} = 1A$$

$$\text{Nastavení ochrany: } I_r = 1,2 \quad I_{Nochrany} = 1,2 A \quad t = 0,2s$$

ad b) soustava izolovaná se používá především v průmyslových rozvodech, ale jedná se i o případy, kdy jsou venkovní nebo smíšené sítě provozovány bez zhášecí tlumivky (nebo je z nějakého důvodu zhášecí tlumivka vypnuta). Podle ČSN 33 3070 je nutné použít kompenzaci při proudech nad 20 A. Velikost kapacitních proudů je dána délkou a typem kabelů (kapacitní proudy byly v minulosti udávány výrobcí kabelů a normami ČSN udávány v A/km, dnes je kapacita kabelů udávána v $\mu\text{F/km}$).

U jednožilových kabelů záleží na jejich uložení (vedle sebe, nebo do trojúhelníka). Při zemním spojení nezáleží na místě poruchy. Například do místa poruchy ve fázi R tečou kapacitní proudy zdravých fází. Z tohoto předpokladu je nutné vycházet při výpočtu nastavení ochran. Je třeba vypočítat jaký I_0 můžeme předpokládat v místě poruchy a podle toho zvolit způsob měření.

Pokud bychom chtěli zvolit směrové měření musíme použít některou metodu s využitím měření $I_{\sin\theta}$ a rozhodli se pro nesměrové měření - můžeme použít nadproudový článek. U izolované sítě je předpoklad, že kapacitní proudy budou malé, proto použití směrového měření může být nepřesné. V těchto případech použijeme proudového kritéria. Základem celého nastavení je výpočet toků kapacitních proudů v jednotlivých vedeních při všech poruchových stavech a určení logiky působení. U izolovaných sítí zemní spojení většinou nevypínáme, jen signalizujeme. Návrh signalizace zemního spojení je nutné provést tak, aby bylo jasné na kterém vývodu je zemní spojení.

Velmi důležité je, jaké měřicí transformátory použijeme. Čím bude kvalitnější měření, tím bude lepší výsledek. V těchto případech je vhodné použít menší měřicí převody PTP (menší než 100/1). Pro vlastní nastavení ochrany potom platí stejný vzorec jako pro sítě nepřímou uzemněné rezistorem:

$$I_r \geq \frac{k_b I_{c_vlastní}}{p_p} \quad [\text{A}]$$

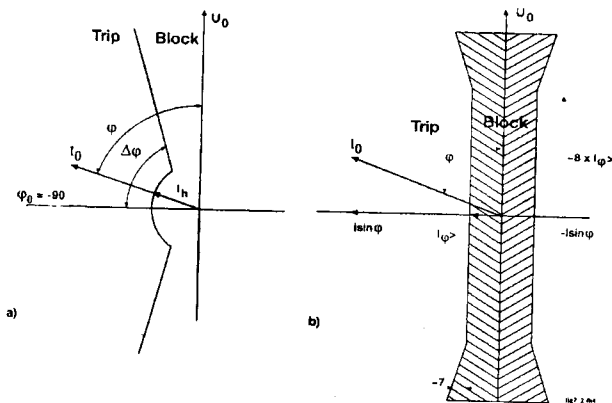
$$I_r \leq \frac{I_{p\min}}{k_c \cdot p_p} \quad [\text{A}]$$

kde

$I_{c_vlastní}$	kapacitní proud vlastního vedení
k_b	koeficient bezpečnosti = 1,3
p_p	převod měřicích transformátorů proudu
k_c	koeficient citlivosti = 1,5

Směrové nastavení ochran přináší ještě jeden problém. Směrovost se dá prokázat jen umělým zemním spojením v soustavě, což u starších kabelů s papírovou izolací není zrovna to nejlepší řešení. Druhá možnost je počkat do první poruchy a potom vyhodnotit působení všech směrových zemních ochran. Ty, které reagovaly opačně, je třeba přesměrovat.

Další možný způsob směrování zemních ochran je pomocí vnuceného kapacitního proudu pomocí kapacity, která se jednou připojí před průvlekový transformátor, podruhé za průvlekový transformátor. Způsob zkoušky zemních ochran závisí na rozhodnutí provozovatele a je ho nutné konzultovat už při návrhu ochran.



Charakteristika ochrany pro směrovou ochranu pro zemní poruchy v systémech s izolovaným uzlem a) fázový úhel měření, b) měření $I \sin \phi$

Příklad výpočtu:

Celkový kapacitní proud sítě: $I_{KAPcelk} = 60 \text{ A}$

Převod použitého PTP: 100/1

Nastavení: $I_0 \sin \phi$ (izolovaná soustava)

Kapacitní proud vedení VN 003: $I_{C-VN003} = I_{C \text{ kabelu}} \cdot l = 2,56 \cdot 1 = 1,56 \text{ [A]}$

$I_{N \text{ ochrany}} = 1 \text{ A}$

$$I_{\Sigma 1} = I_{KAPcelkovy} - I_{KAP-VN003} = 60 - 1,56 = 58,46 \text{ [A]}$$

Na ochraně nastavíme:

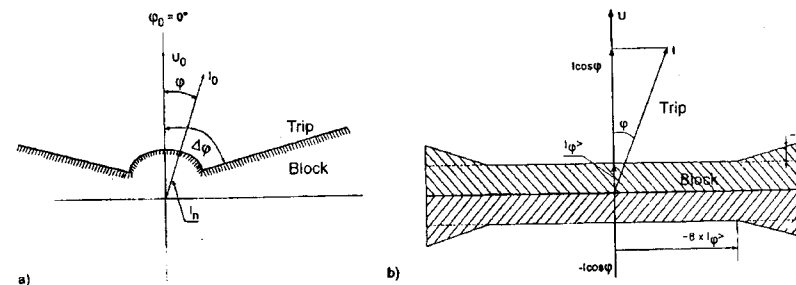
$$I_r \leq \frac{I_{\Sigma 1}}{k_c \cdot p_p} = \frac{58,46}{1,2 \cdot 100} = 0,47 \text{ [A]}$$

$$I_r \geq \frac{1,3 \cdot I_{KAP-VN003}}{p_p} = \frac{1,3 \cdot 2,56}{100} = 0,033 \text{ [A]}$$

nastavíme

$$I_r = 0,36 \text{ A} \quad I_{N \text{ ochrany}} = 0,36 \text{ A} \quad t = 0,5 \text{ s}$$

ad c) soustava nepřímou uzemněná pomocí zhášecí tlumivky je nejvíce používaný systém v energetice, ale i v průmyslových rozvodech. Výpočet nastavení ochrany není uveden v žádné literatuře, neexistuje tzv. „zaručený způsob výpočtu“. Závisí na zkušenosti výpočtáře. Proud vypočítáme nebo pro hrubý odhad odečteme z naladění zhášecí tlumivky. Je tady opět problém minimálního kapacitního proudu, který určíme ze zapojení soustavy. Musíme počítat s tím, že wattová složka kapacitního proudu je cca 5 % celkového proudu, který teče zhášecí tlumivkou. Tento proud se zvyšuje pomocí odporu připínanému k sekundárnímu vinutí zhášecí tlumivky. Tento odpor nám sice podstatně zvýší wattovou složku poruchového proudu, ale naopak nám klesne napětí U_0 . Problém je, že směrové zemní ochrany se směrují pomocí napětí U_0 .



Charakteristika ochrany pro směrové chránění pro zemní poruchy v systémech s kompenzovaným uzlem

a) měření fázového úhlu, b) měření $I \cos \phi$

Příklad výpočtu:

Celkový kapacitní proud sítě: $I_{KAPcelk} = 90 \text{ A}$

Je použita zhášecí tlumivka typ ZTC 1250, která je laditelná od 9A do 94A.

Převod použitého PTP: 100/1

Nastavení: $I_0 \cos \varphi$ (soustava nepřímo uzemněná přes tlumivku)

$$I_0 \cos \varphi = 5\% \text{ z } I_{KA\text{Pcelk}} \text{ tj. } 5\% \text{ z } 90\text{A} = 4,5 \text{ A}$$

$$I_{N \text{ ochrany}} = 0,2\text{A}$$

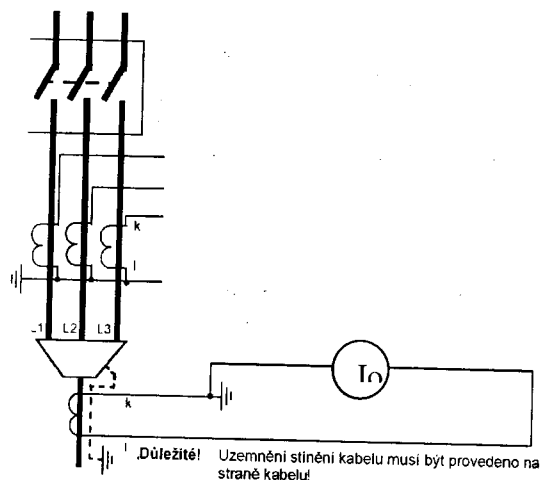
Na ochraně nastavíme:

$$I_r \leq \frac{I_0 \cos \varphi}{k_c \cdot p_p} = \frac{4,5}{1,2 \cdot 100} = 0,037\text{A} \cong 18\% [I_{N \text{ ochrany}}]$$

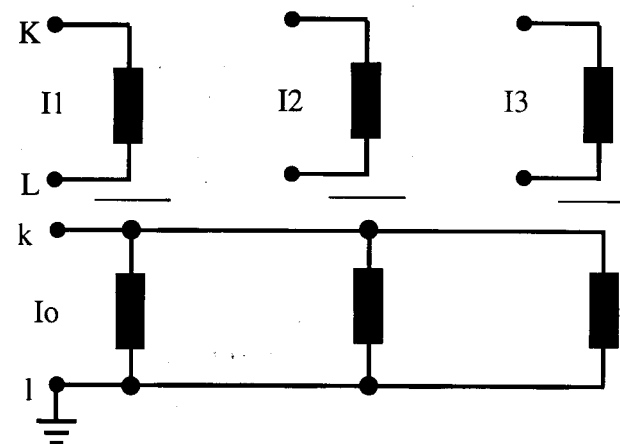
$$I_r = 0,18 I_{N \text{ ochrany}} \quad t = 0,5\text{s}$$

6.11. Zapojení měřících transformátorů pro měření I_0 a U_0

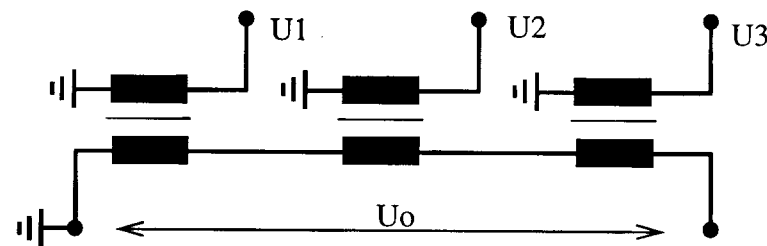
Průvlekový měřicí transformátor



Holmgreenovo zapojení měřících transformátorů pro měření I_0 :



Zemní napěťová ochrana na přípojnici rozvodny: po překročení nastavené hodnoty U_0 hlásí vznik zemního spojení na rozvodně. U_0 je měřeno z otevřeného trojúhelníku vinutí měřících transformátorů napětí.



Při vzniku kovového zemního spojení bude $U_0=100\text{V}$. Přepočteno na stranu VN, je to 100% fázového napětí. Toto napětí lze měřit i na tlumivce mezi uzlem vinutí transformátoru a zemí.

6.12. Plášťová ochrana kabelu

Plášťová ochrana kabelových vedení se používá především u kabelů vvn, ale jsou případy, kdy je vhodné použít plášťovou ochranu kabelu vn. Jedná se například o kabel, kterým je připojena Petrsenova cívka. Tato porucha nespadá do oblasti měření rozdílové ochrany transformátoru a je velmi špatně identifikovatelná. Tento typ chránění se dá použít i pro trojžilové kabely vn.

Uzemnění pláště kabelu vedeme přes průvlekový měnič, který je připojen na vstup proudové ochrany. Je třeba dát pozor na jedinou věc a to, aby proud procházející uzemněním při poruše kabelu vybavil ochranu. Je třeba sladit citlivost ochrany, převod průvlekového měniče proudu s velikostí poruchového proudu. Časové nastavení těchto ochran je co nejkratší, cca do 50 ms. Pro tento výpočet platí:

$$I_r \leq \frac{I_{p \min}}{k_c \cdot p_p} \quad [A]$$

kde

I_r	proud nastavený na ochraně
$I_{p \min}$	minimální poruchový proud
k_c	= 1,5 koeficient citlivosti
p_p	převod MTP

6.13. Chránění vedení vn z pohledu ČSN

Současně platná ČSN 33 3051 (1992) nahrazuje ČSN 33 3051 (1983), která nahradila část VI. ČSN 38 1009(1971).

ČSN 38 1009 (1971) se oproti ČSN 38 1009(1963) v pohledu na chránění vedení vn neliší. Podle této normy se vedení vn chrání:

- **paprsková vedení vn** – nadproudovou ochranou, popřípadě ještě mžikovou nadproudovou ochranou
- **okružní vedení vn** – nadproudovou směrovou nebo distanční ochranou
- **paralelní vedení nebo důležitá napájecí vedení vn** – distanční ochranou
- **krátká důležitá vedení s oboustranným napájením** – srovnávací ochranou se záložní nadproudovou ochranou
- **přívodní a odcházející vedení vn** – v malých a středních průmyslových rozvodnách se jistí vedení vn jen tehdy, když to požaduje řešení selektivity vypínání, ve velkých průmyslových rozvodnách se jistí ve 3 fázích proti zkratu, pro jištění přívodu vn pro blokové transformovny platí ČSN 38 3716.

ČSN 33 3051(1983), která nahradila ČSN 38 1009 část VI. (1971) říká, že vedení vn se chrání takto:

- **vedení v podružných rozvodnách** – nadproudovou zkratovou časově nezávislou ochranou
- **paprsková vedení vn** – nadproudovou zkratovou časově nezávislou ochranou, popřípadě ještě mžikovou nadproudovou ochranou
- **okružní a paralelní vedení vn** – nadproudovou směrovou časově nezávislou ochranou

- **krátká důležitá vedení s oboustranným napájením** – srovnávací ochranou se záložní nadproudovou ochranou popřípadě distanční ochranou
- **přívodní a odcházející vedení vn** – ve velkých průmyslových rozvodnách se jistí ve 3 fázích nadproudovou zkratovou ochranou.

Podle druhu uzemnění nuly transformátoru – zemní směrovou ochranou s činnou (kompenzovaná soustava) nebo jalovou složkou (izolovaná soustava), popřípadě nadproudovou zkratovou ochranou na I_0 (soustava s odporníkem).

ČSN 33 3051(1992), poslední platná norma říká, že vedení vn se chrání takto:

- **vedení v podružné elektrické stanici nebo průmyslové transformovně** – nadproudovou zkratovou mžikovou ochranou, doporučena je nadproudová časově závislá nebo nezávislá ochrana
- **paprskové vedení jednostranně napájené** – nadproudovou zkratovou mžikovou ochranou, doporučena je nadproudová časově závislá nebo nezávislá ochrana, pokud nelze vytvořit selektivitu nadproudovými ochranami, tak se použije distanční ochrana
- **vedení oboustranně napájené** – nadproudová směrová, případně distanční
- **paralelní vedení** – nadproudová směrová, popřípadě distanční
- **vedení se spojovací cestou pro srovnávací ochranu** - srovnávací ochrana společně s nadproudovou zkratovou časově nezávislou nebo závislou.

Všechna výše uvedená vedení je možno navíc chránit tepelnou ochranou proti přetížení v případech, kdy by bylo možné lepší využití vedení s proměnlivou zátěží.

Literatura:

Při citaci norem uvádím za číslem normy rok vydání a to z toho důvodu, že některé nové edice norem značně změnily pohled na chránění elektrických zařízení.

ČSN 33 0050 IEC 50(448) (1997) Mezinárodní elektrotechnický slovník
Kapitola 448 - Ochrany elektrizační soustavy

ČSN 33 2000 – 1 (2003) Elektrické instalace budov – Rozsah platnosti, účel a základní hlediska

ČSN 33 2000 – 4 – 41 (1996) Ochrana před úrazem elektrickým proudem

ČSN 33 2000 – 4 – 43 (1994) Ochrana proti nadproudům. čl. **431 až 434**

ČSN 33 2000 – 4 – 43 (2003) Ochrana proti nadproudům. čl. **431 až 434**

ČSN 33 2000 – 4 – 473 (1994) Opatření k ochraně proti nadproudům. čl. **473**

ČSN 33 2000 – 5 – 523 (1994) Dovolené proudy, čl. **523**

ČSN 33 2000 – 5 – 523 (2003) Dovolené proudy, čl. **523.1.1**

ČSN 33 3020 (1992) Výpočet poměrů při zkratech v trojfázové elektrizační soustavě

ČSN 33 3022 (2002) Zkratové proudy v třífázových střídavých soustavách

ČSN 33 2200 ČSN EN 60204-1 (2000) Elektrická zařízení strojů

ČSN 33 3040 (1990) Výpočet účinků zkratových proudů

ČSN 33 3051 (1992) Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení

ČSN 33 3070 (1981) Kompenzace kapacitních proudů v sítích vysokého napětí
čl. **2**

ČSN 34 1020 (1970) Předpisy pro dimenzování a jistění vodičů a kabelů

ČSN 34 1610 (1963) Elektrický silový rozvod v průmyslových rozvodnách

ČSN 34 7418 IEC 183+A1 (2001) Návod pro výběr vysokonapěťových kabelů

ČSN 38 1009 (1972) Měření, řízení, ochrany, automatika a sdělovací zařízení
v energetických výrobnách a rozvodu elektřiny, čl. **205 až 271**

ČSN 38 1120 (1994) Vlastní spotřeba tepelných elektráren a tepláren čl. 4 až 5
 PNE 38 4065 (2004) Provoz, navrhování a zkoušení ochrany a automatik
 Kabelové sítě vn s odporovým uzemněním uzlu. Směrnice ČEZ/SEP č.12. 1977
 Smíšené sítě vn s odporovým uzemněním uzlu. Směrnice ČEZ/SEP č.18. 1978
 Zkratové chránění kabelových sítí vn. Směrnice ČEZ/SEP č.13. 1978
 Lehtonen, M. - Hakola, T. - Neutral Earthing and Power System Protection. 1996
 Procházka, K. Vybrané problémy provozu distribučních sítí vn 1992
 Procházka, K. - Novák, J. - Křípský, A. - Ďuriš, I. Odporové uzemnění uzlu
 v sítích vn s přímo připojenými točivými stroji. Energetika, 1979. Č.12, s. 542 -
 547.

7. Chránění transformátorů vn

7.1. Poruchy transformátorů

Poruchy transformátorů dělíme do dvou skupin:

průchozí poruchy (nastávají vlivem připojených zařízení)

vnitřní poruchy (vznikají přímo na transformátoru)

Průchozí poruchy - působí většinou delší dobu a přitom způsobují zvýšení teploty. Existují dva typy:

- přetížení - poruchový stav měří nadproudová ochrana proti přetížení (závislá ochrana, tepelný obraz)
- vnější zkrat na připojeném objektu - poruchový stav měří nezávislá nadproudová ochrana

Vnitřní poruchy - člení se na dvě skupiny:

- objevující se náhle - zkraty na svorkách, zkraty na vinutí, zkraty mezi vinutími, zkraty vinutí na nádobu
- projevující se pozvolna - špatné galvanické styky, špatná izolace plechů, vznikající mikrooblouky v nádobě transformátoru, poruchy chlazení

Poruchy objevující se náhle zachycují ochrany: rozdílová, nádobová, nadproudová, srovnávací, distanční a plynové relé. Poruchy projevující se pozvolna může v počáteční fázi zachytit pouze plynové relé.

7.2. Ochrany transformátorů

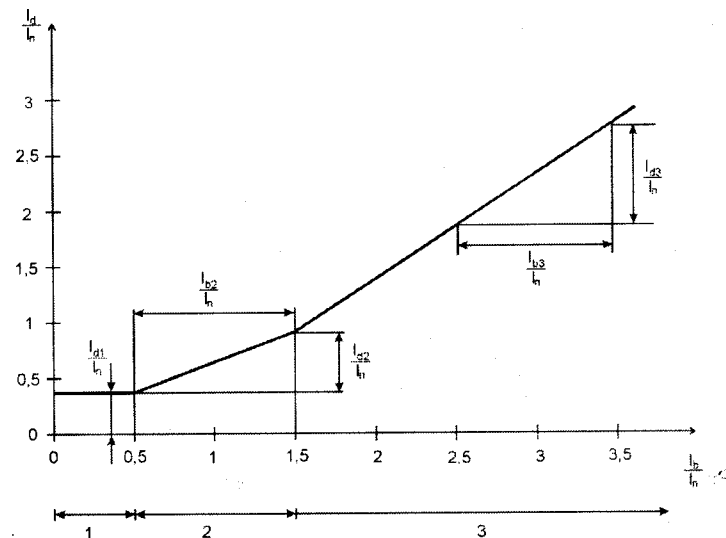
Rozdílová ochrana - rozdílové ochrany měří proud na obou koncích chráněného transformátoru. Z rozdílu těchto veličin rozpozná poruchu uvnitř chráněného objektu, a je-li tento proud větší než nastavený, odpojí transformátor na primární i sekundární straně. Pro normální provoz platí:

$$\Delta I = \left| \sum_{j=1}^K \overline{I_j} \right| = 0$$

ΔI – rozdílový proud získaný součtem všech porovnávaných proudů ze vstupu a výstupu chráněného objektu. U starších typů rozdílových ochran (u všech rozdílových ochran mimo digitálních), byl problém s převodem měřicích transformátorů proudu. U těchto ochran byla jejich citlivost značně ovlivněna vhodným výběrem měřicích transformátorů. Mimo vhodně zvoleného převodu je nutné, aby měřicí transformátory na primáru a sekundáru měly stejnou charakteristiku. Při nevhodně zvolených měřicích transformátorech proudu je nebezpečí, že při průchozích zkratech dojde k falešnému působení rozdílové ochrany (proto byl převod hlavních měřicích transformátorů upraven pomocí tzv. meziměničů). U moderních digitálních ochran problém nevhodného poměru měřicích transformátorů nehrozí, ale většina digitálních rozdílových ochran požaduje vyšší skutečné nadproudové číslo, než jiné ochrany.

Při zapnutí transformátoru vznikají velké proudové rázy, které dosahují 6 až 10 násobku I_n transformátoru (podle konstrukce transformátoru, podle použitých transformátorových plechů atd.). Zapínací náraz působí na rozdílovou ochranu jako vnitřní porucha. Pro zajištění selektivity musí být ochrana vybavena blokováním při zapínacím nárazu. To se dnes nejčastěji realizuje filtry na druhou harmonickou, která tvoří podstatnou složku průběhu magnetizačního zapínacího proudu. Při výskytu druhé harmonické se pomocí těchto filtrů zmenšuje citlivost

nebo blokuje ochrana. Rozdílových ochran je mnoho typů a každý výrobce má ve svém řešení své specifiky. Uvedu dva příklady řešení charakteristiky firmy ABB.

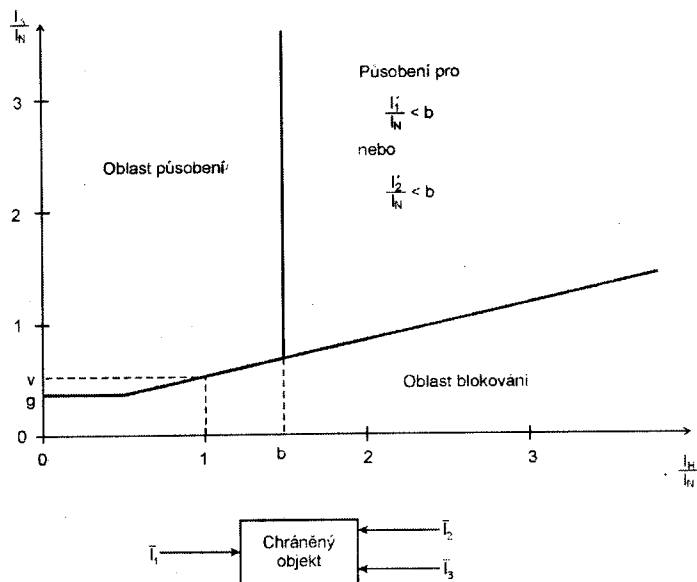


Provozní vypínací charakteristika stabilizovaného proudového diferenciálního stupně modulu diferenciální ochrany SPAD346 SPDC 3D53 určená pro dvouvínutový transformátor,

kde
$$I_d = \left| \overline{I_1} - \overline{I_2} \right|$$
 aktivační (diferenciální) proud

$$I_b = \frac{\left| \overline{I_1} - \overline{I_2} \right|}{2}$$

blokovací (stabilizační) proud



Provozní vypínací charakteristika stabilizovaného proudového diferenciálního stupně modulu diferenciální ochrany RET316 určené pro třívintový transformátor,

kde $I_\Delta = |\overline{I_1} + \overline{I_2} + \overline{I_3}|$ aktivační (diferenciální) proud

$$I_H = \begin{cases} \sqrt{I'_1 \cdot I'_2 \cdot \cos \alpha} & \text{pro } \cos \alpha \geq 0 \\ 0 & \text{pro } \cos \alpha < 0 \end{cases} \dots \text{blokovací (stabilizační) proud}$$

$$\overline{I'_1} = \text{nejvyšší z } \overline{I_1}; \overline{I_2}; \overline{I_3}$$

$$\overline{I'_2} = \overline{I_1} + \overline{I_2} + \overline{I_3} - \overline{I'_1}$$

$$\alpha = \angle(\overline{I'_1} - \overline{I'_2})$$

Ochrana přetížení transformátoru – jako ochrana přetížení transformátoru se dá použít teploměr sledující oteplení transformátoru, závislá nebo nezávislá proudová ochrana, sledující zatížení transformátoru.

Tepelná funkce – hlídá chráněný objekt proti nepovolenému nadměrnému oteplení, které je způsobeno vyšším proudem než je dovolené zatížení. Oteplení je modelováno na principu ovlivňování tepelného modelu chráněného objektu proudem, který tímto objektem protéká. Tato tepelná funkce může být na rozdíl od ochrany proti přetížení použita u strojů všech výkonů a jakékoli tepelné kapacity. Ochrana monitoruje oteplení, a ne absolutní teplotu. Okolní teplota, stejně jako účinnost chladicího systému, nikterak neovlivňují funkci ochrany.

Ochrana pracuje s tepelným modelem oteplení objektu. Nárůst oteplení z počáteční hodnoty na hodnotu konečnou je výsledkem změny proudu a závisí na jedné nebo na několika exponenciálních funkcích. Vliv jednotlivých materiálů na oteplení je definován jejich tepelnou odezvou. U výkonového transformátoru je množství těchto ovlivňujících funkcí reprezentováno např. chladicí vodou, olejem, materiálem vinutí atd. Jedna z těchto exponenciálních funkcí, např. transformátorový olej, se vždy uplatňuje výrazněji než ostatní funkce. Průběh oteplení modelovaného ochranou je definován následujícími faktory:

- konečnou hodnotou oteplení odpovídající danému proudu
- zvýšeným oteplením, které je způsobeno přechodovými funkcemi.

Proudová zkratová ochrana - jako zkratovou ochranu transformátoru lze použít trojfázovou zpožděnou nadproudovou ochranu. Pro zvýšení selektivity se tato ochrana, pokud je na primární straně, někdy doplňuje podpětovým blokováním ze sekundární strany. Velmi často se používá směrová zkratová ochrana, a to tam, kde jsou na sekundární stranu transformátoru připojeny významné zdroje zkratových příspěvků.

Srovnávací ochrana - jako ochrana transformátoru se používá výjimečně, avšak jako společná ochrana transformátoru a vedení (volné nebo kabelové) je vhodná. Musí být necitlivá na zapínací náraz, její působení se blokuje frekvenční ochranou, která vyhodnotí, zda jde o zapínací ráz nebo o zkrat.

Plynové relé - používá se pro ochranu transformátorů s olejovým chlazením. Umísťuje se do potrubí mezi víko transformátoru a konzervátor. Zpravidla se používá dvoustupňové provedení (1. stupeň signalizuje, 2. stupeň vypíná). Plynové relé reaguje na vývin plynů v oleji vlivem tepla oblouku nebo ohřátím některého vodiče nad přípustnou mez. Z oleje se ohřevem uvolňuje vodík, metan, kyslík uhelnatý, kyslík uhličitý, dusík a další plyny. Při vnitřních zkratech proudí z nádoby transformátoru do kondenzátoru také olej (vlivem velkého vývinu tepla), toho se využívá u plynových relé s klapkou.

Nádobová (kostrová) ochrana - tato ochrana se používá u transformátorů s účinně uzemněným uzlem vinutí. Působí při přeskoku na průchodkách nebo jiném zkratu či zemním spojení, při kterém prochází zemní proud kostrou transformátoru. Při instalaci této ochrany se chráněný transformátor umístí na izolované kolejnici. Na propojení kostry transformátoru se zemí je umístěn přístrojový transformátor proudu, na jehož sekundární vinutí je připojena

proudová ochrana. Aby ochrana nepůsobila chybně při zkratech v pomocných obvodech (ventilátor, regulace, osvětlení), je nutné přívody k těmto zařízením protáhnout průvlekovým přístrojovým transformátorem proudu. Chybné působení ochrany může způsobit také malý izolační odpor nádoby vůči zemi.

7.3. Chránění transformátorů vn z pohledu ČSN

Současné platná ČSN 33 3051 (1992) nahrazuje ČSN 33 3051 (1983), která nahradila část VI. ČSN 38 1009(1971). Všechny výše uvedené normy nedělají rozdíl mezi chráněním suchých a olejových transformátorů z pohledu ochrany (netýká se plynového relé). Ochrany transformátorů se řídily ještě jednou normou, a to normou OEG 38 3011(1966). Tato norma byla používána v energetice.

OEG 38 3011(1966) - norma uvádí, že transformátory 110 kV, důležité transformátory ve vlastní spotřebě a u důležitých transformátorů vn/nn, se ochrana před přetížením nastavuje na hodnotu 1,25 jmenovitého proudu a čas 10 a 12 vteřin, a sice jen na signál (postačí v jedné fázi). Při signalizaci musí obsluha zajistit odlehčení transformátoru. Ochrana před zkraty, kterou tvoří kombinace 3 nadproudových relé a relé na podpětí, se nastavuje na proudový popud 1,4 až 1,6 jmenovitého proudu transformátoru, relé na podpětí na 0,7 jmenovitého napětí a čas podle vypínacího plánu (asi 5 vteřin). Blokované transformátory se chrání selektivně s ohledem na nastavení generátoru. Zatížitelnost transformátoru, tato hodnota spolu s dobou trvání je dána provozními podmínkami, umístěním transformátoru a normou ČSN 351106.

ČSN 38 1009(1971) se oproti starší ČSN 38 1009(1963) v pohledu na chránění transformátorů vn neliší. Podle této normy se transformátory vn chrání:

- *transformátory do výkonu 1 MVA* – pojistkami
- *transformátory od 1 MVA do 5 MVA* – nadproudovou ochranou na primáru, na sekundáru tepelným a zkratovým článkem, plynovým relé, rozdílovou ochranou v případě nutnosti rychlého odepnutí
- *transformátory nad 5 MVA* – nadproudovou ochranou na primáru, ochranou termokopie po dohodě s výrobcem, rozdílovou ochranou v případě nutnosti rychlého vypnutí a u transformátorů nad 63 MVA, zemní nádobovou ochranou tehdy, kdy tato nahrazuje rozdílovou ochranou.

Rozdílovou ochranu lze nahradit při větší vzdálenosti transformátoru od rozvodny fázovou srovnávací ochranou, doplněnou blokováním na magnetizační náraz transformátoru.

ČSN 33 3051(1983), podle této normy se transformátory vn chrání:

- *transformátory do 1,6 MVA* - nadproudovou ochranou nebo pojistkou
- *transformátory od 1,6 MVA do 5 MVA* - nadproudovou ochranou na primáru, plynovým relé, rozdílovou ochranou v případě nutnosti rychlého vypnutí
- *transformátory nad 5 MVA* - nadproudovou ochranou na primáru, plynovým relé, rozdílovou ochranou od výkonu 25 MVA - nemusí být použita u transformátorů do 40 MVA včetně - pokud je použita

nádobová ochrana a nadproudová zkratová ochrana na primáru, termokopii po dohodě s výrobcem.

U transformátorů s terciálním vinutím musí být každý vývod na sekundární straně vybaven zkratovou ochranou s podpětovým blokováním a návěští na přetížení.

Nadproudová zkratová ochrana nesmí být realizována pojistkou u transformátorů nad 1,6 MVA.

ČSN 33 3051(1992) + Změna Z1(2000), podle této normy se chrání transformátory vn:

- *transformátory do 1,7 MVA* – nadproudovou zkratovou ochranou na primární straně nebo impedanční, pokud to situace vyžaduje, nadproudovou zkratovou na sekundární (terciální) straně
- *transformátory od 1,7 MVA do 5 MVA* – nadproudovou a nadproudovou zkratovou ochranou na primární straně nebo impedanční, pokud to situace vyžaduje, nadproudovou zkratovou na sekundární (terciální) straně, plynovou, popřípadě rozdílovou, pokud to situace vyžaduje
- *transformátory od 5 MVA do 25 MVA* – nadproudovou a nadproudovou zkratovou ochranou na primární straně nebo impedanční, pokud to situace vyžaduje, nadproudovou zkratovou na sekundární (terciální) straně, plynovou, popřípadě rozdílovou, pokud to situace vyžaduje, nádobovou ochranou u transformátorů s účinně uzemněným uzlem
- *transformátory od 25 MVA výše* – nadproudovou a nadproudovou zkratovou ochranou na primární straně nebo impedanční, pokud to

situace vyžaduje, nadproudovou zkratovou na sekundární (terciální) straně, plynovou, popřípadě rozdílovou, pokud to situace vyžaduje, nádobovou ochranou u transformátorů s účinně uzemněným uzlem, po dohodě s výrobcem tepelnou ochranou.

Z výše uvedeného rozkladu současných i minulých norem je vidět, jak se pohled na chránění velkých transformátorů (nad 25 MVA) lišil.

7.4. Zatěžování olejových transformátorů řeší ČSN 35 1106 IEC354 (1997) Pokyny pro zatěžování olejových výkonových transformátorů

Norma rozlišuje několik typů zatížení:

- a) rovnoměrné zatížení
- b) cyklické zatížení (normální a dlouhodobé)
- c) krátkodobé nouzové zatížení

Norma ČSN 35 1106 dělí transformátory na:

Distribuční transformátory – jsou to transformátory s výkonem do 2,5 MVA a s maximálním jmenovitým napětím 33 kV na primární straně.

Transformátory středního výkonu – jsou to transformátory s výkonem nad 2,5 MVA do 100 MVA.

Transformátory velkého výkonu – jsou to transformátory s výkonem nad 100 MVA.

Proudová a teplotní omezení při zatíženích větších než je štítkové zatížení. jsou uvedena v Tabulce 1. Jsou to hodnoty, které se nedoporučuje překročit (čl.1.5.2 a čl.1.6.2). V čl.1.6.4 se uvádí, že při zatíženích větších než jsou štítkové hodnoty nebo bezprostředně po nich, nesmí trvání zkratu překročit 2 sec. Pro nastavení ochran výkonových olejových transformátorů je důležitá informace o krátkodobém přetížení uvedena v obr. E.1b. Z grafu se dají odvodit tyto hodnoty:

- a) pokud předcházející trvalé zatížení transformátoru bylo 75%, můžeme transformátor přetěžovat takto:

při přetížení 1,3 In120 minut

1,35 In90 minut

1,4 In 60 minut

1,55 In30 minut

- b) pokud předcházející trvalé zatížení transformátoru bylo 100 %, můžeme transformátor přetěžovat takto:

při přetížení 1,2 In120 minut

1,22 In90 minut

1,25 In60 minut

1,3 In30 minut

Toto platí pro transformátory vyrobené podle norem IEC, pro starší transformátory bychom měli respektovat normy z doby, kdy byly transformátory vyrobeny. Např. ČSN 35 1106 (1997), popřípadě starší ČSN. Pro přetěžování transformátorů je směrodatná teplota oleje, kterou měříme teploměrem.

Překročení dovolené teploty by mělo být signalizováno obsluze, pro možnost odlehčení zatížení transformátoru. Pokud je rozvodny bezobslužná, měl by teploměr odepnout transformátor od zátěže.

7.5. Zatěžování suchých transformátorů řeší

ČSN 35 1105 IEC905 (1991) Návod na zatěžování výkonových transformátorů

Zatěžování suchých transformátorů se značně liší od zatěžování transformátorů olejových. Z normy ČSN 35 1105 se toho moc nedozvíme, je koncipována spíše pro výrobce. Snaha je, aby pro každý jednotlivý transformátor, do každého jednotlivého prostředí, byla vytvořena zatěžovací tabulka. Znamená to, že ke každému transformátoru musíme přistupovat individuálně. Velikost dovoleného přetížení můžeme určit jen na základě doporučení výrobce.

Jednotlivé typy suchých transformátorů se od sebe velmi liší! Liší se od sebe výkonem, konstrukcí (největší suchý transformátor ABB měl 24 MVA), ofukováním, větracími kanálky, izolací vodičů. Navíc zatěžování suchých transformátorů je značně ovlivněno teplotou okolí. Jediné pravidlo, které obecně platí pro suché transformátory je, že pokud trvalé zatížení transformátoru je mezi 95 až 100 % zatížení, můžeme si dovolit krátkodobé přetížení v časovém limitu sekund, ne minut nebo hodin, jak je tomu u olejových transformátorů. Pokud je trvalé zatížení na hranici 80% jmenovitého výkonu transformátoru, můžeme použít tento příklad:

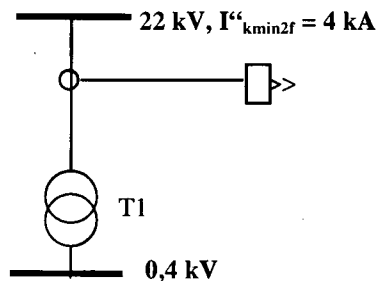
při přetížení	1,2 In	30 minut
	1,3 In	21 minut
	1,4 In	16 minut
	1,5 In	13 minut

Tyto údaje jsou pouze informativní – platí jen pro transformátor typu RESIBLOC fy.ABB, 8 MVA 35/6,3 kV při okolní teplotě 40 °C, dovolené maximální oteplení vinutí 140°C. Je nutné si uvědomit, že i transformátory stejného výrobce, ale jiného výkonu, mohou mít rozdílnou konstrukci a tím i jiné dovolené přetížení.

Specifika chránění suchých transformátorů:

Problém chránění suchých transformátorů je v jejich konstrukci. Existují poruchy transformátorů, které jsou velmi špatně rozpoznatelné. Jedná se o mezizávitové zkraty. Zatímco u olejových transformátorů nás na ně upozorní signalizace plynového relé, u suchých transformátorů nás na tuto poruchu neupozorní nic. Okolí poruchy se začíná ohřívat a pokud zrovna v tom místě není měření teploty, dojde k postupné tepelné degradaci vinutí a následné poruše. Jediný lék na tuto poruchu je pořídit si transformátor s takovou izolací, kde je tato porucha velmi nepravděpodobná (izolace z pryskyřice a skelných vláken, speciální typy vinutí, vylučující mezizávitové výboje atd.). Tento případ je dost specifický a týká se transformátorů s velkým převodem, např. 22/0,4 kV.

Uvedu příklad: transformátor T1 - 22/0,4 kV, 1 MVA, $u_k = 6\%$



reaktance soustavy

$$x_s = \frac{c \cdot U_{nzkratu}}{\sqrt{3} \cdot I''_{kmin2f}} = \frac{1 \cdot 22}{\sqrt{3} \cdot 4} = 3,17919 \quad [\Omega]$$

budeme předpokládat, že mezifázová porucha je ve vinutí 400 V v cca $0,8 x_{trafa}$

reaktance transformátoru

$$0,8x_T = \frac{u_k \cdot U_{nT}}{100 \cdot S_{nT}} = \frac{6 \cdot 22}{100 \cdot 1} \cdot 0,8 = 23,232 \quad [\Omega]$$

celková reaktance

$$x_C = x_s + 0,8x_T = 3,17 + 23,23 = 26,4 \quad [\Omega]$$

odpor poruchy - budeme předpokládat, že je 1Ω na napětí 400 V, přepočítaný na napětí 22 kV bude

$$r_{22} = r_{0,4} \left[\frac{U_{n2}}{U_{n1}} \right]^2 = 1 \left[\frac{22}{0,4} \right]^2 = 3025 \quad [\Omega]$$

celková impedance

$$z = \sqrt{r_{22}^2 + jx_C^2} = \sqrt{3025^2 + 26,4^2} = 3025,115 \quad [\Omega]$$

zkratový proud, který měří zkratová ochrana $I_{>>}$

$$I''_{kmin2f} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot z} = \frac{1 \cdot 22000}{\sqrt{3} \cdot 3025,115} = 4,2 \quad [A]$$

Tento proud bude měřit ochrana na primární straně transformátoru při odporovém oblouku 1Ω v sekundárním vinutí transformátoru (odpor oblouku bude určitě vyšší). Přitom I_n transformátoru T1 = 26 A, to znamená, že měřený obloukový zkrat je pod hranicí I_n transformátoru T1.

7.6. Výpočet nastavení transformátorů

7.6.1. Výpočet nastavení transformátorů podle PNE 38 4065

Nadproudová ochrana pro transformátory

$$I_r \geq \frac{k_b \cdot I_{N-TRAFA}}{k_p \cdot p_p} \quad [A]$$

I_r	nastavení na ochraně
k_b	koefficient bezpečnosti – 1,1 – 1,35
k_p	přídržný poměr ochrany
p_p	převod měřících transformátorů

Zkratová ochrana pro transformátory

$$I_r \leq \frac{I_{k \min 2f}}{k_c \cdot p_p} \quad [\text{A}]$$

- I_r nastavení na ochraně
 k_c koeficient citlivosti – 1,5
 p_p převod měřících transformátorů

Nádobová ochrana pro transformátory

$$I_r > 3k_b \frac{I_{0-\min}}{p_p} \quad [\text{A}]$$

- I_r nastavení na ochraně
 k_b koeficient bezpečnosti – 1,3
 p_p převod měřících transformátorů
 $I_{0-\min}$ nejmenší proud nulové složky v uzemněné síti při zkratu mezi vinutím a nádobou transformátoru

7.6.2. Příklady výpočtů nastavení transformátorů**Transformátor 10/0,4kV, 1MVA, 57.8/1445A****strana 10 kV:**

Třífázová nesměrová nadproudová I> - funkce chrání transformátor proti přetížení – $I_{N\text{TRAFA}}$ – nezávislá funkce

Přetížení I>, $I_{N\text{TRAFA}} = 57,6\text{A}$, převod PTP 60/1

$$I_r \geq \frac{k_b \cdot I_{N\text{TRAFA}}}{k_p \cdot p_i} = \frac{1,2 \cdot 57,6}{0,95 \cdot 60} = 1,214 \quad [\text{In ochrany}] \quad t = 0,4\text{s}$$

Třífázová nesměrová nadproudová I>> - funkce vypíná zkraty, zálohuje ochranu sekundáru - nastavená na průchozí zkrat $I''_{k\min 2f}$

Zkrat I>> : $I''_{k\min 2f} = 769\text{A}$, převod PTP 60/1

$$I_r \leq \frac{I''_{k \min 2f}}{k_c \cdot p_p} = \frac{769}{1,5 \cdot 60} = 10,68 \quad [\text{In ochrany}] \quad t = 0,1\text{s}$$

Transformátor 22/6.3kV, 8MVA, 210/734A**strana 22 kV:**

Třífázová nesměrová nadproudová I> - funkce chrání transformátor proti přetížení – I_N – závislá funkce

Přetížení I>: $I_{N\text{TRAFA}} = 210\text{A}$, převod PTP 200/1

$$I_r \geq \frac{k_b \cdot I_{N\text{TRAFA}}}{k_p \cdot p_i} = \frac{1,2 \cdot 210}{0,95 \cdot 200} = 1,32 \quad [\text{In ochrany}]$$

IDMT – dlouhodobě závislá charakteristika $k = 0,2$

Třífázová nesměrová nadproudová I> - funkce signalizuje přetížení transformátoru – 105%I_N – nezávislá funkce

Signalizace přetížení I>> : 105%I_{N-TRAFA} = 220,5A, převod PTP 200/1

$$I_r \geq \frac{105\% I_{N-TRAFA}}{p_p} = \frac{220,5}{200} = 1,1 \cdot [In_{ochrany}] \quad t = 6s$$

Třífázová nesměrová nadproudová I>> - funkce vypíná zkraty, zálohuje rozdílovou ochranu a ochrany na straně sekundáru, nastavená na průchozí zkrat I_{kmin2f}

Zkratová ochrana I>>> : I_{kmin2f} = 1927, 8A, převod PTP 200/1

$$I_r \leq \frac{I_{kmin2f}''}{k_c \cdot p_p} = \frac{1927,8}{1,5 \cdot 200} = 6,43 \cdot [In_{ochrany}] \quad t = 0,6s$$

strana 6 kV:

Třífázová nesměrová nadproudová I>> - funkce vypíná zkraty – zálohuje ochrany na straně přípojnice 6 kV, nastavená na hodnotu minimálního zkratu na přípojnici 6 kV I_{kmin2f}

Zkratová ochrana I>>> : I_{kmin2f} = 7055,7A, převod PTP 750/1

$$I_r \leq \frac{I_{kmin2f}''}{k_c \cdot p_p} = \frac{7055,7}{1,5 \cdot 750} = 6,27 \cdot [In_{ochrany}] \quad t = 0,4s$$

Transformátor 110/10kV, 25MVA, 131/1374A

strana 110 kV:

Třífázová nesměrová nadproudová I> - funkce chrání transformátor proti přetížení – I_N

Přetížení I> : 1,1I_{N-TRAFA} = 144, 1A, převod PTP 150/1

$$I_r \geq \frac{k_b \cdot I_{N-TRAFA}}{k_p \cdot p_p} = \frac{1,2 \cdot 144,1}{0,95 \cdot 150} = 1,213 [In_{ochrany}]$$

IDMT – dlouhodobě závislá charakteristika k = 0,5

Třífázová nesměrová nadproudová I>> - funkce vypíná zkraty – zálohuje rozdílovou ochranu a ochrany na straně sekundáru, nastavená na průchozí zkrat I_{kmin}

Zkrat I>> : I_{kmin2f} = 895, 5 A, převod PTP 150/1

$$I_r \leq \frac{I_{kmin2f}''}{k_c \cdot p_p} = \frac{895,5}{1,5 \cdot 150} = 3,98 [In_{ochrany}] \quad t = 1,5s$$

strana 10 kV:

Ochrana proti třífázovému tepelnému přetížení transformátoru I_{th} >

Tepelné přetížení : I_{N-TRAFA} = 1374 A, převod PTP 1500/1

$$I_r \geq \frac{k_b \cdot I_{N-TRAFA}}{k_p \cdot p_p} = \frac{1,2 \cdot 1374}{0,95 \cdot 1500} = 1,157 [In_{ochrany}]$$

tepelný modul

Třífázová nesměrová nadproudová I>> - funkce působí jako signál o přetížení transformátoru – 105 % I_N

Signál o přetížení: $105\%I_{N-TRAFA} = 1442,7 \text{ A}$, převod PTP 1500/1

$$I_r \geq \frac{105\%I_{N-TRAFA}}{p_p} = \frac{1442,7}{1500} = 0,96 \cdot [\text{In}_{ochrany}] \quad t = 6 \text{ s}$$

Třífázová nesměrová nadproudová I>>> - slouží k zálohování ochran vývodů

Zkrat: $I''_{kmin2f} = 9853,6 \text{ A}$, převod PTP 1500/1

$$I_r \leq \frac{I''_{kmin2f}}{k_c \cdot p_p} = \frac{9853,6}{1,5 \cdot 1500} = 4,38 \dots [\text{In}_{ochrany}] \quad t = 1,2 \text{ s}$$

Třífázová přepět'ová 3U> - signalizuje a odepíná přívod na rozvodnu při přepětí - U_N

Přepětí U>

$$U_r = 1,2U_n \quad t = 0,1 \text{ s}$$

Signál o přepětí

Přepětí U>>

$$U_r = 1,3U_n \quad t = 1 \text{ s}$$

Vypíná

Třífázová podpět'ová 3U< - Signalizuje a odepíná přívod na rozvodnu při podpětí :- U_N

Podpětí U<

$$U_r = 0,8U_n \quad t = 0,1 \text{ s}$$

Signál o podpětí

Podpětí U<<

$$U_r = 0,6U_n \quad t = 1 \text{ s}$$

Vypíná

Chránění odpor'níku - odpor'ník je nutné jako každé elektrické zařízení chránit před účinky oteplení. Uzlový odpor'ník chráníme nadproudovou ochranou. Při nastavování ochrany se vychází ze štítkových hodnot odpor'níku. Druhý stupeň ochrany je nastavený na trvale dovolený proud odpor'níku, po překročení tohoto proudu pouze signalizuje vznik zemního zkratu. První stupeň je nastaven na maximální povolený proud odpor'níku, který je nutné vypnout do určitého času, tak aby nedošlo k jeho poškození. U tohoto stupně použijeme časově závislou charakteristiku nebo tepelný model. Pokud je odpor'ník umístěn v kovové skříni, musíme navíc použít kostrovou ochranu.

Nastavení ochran odpor'níku

Štítkové údaje odpor'níku:

$$I_{NRN} = 200 \text{ A} \quad \text{po dobu max. 3s}$$

$$I_{NRN} = 20 \text{ A} \quad \text{trvale}$$

PTP: 50/5

Nadproudový stupeň I> : $I_{NRN} = 20 \text{ A}$ - povel k vypnutí

$$I_r \geq \frac{I_{NRN}}{k_c \cdot p_p} = \frac{20}{1,2 \cdot 10} = 1,33 \dots [\text{In}_{ochrany}]$$

IDMT dlouhodobě závislá charakteristika $k = 0,2$ charakteristika musí reprezentovat maximální zatížení $200 \text{ A} - 3 \text{ sec}$.

Nadproudový stupeň I>> : $I_{NRN} = 20 \text{ A}$ - signalizace zemního zkratu

$$I_r \geq \frac{I_{NRN}}{k_c \cdot p_p} = \frac{20}{1,2 \cdot 10} = 1,33 \cdot [\text{In}_{ochrany}] \quad t = 0,5 \text{ s}$$

Literatura:

ČSN 33 0050 IEC 50(448) (1997) Mezinárodní elektrotechnický slovník
Kapitola 448 - Ochrany elektrizační soustavy

ČSN 33 2000 – 1 (2003) Elektrické instalace budov – Rozsah platnosti, účel
a základní hlediska

ČSN 33 2200 ČSN EN 60204-1 (2000) Elektrická zařízení strojů

ČSN 33 3051 (1992) Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení

ČSN 35 1100 (1980) Výkonové transformátory

ČSN 35 1105 (1976) Zařizitelnost suchých výkonových transformátorů

ČSN 35 1105 (1989) Návod na zaťažovanie suchých výkonových
transformátorů

ČSN 35 1106 (1976) Zatížitelnost olejových výkonových transformátorů

ČSN 35 1106 (1997) Pokyny pro zatěžování olejových výkonových
transformátorů

ČSN 35 1110 (1981) Trojfázové suché výkonové transformátory

ČSN 35 1120 (1976) Trojfázové olejové výkonové transformátory

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 ochrany a automatik

Dohnálek, P.: Ochrany transformátorů. p.52 – 62, Technika ochrany 2. Vydala fy

Dohnálek – bez datace

8. 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 přídatným 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 ochrany. 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.

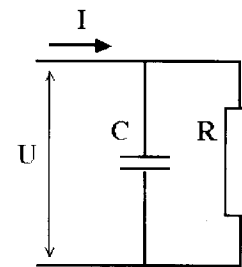
8.1. Tepelný model

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 trvalé 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 %.

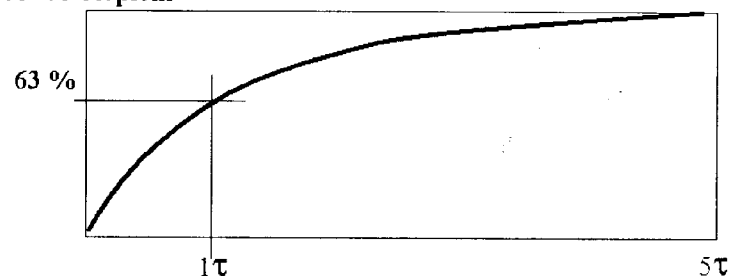
Je třeba poznamenat, že určitou rezervu si nechávají už výrobci motorů. Zatímco dříve se používaly pro izolaci vinutí materiály třídy B s maximální teplotou 130° C, dnes je zcela běžné použití materiálů třídy F s teplotou 155° C. V popisu motoru se pak objeví poznámka: Izolační systém vinutí odpovídá 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 jednotělesovou soustavu. Elektricky si ho můžeme představit následovně.



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.

100 % oteplení



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

Pro rozběh je typický proud 6 In (4-7 In 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 statorovém vinutí, musí nejdříve prostoupit izolací, ohřát železo statoru, 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.

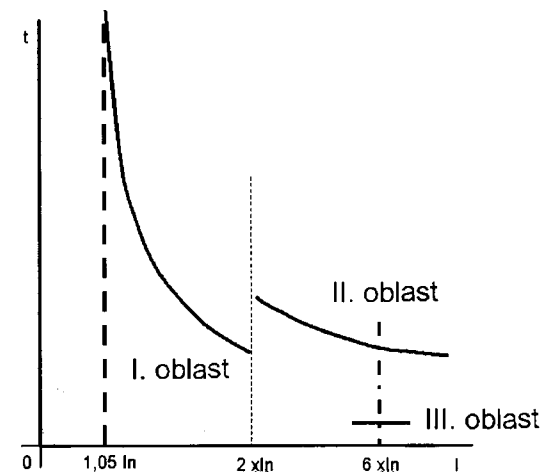
Při rozběhu, hlavně v jeho první části dochází v rotorových tyčích ke skinefektu, proud je vytlačován na povrch tyčí, a tím se snižuje účinný průřez vodiče. To představuje další ztráty a další zvyšování teploty rotorových tyčí. Rozběh motoru, hlavně těžký rozběh, se velmi významně projevuje na celkovém 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.

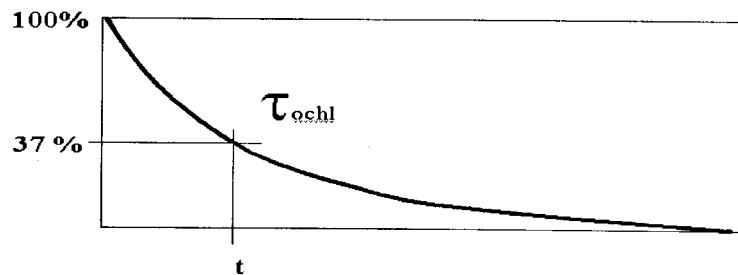
Navrhnout dokonalý model pro chránění motorů, který by zohlednil všechny vztahy, by byl příliš složitý, proto jednotliví výrobci ochran používají některá zjednodušení tak, aby vyhověli požadavkům na chránění.

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.



$t = \tau_{ochl}$ 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:

$$t = \tau_n \frac{\left(\frac{I}{I_{Mn}} \right)^2 - \frac{\vartheta_p - \vartheta_u}{\vartheta_{Mn} - \vartheta_u}}{\left(\frac{I}{I_{Mn}} \right)^2 - \frac{\vartheta^* - \vartheta_u}{\vartheta_{Mn} - \vartheta_u}}$$

kde je:

τ ... zvolená časová konstanta

I ... skutečný proud motoru

I_{Mn} ... jmenovitý proud motoru

ϑ_p ... teplota z předchozího stavu

ϑ_u ... teplota okolí

ϑ_{Mn} ... jmenovitá teplota

ϑ^* ... vypínací teplota

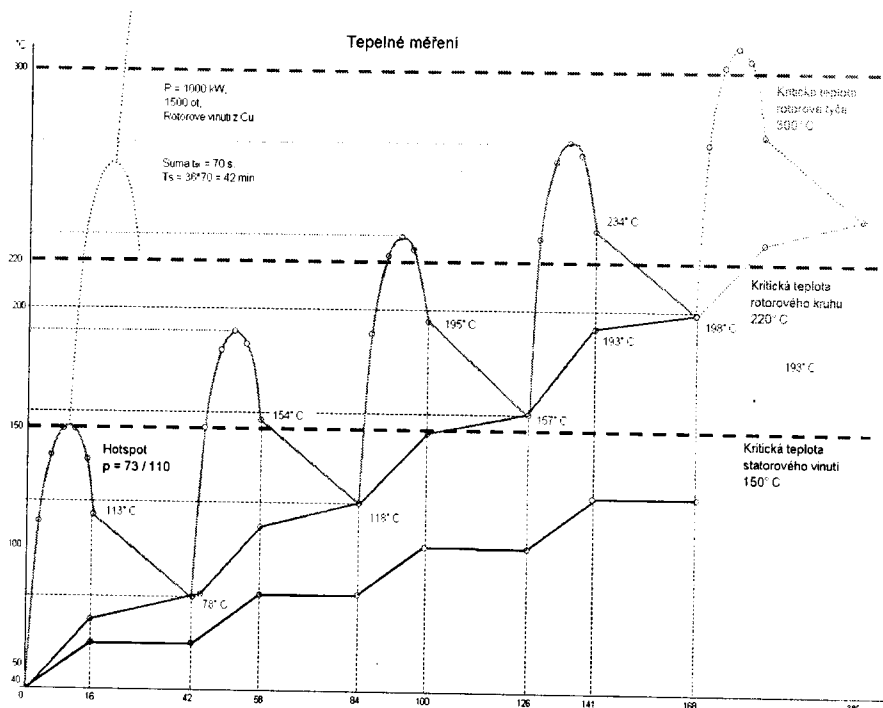
Řešení s využitím teorie horké skvrny:

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 blízkou 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 vyrovnaní teplot mezi tyčemi a železem rotoru. Modelování tohoto průběhu na počítači ukazuje další obrázek.

Opakované starty 16 s dlouhé, ze studeného stavu vždy s přestávkou 26 s.



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 $6 I_n$.

Přepočet na časovou konstantu je následující:

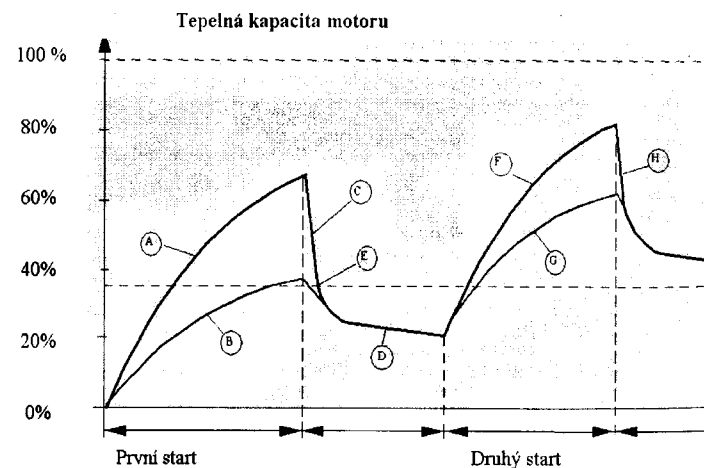
t_{6x} se udává v sekundách, τ vychází v minutách

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

Doba do vypnutí t se vypočítá podle následujícího vztahu:

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

- 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 $I_t = 1.05 \times I_\Theta$



Ukázka jak pracuje tento model při dvou startech motoru po sobě:

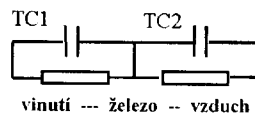
horní křivka platí pro parametr $p = 50\%$ (s poklesem na 50% z přírůstku)

spodní křivka pro parametr $p = 100\%$ (bez poklesu)

Výsledek se dobře shoduje s vypočteným průběhem teploty rotorových tyčí.

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:

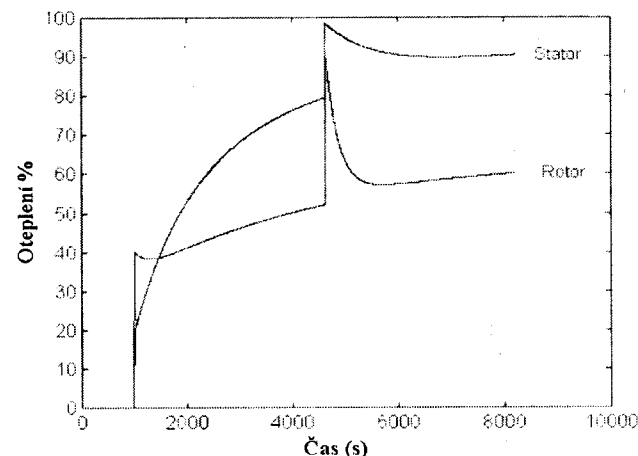


Model počítá oteplení podle následujícího vztahu:

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

- $\Delta\Theta$ 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.



Ukázka průběhu oteplení rotoru a statoru během opakovaných startů

8.2. Ochrana rozběhu

Funkce podle číselného značení ANSI: 51 nadproudová ochrana časově zpožděná

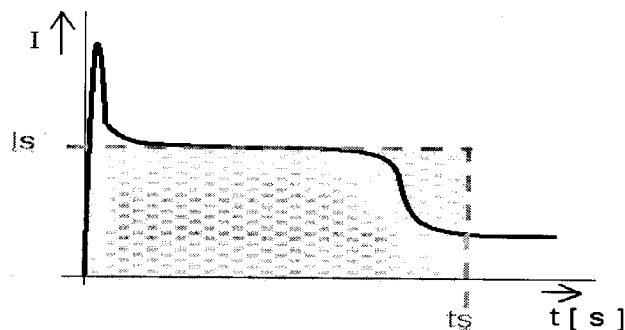
Chrání motor během rozběhu a bývá kombinována s ochranou při zablokovaném rotoru a s ochranou, která počítá opakované starty.

Pro rozběh motoru s kotvou nakrátko je typický následující průběh. Startovací proud skokem vystoupí na hodnotu $6 I_n$ motoru a trvá po celou dobu

rozběhu. Při dosažení jmenovitých otáček motoru proud prudce klesne a dále se mění podle skutečné zátěže motoru.

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 $I^2 t$. Ta vypočítává tepelné namáhání během rozběhu a porovnává ho s plochou obdélníka $I_s^2 \times t_s$. 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.

8.3. 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 počítá 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.

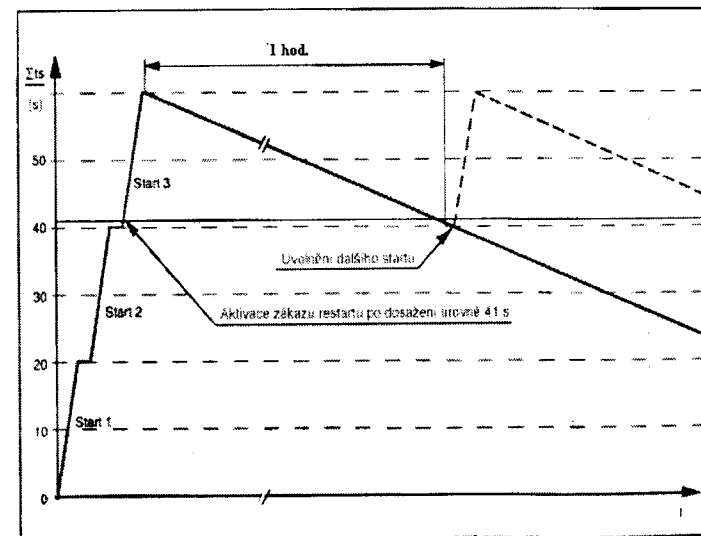


Diagram počtu povolených startů

8.4. 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 6 In motoru, v prvním okamžiku zapnutí dochází ještě navíc k nabíjení kapacit stroje. Tento nabíjecí proud dosahuje asi 9 In a trvá přibližně 20 ms.

Vzhledem k malým jmenovitým proudům motoru nepředstavuje nastavení zkratové ochrany na přibližně 10 In 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 5 In 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.

$$n^* = n \frac{\frac{P}{I_n^2} + R_2}{R_s + R_2}$$

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

8.5. Zemní ochrana

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

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 vlastností 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 nekompensované 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.

8.6. 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.

8.7. 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 $0,6 U_n$. V praxi se ale volí hranice podpětí pro vypínání vyšší. Bývá to $0,65$ až $0,7 U_n$ (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.

8.8. 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 účinník, až nakonec při chodu motoru naprázdno zůstává proud na hodnotě kolem $30 \% I_n$ a mění se jen účinník. 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.

8.9. 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.

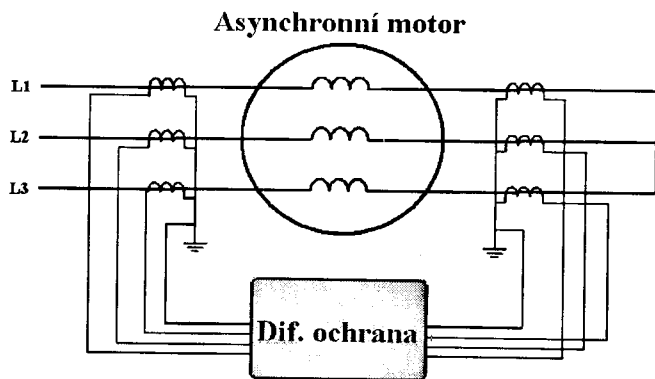
8.10. Diferenciální ochrana

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 6 I_n . Je důležité, aby v těchto případech diferenciální ochrana nezapůsobila.



8.11. 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 ochrany.

Asynchronní motory vn se vybaví ochranami podle tab.5:

asynchronní motory $P_{AM} \leq 1[MW]$

nadproudová zkratová mžiková
nadproudová při přetížení (tepelný model)
podpět'ová

asynchronní motory $1[MW] < P_{AM} \leq 6[MW]$

nadproudová zkratová mžiková
nadproudová při přetížení (tepelný model)
podpět'ová
zemní
nesouměrné zatížení
ložisková

asynchronní motory $6[MW] \leq P_{AM} [MW]$

nadproudová zkratová mžiková
nadproudová při přetížení (tepelný model)
podpět'ová

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 návštěví.
- podpětňová 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 samonajíždění nesmí po odeznění elektromagnetického přechodového děje poklesnout pod 65% U_n .

čl. 5. Zásady volby elektromotorů – doporučuje se, aby motory byly schopny tři 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 motoru
- b) nadproudovou ochranu na vzrůst proudu, které se může při rozběhu objevit
- c) 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 podpětňovou 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

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 výrobních 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 ochrany a automatik

Bermann, J.: Ochrany pohonů p. 63-94. Technika ochrany 2. Vydala fy Dohnálek.
Nedatováno

9. 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 odlišností. Díky tomu se mohou lišit jejich tepelné modely, rozběhy (dobou i velikostí rozběhu), buzení atd. Nemá smysl opakovat části kapitol o asynchronních motorech a turbogenerátorech. Proto se budu věnovat chránění synchronních strojů jen po stránce ČSN.

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 ochrany.

Synchronní motory vn se vybaví ochranami podle tab. 6:

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 $4[MVA] \leq S_{SM} [MVA]$

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 zvlášť 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 zvlášť 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:

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 Dohnálek, nedatováno

10. Chránění turbogenerátorů malých a středních výkonů

Provoz synchronního generátoru je za normálního bezporuchového stavu řízen prostřednictvím řídicího systému turbíny a automatického regulátoru napětí. V případě mimořádných situací, resp. poruch, kdy charakteristické veličiny generátoru vybočují z normálních mezí, je potřebný zásah elektrických ochran. Prostřednictvím elektrických ochran generátoru lze předejít poškození stroje nebo alespoň redukovat následky poruch.

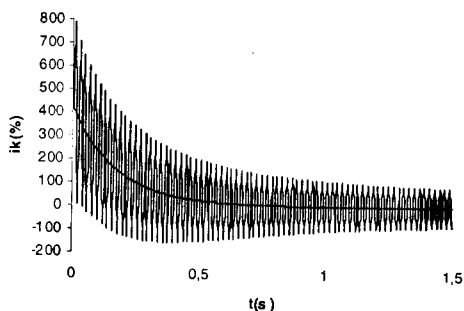
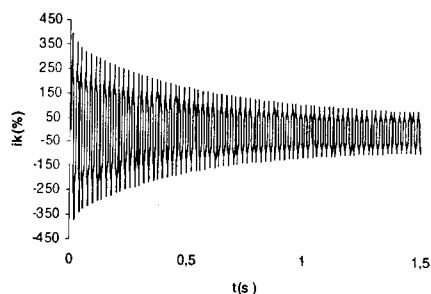
Mezi nejvážnější poruchy generátoru patří zkraty a zemní spojení. Elektrické ochrany musí tyto poruchy rychle a spolehlivě detekovat a zajistit jejich likvidaci. Při provozu generátoru mohou také nastat abnormální provozní stavy, mezi které patří například přetížení, nadpětí, podbuzení apod. U těchto abnormálních stavů musí elektrické ochrany působit tak, aby zabránily následnému vzniku vážnějších poruch.

Hlavními požadavky na činnost elektrických ochran při poruchách a abnormálních provozních stavech jsou selektivita, citlivost a spolehlivost působení. Selektivita je definována jako schopnost ochrany určit úsek postižený poruchou. Citlivost je definována jako schopnost rozlišit stav při kterém má ochrana působit od stavu bez poruchy.

V následujících kapitolách budou stručně popsány jednotlivé principy elektrických ochran generátoru. Popis se omezuje pouze na aplikace s generátory malých a středních výkonů pracujících typicky jako generátory přímo připojené do přípojnice rozvodu 6 kV průmyslových podniků a tepláren.

10.1. Ochrana generátoru při zkratech

Zkrat patří mezi nejzávažnější poruchy v elektrických silnoproudých zařízeních. Zkrat vznikne při vzájemném vodivém spojení fází v určitém místě elektrizační soustavy. Při zkratu výrazně poklesne celková impedance elektrického obvodu, dojde k poklesu napětí a výrazně vzroste proud. Vysoký zkratový proud namáhá elektrická zařízení svými tepelnými a dynamickými účinky. Příklad průběhu zkratového proudu je na následujících obrázcích. Oba průběhy zobrazují zkratový proud při tzv. blízkém zkratu. Horní obrázek zobrazuje průběh symetrický, obrázek dole průběh s aperiodickou (stejnoseměrnou) složkou.



Rizika při zkratech:

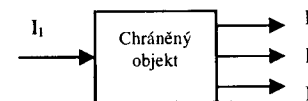
- tepelné a mechanické poškození statorového vinutí včetně jiných částí stroje
- možnost vzniku požáru a následně velkých škod na zařízení
- možnost šíření poruchy na další prvky elektrizační soustavy

Druhy používaných zkratových ochran generátoru:

- rozdílová ochrana
- nadproudová zkratová ochrana
- podimpedanční/distanční ochrana

Rozdílová ochrana generátoru

Ochrana pracuje na principu analogického Kirchhoffova zákona – proudy, které do objektu vstupují se za normálního bezporuchového provozu rovnají součtu proudů, které z objektu vystupují.



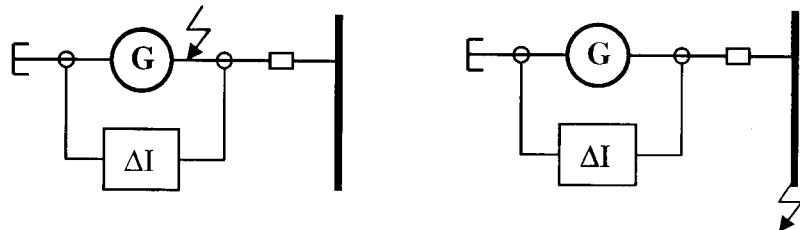
$$|I_1 + I_2 + I_3 + I_4| = 0 \quad \text{Bezporuchový stav}$$

$$|I_1 + I_2 + I_3 + I_4| \neq 0 \quad \text{Poruchový stav}$$

Vlastnosti rozdílové ochrany:

- selektivita – ochrana působí pouze při zkratech mezi přístrojovými transformátory proudu, na které je připojena. Na obrázku na další straně vlevo: rozdílová ochrana musí působit na vnitřní zkrat, na obrázku vpravo: ochrana nesmí působit při zkratu mimo chráněnou zónu tzv. průchozí zkrat

- **citlivost** – působí při poruchových proudech již od 10% jmenovitého proudu chráněného objektu
- **rychlost** – působí bez časového zpoždění

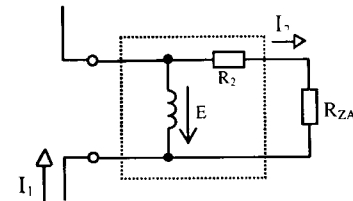


S ohledem k uvedeným pozitivním vlastnostem má rozdílová ochrana velmi důležité postavení v systému zkratového chránění generátoru.

Správné působení rozdílové ochrany je podmíněno správnou volbou přístrojových transformátorů proudu. V okamžiku vnitřního zkratu je pro správnou funkci moderní číslicové ochrany nutné zajistit prostřednictvím PTP alespoň minimální vzorek měřeného proudu (0,5 až 1 periodu). Pro případ průchozích poruchových proudů moderní číslicové ochrany obsahují algoritmy, které počítají s přesycením jednoho z jisticích transformátorů proudu při průchozím zkratu a dokáží pro tento případ zajistit blokování působení.

Pro posouzení vhodnosti jisticích transformátorů proudu jsou důležité následující parametry:

- jmenovitý primární a sekundární proud I_1 a I_2 , viz obrázek
- třída přesnosti – například třída 5P pro jisticí jádra
- nadproudový činitel F_A
- výkon
- hodnota ztrátového odporu sekundárního vinutí R_2 , viz obrázek



Pro kontrolu požadavků diferenciální ochrany je nutné vzít dále do úvahy:

- celkové zatížení R_{ZAT} (odpor přívodů, odpor vstupu ochrany)
- hodnoty zkratových proudů v místě PTP – zkratový násobek
- poměr X/R , resp. hodnota časové konstanty stejnosměrné složky „primárního“ obvodu (je důležitá pro posouzení dynamických vlastností při přesycení PTP stejnosměrnou složkou).

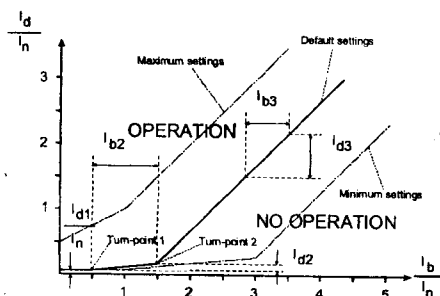
Pro řadu ochran je stanoven limit pro tzv. skutečné nadproudové číslo, kterému musí PTP vyhovět, aby byla zajištěna správná funkce rozdílové ochrany. Skutečné nadproudové číslo se stanoví podle následujícího vzorce:

$$F_A^* = F_A \frac{R_2 + R_N}{R_2 + R_{ZAT}} \quad R_N \text{ je jmenovité břemeno PTP}$$

Na obrázcích na další straně jsou uvedeny příklady přístrojových transformátorů proudu výrobce ABB EJP, a.s. Typová řada BB vlevo jsou násuvné transformátory proudu s jmenovitými primárními proudy do 5000 A. Nadproudový činitel může dosahovat až hodnotu 40 podle jmenovitého výkonu. Typová řada TTR (vpravo) je používána pro rozsah primárních proudů 100 A až 2500 A.



Na obrázku níže je znázorněna operační charakteristika rozdílové ochranné funkce terminálu REM. Ochrana má dva stupně. První stupeň má stabilizovanou charakteristiku (viz obrázek). Popudová hodnota rozdílového proudu je závislá na hodnotě průchozího proudu.



Čím je průchozí proud vyšší, tím je také popudová hodnota rozdílové funkce vyšší. Pro vysoké průchozí proudy je také zvětšen sklon charakteristiky na stoprocentní hodnotu (45°). Účelem takto provedené vypínací charakteristiky je kompenzovat „chybový“ rozdílový proud vyvolaný např. nepřesnostmi PTP, částečným přesycením PTP apod. tak, aby nedošlo k falešnému působení ochrany při normálním provozu nebo zkratu mimo chráněný úsek.

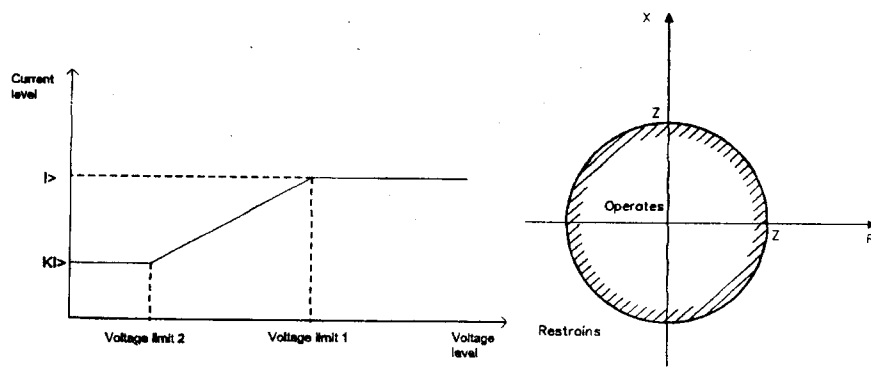
Druhý stupeň rozdílové funkce není stabilizován, je nastaven méně citlivě a je určen pro rychlou likvidaci těžkých vnitřních zkratů v chráněné zóně s vysokými diferenciálními proudy.

Nadproudová zkratová ochrana

Princip ochrany je velmi jednoduchý, ochrana působí při překročení nastavené úrovně proudu. Jednoduchost principu však přináší určité nevýhody z pohledu použití ochrany v generátorových aplikacích. Jak ukazuje obrázek z úvodu této kapitoly, má časový průběh zkratového proudu generátoru při blízkém zkratu klesající tendenci v závislosti na čase. Hodnota zkratového proudu je také závislá na velikosti budicího proudu před zkratem a v průběhu zkratu. V nepříznivém případě může hodnota zkratového proudu po určitém čase poklesnout až pod jmenovitý proud generátoru. Působení nadproudové ochrany generátoru je časově zpožděno tak, aby ochrana působila selektivně s ohledem k ochranám ve vývodech z rozvodny, do které generátor pracuje.

Pro vylepšení vlastností prosté nadproudové ochrany se proto doplňuje nadproudová funkce ještě podpětovým odblokováním. Jak již bylo v úvodu kapitoly řečeno, zkrat je doprovázen podpětím a proto podpětová podmínka umožňuje spolehlivěji rozlišit mezi maximálním provozním proudem a proudem zkratovým.

Na obrázku na další straně vlevo je znázorněna charakteristika ochranné funkce terminálu REM. Proudová popudová hodnota je u tohoto typu funkce závislá na hodnotě napětí. Jak je patrné z obrázku, je ve vymezené oblasti napětí závislost $I = f(U)$ lineární. Charakteristika působení ochrany tak umožňuje postihnout i nepříznivé stavy s poklesem proudu pod jmenovitou hodnotu.



Na obrázku vpravo je uvedena operační charakteristika podimpedanční funkce terminálu REG. Zkrat je u této ochrany charakterizován jako pokles impedance mezi místem umístění ochrany a místem zkratu. Působení této ochrany tedy není podmíněno faktory typu velikost budícího proudu, pokles zkratového proudu apod. Podimpedanční funkce je určena spíše pro chránění generátoru v bloku s transformátorem. Vyšším ochranným principem je pak distanční ochrana se čtyřúhelníkovou charakteristikou umožňující zachycení obloukových zkratů a se závorou při kývání výkonu.

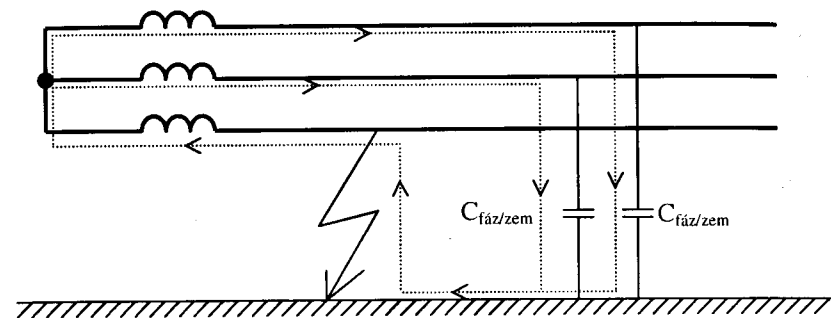
10.2. Zemní spojení statorového vinutí generátoru

K této poruše dochází vlivem poklesu izolačního odporu v určitém místě statorového vinutí a následného vzniku vodivého spojení se zemním potenciálem.

Obecně známými příznaky zemního spojení jsou:

- napětí zbývajících nepostižených fází vůči zemi vzroste na hodnotu sdruženého napětí
- mezi uzlem trojfázové soustavy a zemí se objeví napětí fázové

Situace při zemním spojení v soustavě s izolovaným uzlem je znázorněna graficky v následujícím obrázku.

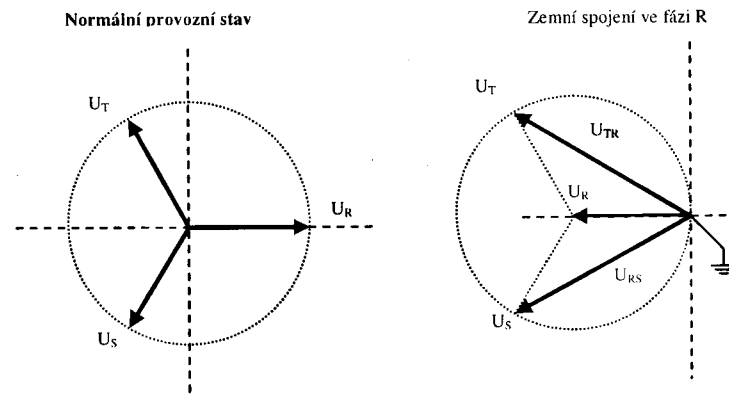


Hodnota poruchového proudu při zemním spojení v soustavě s izolovaným uzlem:

$$I_{POR} = U_{TR} e^{j150^\circ} \omega C_{1FÁZ} + U_{TR} e^{j210^\circ} \omega C_{1FÁZ}$$

$$|I_{POR}| = \omega C_{1FÁZ} 2U_{SDR} \cos 30^\circ = \omega C_{1FÁZ} 2U_{SDR} \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} \omega C_{1FÁZ} U_{SDR} = 3 \omega C_{1FÁZ} U_{FÁZ}$$

Rozložení fázorů napětí je znázorněno v následujících vektorových diagramech:



Rizika při zemním spojení:

- namáhání izolace zařízení zbývajících fází sdruženou hodnotou napětí – zvýšené riziko průrazu izolace
- poškození zařízení v místě zemního spojení protékajícím poruchovým proudem
- riziko vzniku druhého zemního spojení (ve stejné fázi) s následným výrazným nesymetrickým zatížením

Návrh a použití různých principů zemních ochran je určen zejména způsobem provozu uzlu soustavy, ve které je generátor provozován a způsobem připojení generátoru do soustavy.

Poznámka:

Pro potřeby tohoto článku je uvažována pouze varianta generátoru pracujícího přímo do přípojnice odpovídající nejčastějšímu stavu v teplárnách a průmyslových podnicích. Varianta blokového uspořádání výrobního bloku zde není uvažována.

Uzel soustav v teplárnách a průmyslových podnicích může být provozován jako:

- izolovaný
- připojený přes Petersenovu tlumivku – soustava kompenzovaná
- připojený přes zemnicí rezistor

Požadavky na činnost zemní ochrany generátoru:

- selektivnost působení – ochrana působí pouze při zemních spojeních v oblasti statorového vinutí a na vývodu generátoru
- detekce zemního spojení na co největším rozsahu statorového vinutí

Obecné principy zemních ochran generátoru používaných v podnikových rozvodech:

- nadpětíová funkce monitorující velikost nulové složky napětí U_0
- nadproudová funkce monitorující velikost nulové složky proudu I_0
- směrová funkce vyhodnocující jak směr toku nulové složky proudu I_0 vůči fázoru nulové složky napětí U_0 , tak velikost nulových složek U_0 a I_0

Pro měření nulové složky napětí U_0 zemních ochran generátorů se používá:

- zapojení sekundárních vinutí MTN do otevřeného trojúhelníka
- napěťový transformátor umístěný v uzlu generátoru

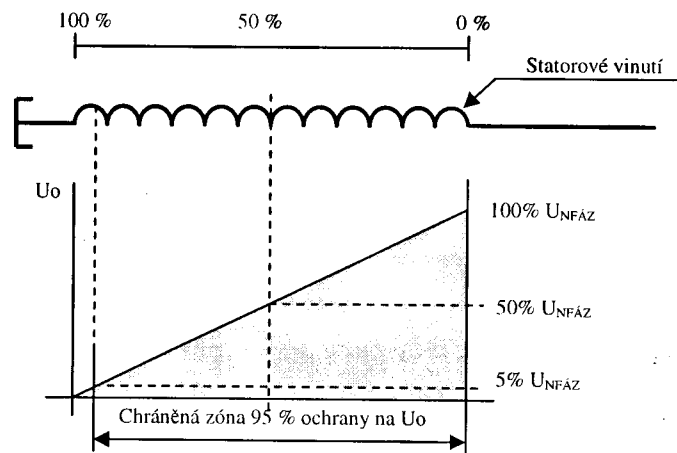
Pro měření nulové složky proudu I_0 zemních ochran generátorů se používá:

- součtový transformátor s převodem 100:1
- Holmgrenova skupina transformátorů proudu s převodem 100:1
- transformátor proudu v uzlu generátoru – pouze pokud je generátor uzemněn přes zemní rezistor
- kombinace součtového transformátoru s převodem 100:1 na vývodu a transformátoru proudu v uzlu generátoru s převodem 75:1 pro zemní rozdílovou ochranu

Princip zemní ochrany generátoru vyhodnocující nulovou složku napětí U_0

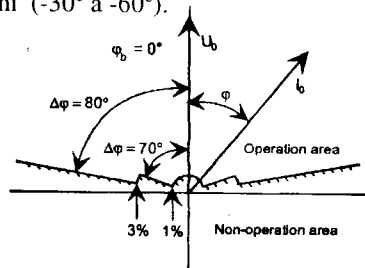
Jak bylo řečeno v úvodu kapitoly, vyvolá zemní spojení nárůst nulové složky napětí na hodnotu jmenovitého fázového napětí soustavy. To platí, pouze pokud vznikne zemní spojení na svorkách generátoru nebo na jeho vývodu. Při zemním spojení uvnitř statorového vinutí je hodnota nulové složky napětí úměrná poměrné délce statorového vinutí měřeno od místa zemního spojení ke svorkám generátoru.

Situaci znázorňuje následující obrázek.



Princip směrové zemní ochrany generátoru

Příklad operační charakteristiky ochranné funkce terminálu REM je uveden na obrázku níže. Směrová charakteristika je nastavitelná v rozmezí fázových natočení 0° až -90° mezi nulovou složkou proudu I_0 a nulovou složkou napětí U_0 . Tento rozsah umožňuje použití ochranné funkce jak pro soustavy izolované s poruchovým proudem kapacitního charakteru tak pro soustavy kompenzované nebo odporově uzemněné s poruchovým proudem činného charakteru. Pro speciální situace, kdy je např. okolní soustava izolovaná a generátor uzemněn přes odpor, je možno nastavit i hodnoty úhlu mezi oběma krajními hodnotami (-30° a -60°).

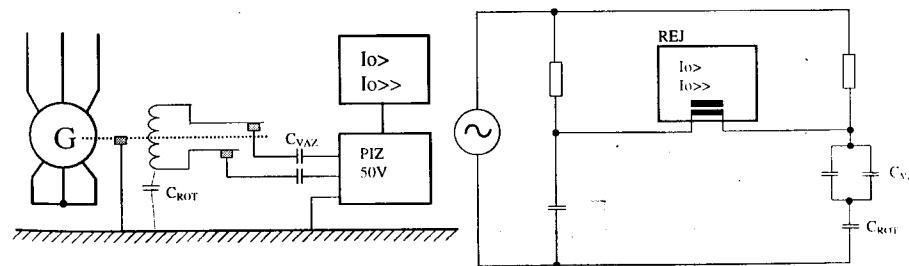


Princip zemní ochrany generátoru vyhodnocující nulovou složku proudu I_0

V případech, kdy je příspěvek nulového proudu soustavy dostatečně vyšší než příspěvek nulového proudu generátoru, lze použít jako kritérium pouze vyhodnocení nulové složky proudu I_0 .

10.3. Zemní spojení rotorového vinutí generátoru

Za normálních provozních podmínek je budicí obvod generátoru izolován od zemního potenciálu. Hřídel generátoru je pomocí zemního kartáče přizemněna. Jeden z principů detekce zemního spojení v rotorovém obvodu je znázorněn na obrázcích. Ochrana pracuje na principu měřicího můstku, který je za bezporuchového stavu vyvážen. Elektrické zapojení můstku je uvedeno na obrázku vpravo. Pro zemní ochranu je použita injektážní jednotka PIZ 50V a ochrana REJ 511. Zemní ochrana je řešena jako dvoustupňová. První stupeň je výstražný, ve druhém stupni ochrana vypíná.

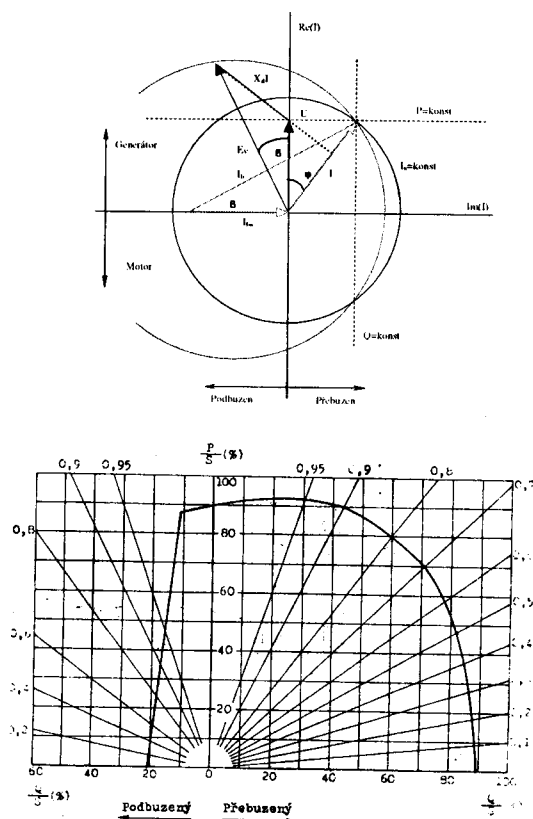


Riziko při zemním spojení rotoru:

- riziko vzniku druhého zemního spojení. V důsledku druhého zemního spojení (ve stejné fázi) dojde k narušení magnetického pole rotoru a vzniku velkých mechanických momentů vedoucích k těžkým poškozením stroje.

10.4. Ochrana při podbuzení a ztrátě buzení

Je obecně známo, že synchronní generátor je točivý elektrický stroj poháněný např. parní turbínou, z jehož statoru je odebrán výstupní elektrický výkon S_{GN} a který je v rotoru buzený stejnosměrným proudem I_b . Rychlost točivého pole ve vzduchové mezeře resp. frekvence svorkového napětí a mechanické otáčky rotoru jsou synchronní. V nezátíženém stavu se osy magnetických polí statoru i rotoru kryjí. Pokud je na hřídel přiveden hnací moment, dojde k vzájemnému vychýlení rotoru a statoru o zátěžový úhel β a generátor začne dodávat energii do sítě. Situace je znázorněna na obrázku nahoře.



Pro vlastnosti a charakteristiky synchronního generátoru je rozhodující magnetický tok buzený stejnosměrným vinutím, jehož magnetomotorické napětí je řízeno. Podle velikosti tohoto napětí se mění velikost i smysl jalové složky výkonu ve statorovém vinutí. Pokud je budící proud příliš malý je energie potřebná k nabuzení stroje odebrána ze soustavy do které generátor pracuje a generátor se stává spotřebičem kapacitního jalového výkonu – generátor je ve stavu podbuzení – viz oba obrázky na předchozí straně.

Pro buzení synchronního generátoru se používají různé druhy budicích soustav. Podle budicího příkonu rozlišujeme soustavy na závislé, nezávislé a kompaundní. Pro řízení velikosti budicího proudu se používají moderní spínací elektronické prvky, např. tyristory, IGBT tranzistory atd. Řídicí obvod těchto prvků je ovládán z automatického regulátoru napětí, který zajišťuje na základě měření svorkových proudů a napětí udržování veličin na požadovaných hodnotách. Moderní regulátory napětí obsahují také řadu obvodů – omezovačů sledujících povolenou pracovní oblast generátoru a zabezpečujících bezpečný provoz stroje (mez stability). Z pohledu ochrany při podbuzení je důležitým prvkem tzv. hlídač meze podbuzení – viz příčka se sklonem v podbuzené oblasti na obrázku na předchozí straně.

Ochrana při podbuzení a ztrátě buzení působí:

- v případě selhání automatického regulátoru napětí
- v případě chybného nastavení automatického regulátoru napětí

Rizika ve stavu podbuzení:

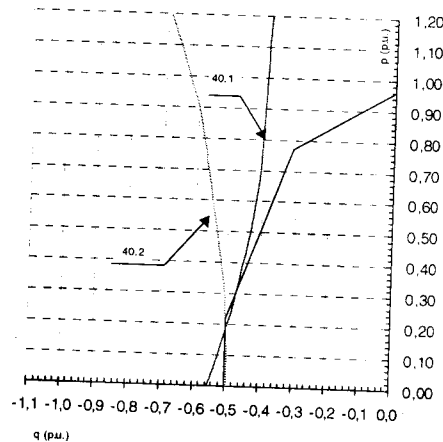
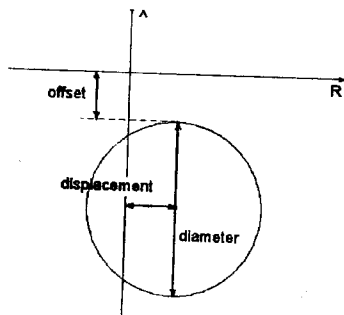
- vlivem vířivých proudů dochází k teplotnímu namáhání řady konstrukčních částí stroje, např. čelních prostorů, stínící a stahovací desky a prvních paketů železa
- pokles napětí v místě generátoru

- možnost vzniku nestabilního chodu, ztráty synchronismu, prokluzu rotoru, kývání výkonu
- riziko překročení meze stability

Rizika při úplné ztrátě buzení – asynchronní chod

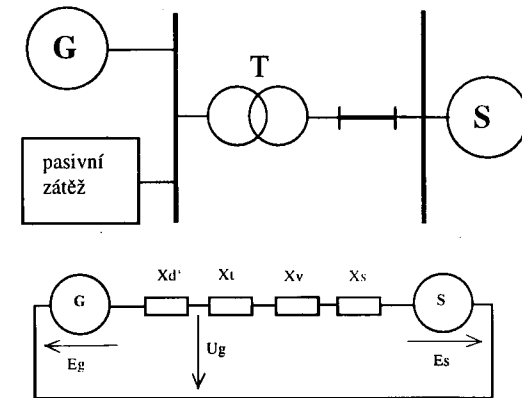
- tepelné přetížení povrchu rotoru
- zvýšené mechanické namáhání rotoru
- v některých případech přepětí v budicích obvodech

Na obrázku je znázorněna operační charakteristika ochranné funkce terminálu REM. Charakteristikou je kružnice v impedanční rovině definovaná průměrem kružnice a posunutím vůči ose X – displacement a ose R – offset. Parametry ochranné funkce umožňují koordinaci nastavení ochrany a hlídače meze podbuzení. Na obrázku vpravo je příklad možného nastavení ochrany převedené do PQ-roviny.



Stabilita generátoru

Stabilita provozu generátoru je důležitou vlastností ovlivňující chování stroje v případě odchylek od normálního provozního stavu. Statická stabilita se týká jevů, jejichž příčinou je malá odchylka pracovního režimu – např. pokles napětí energetické soustavy, malé snížení budicího napětí atd. Dynamická stabilita zahrnuje jevy vyvolané prudkými, rychlými a rozsáhlými změnami – odpojení určitého úseku vedení, odpojení okolních alternátorů, blízký zkrat atd.



Přirozená stabilita stroje se pohybuje do hodnoty zátěžového úhlu 90° . Moderní regulátory napětí umožňují dosáhnout tzv. umělé stability se zátěžnými úhly nad 120° . Projevem ztráty stability je prokluz pólů.

Rizika při prokluzu pólů:

- tepelné zatížení povrchu rotoru indukovanými vířivými proudy
- zvýšené mechanické zatížení
- přepětí v budicím obvodu
- kolísání proudu, napětí a výkonu generátoru / kývání
- asynchronní chod

Obrázek na předcházející straně zachycuje schéma pro analýzu problému stability generátoru pracujícího do velké energetické soustavy. Ochrana při prokluzu je ČSN požadována pro generátory s výkony ≥ 200 MVA, zde je uvedena pro úplnost k dané problematice.

10.5. Nadpět'ová ochrana

S činností regulátoru buzení souvisí i nadpět'ová ochrana generátoru. Za normálních okolností je napětí udržováno v předepsaných mezích pomocí regulátoru napětí a jeho omezovačů. Nadpět'ová ochrana působí v případě selhání automatického regulátoru napětí nebo v případě napět'ových špiček při poruchách v ES. Hlavním úkolem je chránit statorové vinutí před poškozením vlivem zvýšeného napětí. Ochrana je řešena jako dvoustupňová nebo časově závislá.

10.6. Tepelné přetížení statoru

Při provozu synchronního stroje vznikají ve statorovém vinutí tepelné ztráty. Tepelné ztráty jsou vyvolány proudem procházejícím statorovým vinutím v důsledku tzv. Jouleova zákona vlivem existence odporu vodiče (neplatí pro supravodiče):

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad [\text{J}]$$

Vlivem tepelných ztrát následně dochází ke zvyšování teploty statorového vinutí. Při jmenovitém zatížení generátoru se teplota statorového vinutí ustálí na jmenovité provozní teplotě. Při přetěžování generátoru nadproudy teplota vinutí roste nad meze povolené pro trvalý provoz a vznikají následující rizika:

- zkrácení životnosti izolace

- poškození izolace
- zvýšení pravděpodobnosti vzniku zemního spojení nebo zkratu

Dynamické vlastnosti oteplování či ochlazování elektrického stroje jsou funkcí řady faktorů vyplývajících např. z jejich konstrukce, způsobu zatížení atd. Na obrázku dole je znázorněn příklad časového průběhu oteplení stroje z okolní teploty na provozní hodnoty a poté ochlazování stroje na teplotu okolní. Dynamika těchto procesů je určena prostřednictvím tzv. časových oteplovacích/ochlazovacích konstant. Velikost těchto časových konstant je funkcí velikosti stroje, materiálového využití, způsobu chlazení apod. Hodnoty jsou řádově v jednotkách až desítkách minut. Uvedené grafické průběhy jsou matematicky vyjádřeny prostřednictvím následujících rovnic. Tyto rovnice jsou řešením obecné diferenciální rovnice popisující přechodový děj ohřevu nebo ochlazování objektu.

Rovnice pro oteplení

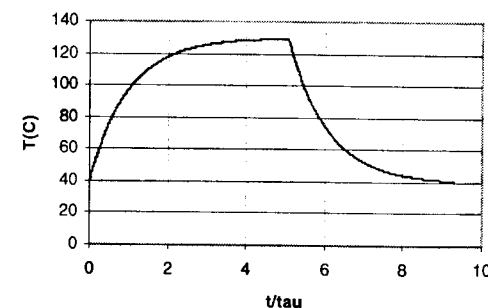
$$\theta = \theta_m \times (1 - e^{-t/\tau})$$

Rovnice pro ochlazení

$$\theta = \theta_m \times e^{-t/\tau}$$

θ_m ... jmenovité oteplení

τ ... oteplovací/ochlazovací časová konstanta



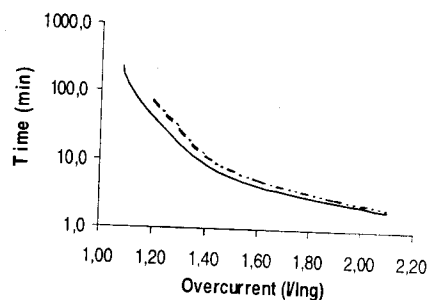
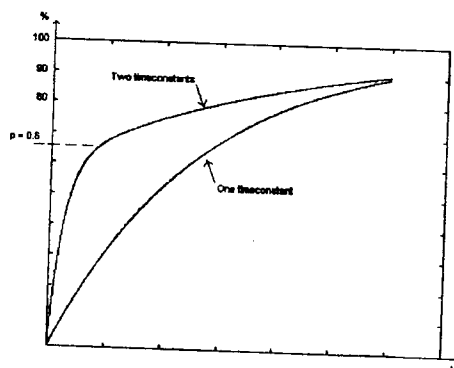
Ochrana chránící generátor v případě tepelného přetížení musí zohlednit řadu faktorů vyplývajících z provozu generátoru:

- umožnit krátkodobé přetížení v případě kolísání zatížení
- respektovat výchozí stav před přetížením – teplý nebo studený stav stroje
- signalizovat stav přetížení
- v případě dosažení teplotního limitu vinutí zajistit snížení zátěže popř. vypnutí generátoru
- zajistit ochlazovací interval mezi vypnutím a opětným přifázováním generátoru

Tyto požadavky splňuje ochranná funkce TOL digitálního terminálu REM. Tato ochranná funkce aplikuje pro chránění tepelný model s dvěma časovými konstantami:

$$\Delta\Theta = \left[p \times (I/I_N)^2 \times \Delta\Theta_N \right] \times (1 - e^{-t/\tau_1}) + \left[(1-p) \times (I/I_N)^2 \times \Delta\Theta_N \right] \times (1 - e^{-t/\tau_2})$$

Na obrázku vlevo jsou znázorněny průběhy oteplení pro tepelný model s jednou časovou oteplovací konstantou a pro tepelný model se dvěma časovými oteplovacími konstantami.



Na obrázku vpravo je znázorněna zjednodušená vypínací charakteristika ochranné funkce. Ochranná funkce TOL je univerzální a je použitelná pro různé chráněné objekty – asynchronní a synchronní motory, generátory a transformátory. Přiřazení vhodných charakteristik pro danou aplikaci / typ chráněného objektu je provedeno prostřednictvím nastavení parametrů ochranné funkce.

10.7. Nesymetrické zatížení generátoru

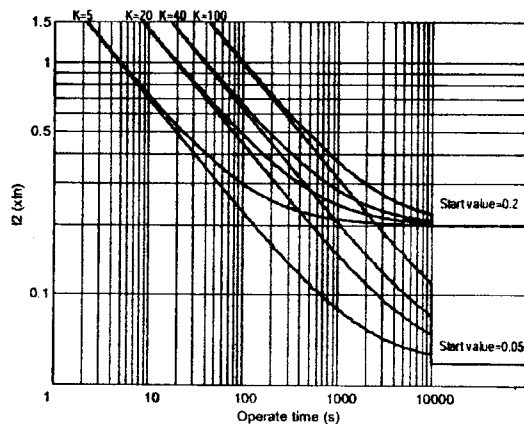
Při provozu generátoru se může vyskytnout abnormální provozní stav, při kterém je generátor připojen k nesymetrické soustavě. Proudů jednotlivých fází mají v tomto stavu odlišnou amplitudu. Pro matematické řešení nesouměrných trojfázových soustav se používá rozklad na tři souměrné trojfázové soustavy – souslednou (1), zpětnou (2) a nulovou (0).

Příčiny nesymetrického zatížení generátoru mohou být následující:

- příčné a podélné nesymetrie při zkratech a přerušení fází
- nesymetrická spotřeba – např. jednofázové odběry pro trakci

Rizika nesouměrného zatížení generátoru:

Zpětná soustava proudů vytváří ve statoru točivé magnetické pole, které se otáčí synchronní rychlostí obráceným směrem proti otáčení rotoru stroje. Vzájemná rychlost rotoru a otáčení magnetického pole je ve výsledku dvojnásobná. V důsledku toho se indukují na povrchu rotoru vířivé proudy způsobující jeho zvýšené oteplování.



$$t = \frac{K}{\left(\frac{I_2}{I_N}\right)^2 - I_{START}^2}$$

Pro chránění generátoru v případě nesouměrného zatížení je použita časově závislá ochrana vyhodnocující proud zpětné složky proudu I_2 . Na obrázku výše je uvedena vypínací charakteristika ochranné funkce NPS3 implementovaná v terminálu točivého stroje REM. Časově závislá charakteristika je popsána výše uvedenou rovnicí. Pomocí nastavení parametrů ochranné funkce lze působení ochrany plně přizpůsobit limitům chráněného generátoru.

10.8. Frekvenční ochrany generátoru

Z teorie synchronního generátoru vyplývá, že hodnota frekvence svorkového napětí synchronního generátoru je přímo úměrná hodnotě otáček hřídele rotoru. Z hlediska hodnot otáček rotoru mohou nastat u turbosoustrojí následující provozní stavy:

- najetí turbíny předchází její prohřátí při malých otáčkách, v průběhu najíždění prochází pásmem tzv. kritických otáček, při kterých dochází k mechanickým rezonancím doprovázených zvýšenými vibracemi
- stav před přifázováním – otáčky rotoru jsou udržovány na hodnotě jmenovité
- stav po přifázování – synchronní generátor je vtažen energetickou soustavou do synchronismu. Frekvence v soustavě je celosystémovým parametrem, proto při poklesu frekvence v systému klesají také otáčky generátoru a naopak.
- ostrovní provoz – synchronní generátory pracují samostatně ve vydělených oblastech v důsledku rozpadu velkých energetických soustav

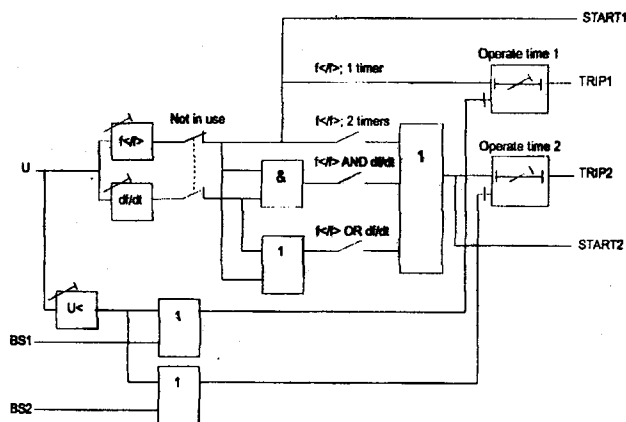
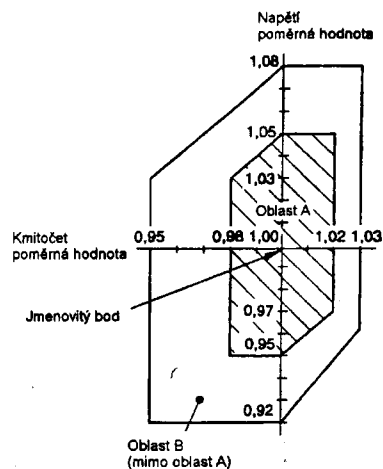
Regulaci otáček turbíny, resp. dodávaného činného výkonu zabezpečuje řídicí systém turbíny. Jeho úkolem je zajistit rychlou regulaci otáček turbosoustrojí v případě odlehčení nebo naopak zvýšení zatížení generátoru. Příkladem náhlého odlehčení generátoru může být působení některé z jeho elektrických ochran, příkladem náhlého zvýšení zatížení může být nedostatek činného výkonu v ES vlivem výpadku významného zdroje apod.

Rizika při vybočení frekvence/otáček turbosoustrojí z povolených hodnot:

- **podfrekvence** – každé turbosoustrojí má tzv. kritické otáčky, při kterých vzniká mechanická rezonance a hrozí poškození konstrukčních prvků turbíny. Z pohledu generátoru vyvolává podfrekvence zvýšený magnetický tok v magnetických obvodech a tím i zvýšené tepelné namáhání.
- **nadfrekvence** – velké odstředivé síly mohou způsobit poškození turbíny

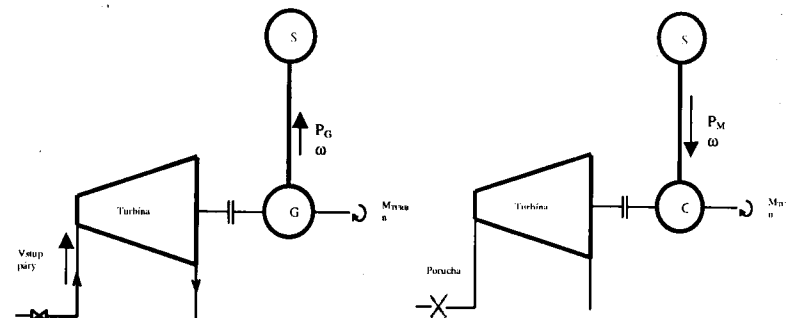
Na horním obrázku je diagram znázorňující povolené tolerance frekvence pro generátory vyrobené podle normy IEC. Na dolním obrázku je blokový diagram ochranné frekvenční funkce z terminálu REM. Funkce umožňuje vyhodnocení překročení určité frekvenční hladiny, ale také překročení hodnoty

změny /derivace frekvence vhodné pro vyhodnocení rychlosti dějů. Funkce obsahuje blokování při podpětí a možnost blokování binárními vstupními signály.



10.9. Motorický chod generátoru

Při ztrátě hnacího mechanického momentu turbíny přechází turbogenerátor do motorického chodu. V tomto stavu se generátor stává spotřebičem činného výkonu a odebírá z připojeného energetického systému činný výkon. Situace je znázorněna na následujících obrázcích.



Vlevo je znázorněn normální provozní stav. Generátor je přifázován, na turbínu je přiváděna přehřátá pára a mechanický výkon turbíny je přeměněn v generátoru na činný elektrický výkon dodávaný do sítě. Vpravo je znázorněn poruchový stav. Generátor je přifázován, ale v důsledku poruchy v přívodu páry přeměňuje generátor elektrický činný výkon odebraný ze sítě na výkon mechanický a pohání turbínu. Velikost tohoto zpětného výkonu je úměrná velikosti mechanických ztrát celého turbosoustrojí danou zejména třecími odpory v ložiscích hřídele.

Riziko motorického chodu:

- v motorickém chodu je ohrožena především turbína, hrozí její poškození vlivem tepelných a mechanických účinků.

Přívod páry na turbínu a tím i velikost vyráběného činného výkonu je při provozu generátoru regulována prostřednictvím řídicího systému turbíny. Činnost regulátoru turbíny spočívá ve stavu před přifázováním generátoru v dosažení a udržování otáček na jmenovité hodnotě a ve stavu po přifázování v udržování velikosti dodávaného činného výkonu na požadované hodnotě.

Zpětná wattová funkce je používána pro provozní odstavení generátoru. Po působení strojních ochran je uvolněno působení směrové výkonové funkce, která s určitým časovým odstupem a po dosažení potřebné hladiny zpětného výkonu zapůsobí na vypnutí generátorového vypínače a odbuzení generátoru. Tímto postupem je zajištěno bezpečné odstavení soustrojí bez rizika zvýšení otáček stroje vlivem nedovřených přívodních ventilů turbíny.

10.10. Fázování generátoru

Pro bezpečné připojení synchronního generátoru k energetické soustavě je nutné splnit tzv. fázovací podmínky:

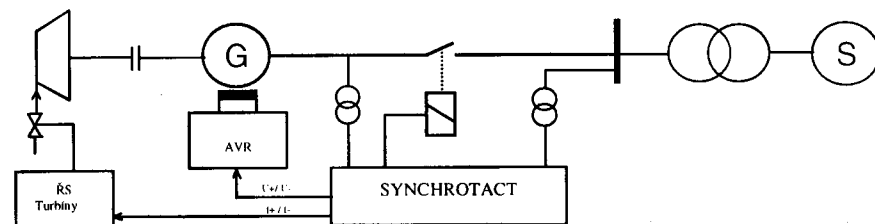
- stejný sled fází alternátoru a sítě
- stejný kmitočet alternátoru a sítě
- stejná velikost napětí alternátoru a sítě
- nulový fázový posuv mezi napětím alternátoru a sítě

Rizika při nedodržení fázovacích podmínek:

- odchylka velikosti napětí způsobí proudový náraz (jalového charakteru) úměrný diferencii napětí sítě a alternátoru
- nenulový úhel mezi napětími způsobí proudový náraz (činného charakteru) úměrný velikosti aktuálního fázového posuvu

- odchylka kmitočtu – připouští se určitý skluzový limit, způsobuje kývání činného výkonu po přifázování
- nesprávný sled fází – má za následek nejvážnější poškození stroje

Bezpečné připojení generátoru k síti zajišťuje automatický fázovač, který před vydáním povelu k zapnutí generátorového vypínače zkontroluje a zajistí splnění fázovacích podmínek pro diferencii amplitudy, úhlu a frekvence a zajistí tak přifázování generátoru bez nebezpečných proudových rázů.



10.11. Chránění turboalternátorů a synchronních kompenzátorů z pohledu ČSN

Chráněním výše uvedených elektrických strojů se zabývá ČSN 33 3051 (1992) Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení (Kapitola č.6), která se pro současnost jeví jako více či méně překonaná. Řada odborníků se ji snaží již několik let připomínkovat, ale situace se stále nemění. Potřebné ochranné funkce pro chráněné zařízení mohou být v dnešní době také požadovány přímo výrobcem daného zařízení. Pravidla pro výpočty nastavení jsou spíše postiženy ve směrnících koncernu ČEZ.

Před ČSN 33 3051(1992) platila pro chránění těchto strojů ČSN 38 1009 (1971), pro alternátory čl.210 až 215, pro synchronní kompenzátory čl. 239. Další norma, která se věnovala nastavení ochrany a provozu alternátorů a synchronních kompenzátorů, byla OEG 38 3010 (1966) Provozní pravidla pro elektrárny a sítě. Část A – Strojně technologická zařízení elektráren.

Protože výčet všech funkcí pro chránění těchto strojů je velký, nebylo možné je v rámci této publikace všechny postihnout a nebylo to ani jejím cílem. Uvedený text je tedy pouze pokusem o stručné a přehledné shrnutí dané problematiky.

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. 210 až 215, 239
OEG 38 3010 (1966) Provozní pravidla pro elektrárny a sítě. Část A. Strojně technologická zařízení elektráren
PNE 38 4065 (2004) Provoz, navrhování a zkoušení ochrany a automatik
 Dohnálek, P.: Ochrany synchronních generátorů. p.50-86 , Technika ochrany 1
 Vydala fy Dohnálek, nedatováno

11. Zálohování

Zálohování může být místní nebo vzdálené. Teoreticky je vysvětleno v teorii ochrany. V praxi to znamená, že každý prvek chránící elektrické zařízení musí být zálohován v případě jeho selhání. Nikdo ještě nevyrobil výrobek, který by nemohl přijít do poruchového stavu.

Dnešní ochrany sice na sebe prozradí, že jsou v poruše, ale tato informace z hlediska spolehlivosti nic neznámá. Chybná funkce ochrany (nevypnutí poruchového prvku) nemusí být způsobena vlastní funkcí ochrany, ale může mít jiné příčiny (mechanická závada vypínače, spálená vypínací cívka vypínače, přerušovaný vypínací okruh, přerušovaný obvod od měřících transformátoru, ztráta napájecího napětí atd.). Tyto závady jsme sice schopni pomocí moderních ochrany monitorovat, ale to je asi vše. Proto celý systém chránění musí být proveden tak, aby funkci vadného prvku zastal prvek další v řadě směrem ke zdroji .

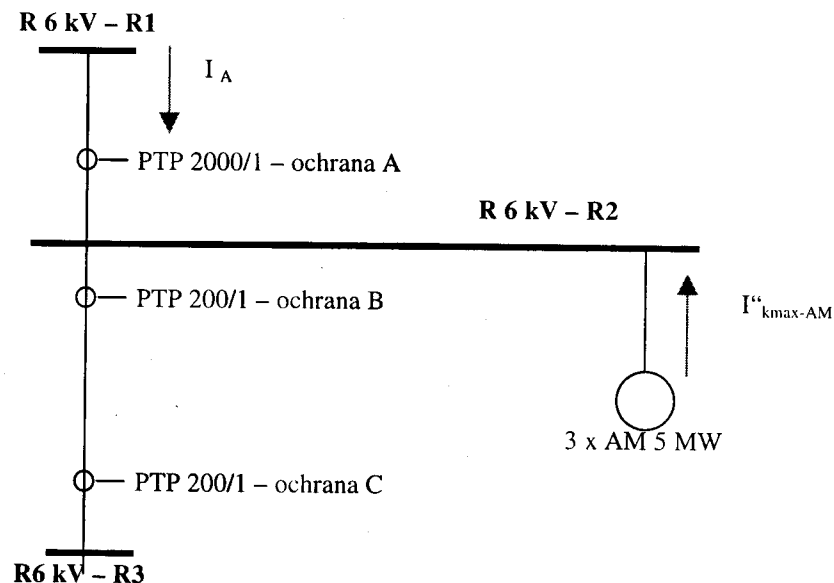
Zálohování tvoříme pomocí selektivity ochrany (vzdálené zálohování) nebo pomocí jiné ochrany chránící totéž zařízení (místní zálohování). Můžou to být například – rozdílová ochrana, plynové relé a nádobová ochrana u transformátoru. Všechny ochrany chrání jeden prvek a každá ochrana je na jiném principu měření.

Nejlepší systém zálohování je pomocí distančních ochrany, ale ty jsou pro podnikové sítě vn drahé a v případě krátkých kabelových vedení nepoužitelné. V podnikových sítích vn se používají na odepínání zkratů ochrany zkratové a srovnávací, na odepínání přetížení ochrany nadproudové.

Problém nastává u rozvodů, kde jsou připojeny motory vn velkých výkonů s těžkým rozběhem spolu s transformátory vlastní spotřeby, nebo

dlouhými vedeními vn, na kterých jsou připojeny další rozvodny s malým odběrem.

Uvedu příklad:



Budeme počítat, že I_n jednoho asynchronního motoru bude 507 A, zatížení R3 bude 180 A.

Nastavení ochrany A – ochrana bude nastavena na 2000 A na přetížení ($3 \times 507 + 180 = 1700$ A) z důvodu těžkého rozběhu asynchronních motorů (2 motory v provozu + rozběh třetího) musíme použít dlouhodobě závislou IDMT charakteristikou. Zkratová ochrana bude nastavena na 8000 A – 0,8 sec na zkrat z důvodu zkratového příspěvku od asynchronních motorů při zkratu na R1, a z důvodu vysokých proudů při samonajíždění asynchronních motorů při poklesu napětí (7605 A).

Nastavení ochrany B – ochrana bude nastavena na 200 A na přetížení – 1 sec. zkratová ochrana bude nastavena na 1000 A – 0,6 sec z důvodu že $I''_{\min 2f}$ na konci vývodu pro R3 je 1500 A (kabel má 7 km).

Nastavení ochrany C – ochrana bude nastavena na 200 A na přetížení – 0,7 sec. zkratová ochrana bude nastavena na 1000 A – 0,4 sec z důvodu že $I''_{\min 2f}$ na konci vývodu pro R3 je 1500 A.

Z výše uvedených nastavení ochran je zcela zřejmé, že ochrana A nemůže zálohovat ochranu B. Selhání vypínače ochrany B se dá řešit automatikou selhání vypínače (ASV) v ochraně B. Pokud by došlo k působení ochrany B a nedošlo by k vypnutí vypínače v místě B, ochrana B po nastaveném čase vypne vypínač v místě A. Toto by se stalo v případě, že selže vypínač v místě B. Pokud by ale selhala ochrana B, tak zkrat na kabelu do rozvodny R1 by nevypnula žádná ochrana.

Řešením problému je doplněním chránění v místě B o další zkratovou ochranu, kterou nastavíme na 800 A s časovým zpožděním 1 sec. Ochrana bude připojena na stejné PTP jako ochrana B. V případě selhání ochrany B nebo vypínače v místě B, ochrana odepne přímo vypínač A.

12. Logické ochrany

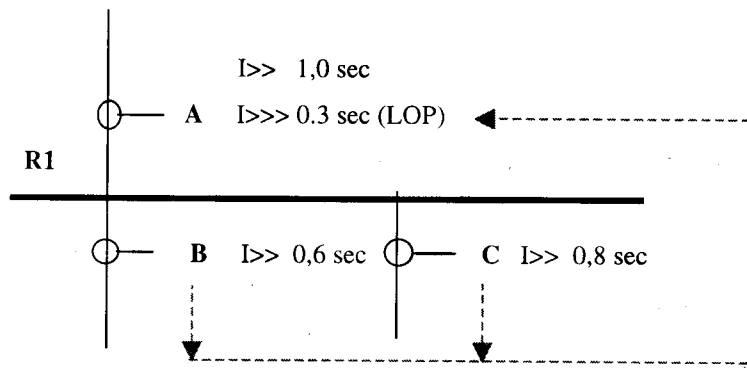
Použití logických ochran je sice známo již několik desetiletí (Ramelot), ale teprve použitím digitálních ochran, které mají více proudových funkcí (např. ochrany REF firmy ABB mají tři nesměrové nadproudové funkce a současně tři směrové nadproudové funkce, které mohou být každá směrovaná jiným směrem a pracují na sobě zcela nezávisle). Používání logických ochran se při chránění rozvodu vn stává samozřejmostí.

Výhoda logické ochrany spočívá ve zkracování vypínacích časů u zkratových ochran nebo v zablokování nežádoucího působení ochran v případě, který si určíme.

Logické ochrany vn rozlišujeme podle použití na:

- na logickou ochranu přípojnice (LOP), která zkracuje časy odepnutí zkratů na přípojnici rozvodny na 200 – 300 msec bez ohledu na časové nastavení ochran vývodů
- na ochranu paralelních vedení (náhrada srovnávacích ochran), která zkracuje časy odepínání zkratů na paralelních vedeních

Princip logické ochrany spočívá v komunikaci (blokadě vypnutí jedné ochrany popudem jiné ochrany) mezi ochranami pomocí metalické cesty (logická ochrana vytvořená pomocí řídicího systému by byla pomalá).

Příklad logické ochrany přípojnice (LOP):

Logickou ochranu přípojnice (LOP) tvoří funkce $I>>>$ z časovým nastavením 300 msec ochrany A. Její vypnutí je blokováno popudem ochran B a C.

Princip působení: zkraty na vývodu B vypíná ochrana B funkce $I>>$ v čase 600 msec a její funkci zálohuje ochrana A funkce $I>>$ s časovým nastavením 1 sec. Současně při působení ochrany B popud funkce $I>>$ zablokuje vypínání LOP. Zkraty na vývodu C vypíná ochrana B funkce $I>>$ v čase 800 ms a její funkci zálohuje ochrana A funkce $I>>$ s časovým nastavením 1 sec. Současně při působení ochrany C popud funkce $I>>$ zablokuje vypínání LOP. Při zkratu na přípojnici rozvodny R1 bude vypínat ochrana A funkce $I>>>$ v čase 300 msec, která není ničím blokována.

Pokud jsou na přípojnici R1 připojeny zdroje zkratových příspěvků, musí být funkce LOP směrová, směrována do přípojnice.

Literatura:

Bermann, J.: Ochrany rozvodu vn, p 2 – 51. Technika ochran 1. Vydala fy

Dohnálek - nedatováno

13. Fázování a kruhování energetických systémů

Rozdíl mezi kruhováním a fázováním je velmi podstatný. Při fázování spínáme dvě asynchronní soustavy Synchronotaktem, v našem případě fázujeme turboalternátor na síť (v energetice je možno fázovat celé soustavy oproti sobě, ostrovní provoz). Při kruhování spínáme dvě části synchronní soustavy, která je propojená v jiném místě a spínání provádíme Synchrocheckem. Algoritmus spínání u obou typu přístrojů je odlišný. Odlišný je i algoritmus přístrojů u jednotlivých výrobců, a dokonce i mezi algoritmy výrobků jedné firmy se může lišit (např. REF543-5 a REF542, nebo SCU firmy ABB). Teoretické předpoklady pro spínání sítí jsou však stejné. Proto se budeme zabývat pouze teorií a ne jednotlivými přístroji.

Podmínky fázování:

- 1) Rozdíl napětí turboalternátoru a sítě $\Delta U \rightarrow 0$
- 2) Fázový posun napětí turboalternátoru a sítě $\delta(U_{g0}, U_{s0}) \rightarrow 0$
- 3) Rozdíl kmitočtu napětí turboalternátoru a sítě $\Delta f \rightarrow 0$
- 4) Stejný sled fází turbogenerátoru a sítě

ad1) Rozdíl napětí

$$i_0 = \frac{u_{g0} - u_{e0}}{x_d'' + x_v} = \frac{u_{g0} - k \cdot u_s}{x_d'' + x_l + x_s} \quad [A]$$

kde i_0 proud tekoucím místem sepnutí

$$x_v = x_l + x_s \quad [\Omega]$$

x_l reaktance transformátoru přes který je TG fázován

$$x_t = \frac{u_g \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}}, \quad x_s = \frac{U_n^2}{S_{k \max}} \quad [\Omega]$$

x_s náhradní reaktance soustavy, na kterou se fázuje

x_d'' podélná reaktance TG

u_{go} napětí generátoru

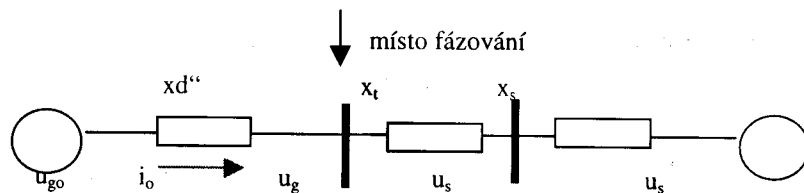
u_{eo} napětí soustavy $u_{eo} = k \cdot u_s$

u_s napětí sítě

k koeficient soustavy,

kde $k=1$ u soustavy s nekonečným výkonem a u_s je konstantní

kde $k=1,1$ u soustavy kde u_s není konstantní



Příklad výpočtu zapínacího rázu při rozdílném napětí:

Přijmeme předpoklad, že nejhorší situace bude pokud platí $x_v = x_t + x_s = 0$,

$k=1$, $u_{go}=u_g$. Pro zjednodušení výpočtu budeme předpokládat, že $I_{nTG} = 1$, potom bude platit vztah Δu v %.

Pak můžeme napsat:

$$i_0 = \frac{u_g - u_s}{x_d''} = \frac{|\Delta u|}{x_d''} \quad [x \text{ In TG}]$$

pokud bude platit $U_g > U_s$ bude proudový náraz induktivního charakteru.

a) pro TG který má podélnou reaktanci $x_d'' = 15 \%$ a rozdíl napětí generátoru a sítě $\Delta u = 15\%$ platí,

$$i_0 = \frac{|\Delta u|}{x_d''} = \frac{0,15}{0,15} = 1 \quad [\text{In TG}]$$

Znamená to, že při rozdílu napětí 15 % bude proudový náraz 1 In TG.

b) pro TG který má podélnou reaktanci $x_d'' = 15 \%$ a rozdíl napětí generátoru a sítě $\Delta u = 5\%$ platí,

$$i_0 = \frac{|\Delta u|}{x_d''} = \frac{0,5}{0,15} = 0,33 \quad [\text{In TG}]$$

Znamená to, že při rozdílu napětí 15 % bude proudový náraz 0,33 In TG.

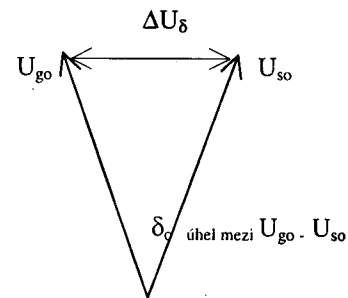
V praxi se snažíme fázovat při rozdílu napětí $\Delta u = 5\%$ a snažíme se, aby platilo $u_g > u_s$.

ad b) Fázový posun

Budeme předpokládat že platí tyto podmínky:

a) fázujeme na tvrdou síť $x_s = 0$, $x_v = x_t$

b) $U_{eo} = k \cdot U_{so} = \text{konst.}$, $U_{go} = U_{so}$



$$\overline{\Delta U_\delta} = \overline{U_{g0}} - \overline{U_{s0}}$$

$$\sin \frac{\delta_0}{2} = \frac{\Delta U_\delta}{U_{g0}} \quad \text{potom platí} \quad \Delta U_\delta = 2 \cdot U_{g0} \cdot \sin \frac{\delta_0}{2}$$

$$i_0 = \frac{\Delta U_\delta}{x d'' \cdot x_l} = \frac{2 \cdot u_{g0}}{x d'' + x_l} \cdot \sin \frac{\delta_0}{2}$$

Příklad výpočtu zapínacího rázu při fázovém posunu

fázový posun při němž je proudový náraz rovný $1 \times I_{nTG}$:

základní předpoklad $U_g = U_n = 1$ při fázování na tvrdou síť $x_l = x_s = 0$

$$i_0 = i_{nTG} = 1 = \frac{2 \cdot U_g}{x d'' + x_l} = \frac{2 \cdot 1}{x d'' + 0} \cdot \sin \frac{\delta_0}{2}$$

potom pro $x d'' = 15\%$

$$\delta_0 = 2 \arcsin \frac{x d''}{2} = 8,6^\circ$$

Tyto výpočty uvádím jako příklad možného zjednodušení.

14. Havarijní záblesková ochrana

Havarijní záblesková ochrana se používá jako doplňková ochrana pro rozvaděče vn a nn. Je založena na detekci elektrického oblouku. Ochrana vyhodnotí záblesk optickým snímačem a v krátkém čase cca 1 ms vypíná. Její největší výhodou je rychlost působení, která je dána vlastně jen dobou vypnutí vypínače.

V dnešní době se jedná o časy vypínačů 40 – 50 ms. Stejnou poruchu by nadproudová ochrana vypínala v čase minimálně 10x delším. Rychlé vypnutí snižuje významně škody na zařízení, ale hlavně může zachránit lidské životy. Podle statistiky plných 65 % poruch je způsobeno právě chybou obsluhy při práci v rozvaděči.

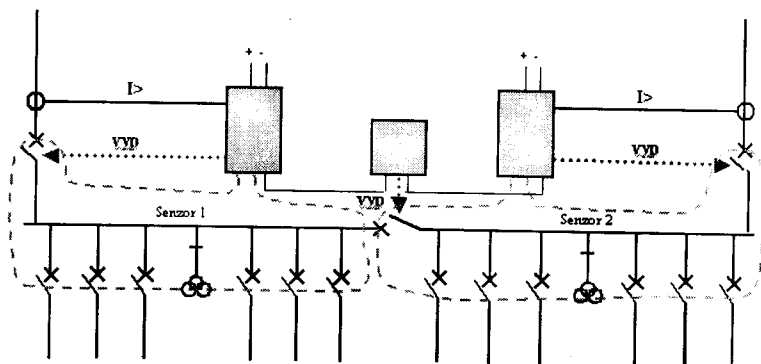
Zábleskové ochrany jsou řešeny jako stavebnice. Účelem je navrhnout takový způsob chránění, který umožní selektivně vypnout jen nejbližší okolí poškozeného místa a ostatní nepoškozené části rozvodu ponechat v provozu. Tady je vždy třeba volit kompromis mezi dokonalým selektivním chráněním s velkým množstvím prvků a složitým systémem propojení, nebo jednoduchý, lehce kontrolovatelný, ale méně selektivní systém.

Určitou nevýhodou zábleskových ochran bylo, že někdy vypnuly nadbytečně a tím vznikaly následné škody způsobené přerušením výroby. Většinou se jednalo o vypnutí od záblesku vzniklého při svařování v rozvodně, od slunce, od fotografování s bleskem, nebo někdy jen posvícení baterkou na svorky v rozvaděči. Dnešní zábleskové ochrany jsou již vybaveny proudovými vstupy a obvodem detekujícím proudovou podmínku (existují zábleskové ochrany s podpětíovou blokadou – zkrat je doprovázen podpětím). Ochrana může pracovat v režimu kdy zapůsobí jen tehdy, když je záblesk potvrzen současným nadproudem.

Další novinkou je nepřetržitá kontrola funkce snímače záblesků. Tady byl další zdroj nedůvěry v zábleskové ochrany. Když čidlo přestalo pracovat, byla jeho závada zjištěna až při pravidelné kontrole. Dnes se jako čidlo používá speciální optické vlákno, které prochází všemi chráněnými prostory. Vlákno je zapojeno do smyčky a pravidelně je aktivováno krátkými testovacími pulsy. Tyto pulsy jsou detekovány ve snímači záblesku a vyhodnoceny jako funkční stav ochrany.

Stejným způsobem jsou kontrolovány i spojovací cesty mezi jednotlivými jednotkami zábleskové ochrany. Při zjištění závady je vyhlášena vnitřní porucha ochrany. Včasné zjištění závady umožní poruchu rychle odstranit.

Příklad jednoduchého řešení s moderní zábleskovou ochranou. Rozvodna vn je vybavena dvěma příklady a spojkou. Sensorové vlákno prochází vždy prostorem přípojníc, pokračuje prostorem vypínačů a nakonec se vrací prostorem kabelových vývodů. Při detekci záblesku a současném nadproudu ochrana vždy vypíná postiženou polovinu rozvodny.



15. Požadavky na přístrojové transformátory

Kontrola použitých PTP

Kontrola přístrojových transformátorů proudu se zpravidla provádí jen u rozdílových ochranných a to z historických důvodů (chybné působení rozdílové ochrany při nevhodně navržených PTP), což je ale velká chyba. Kontrola měřících transformátorů se musí provádět vždy ve všech případech alespoň orientačně a pokud cítíme problém, je nutné provést důkladný výpočet.

Způsobů kontroly vhodnosti PTP je několik. Uvedu jen dva nejjednodušší, které jsou běžně uváděny v literatuře. Jeden počítá se skutečným nadproudovým číslem a druhý se zabývá limitním napětím a limitním proudem.

A) První příklad kontroly PTP je uveden v manuálu ochrany SPAD 346 firmy ABB. Tento způsob kontroly lze použít i pro jiné ochrany jiných výrobců. Vždy je rozhodující vyjádření výrobce, jaké skutečné nadproudové číslo daná ochrana potřebuje. (Obdobný způsob výpočtu je uveden v PNE 38 4065 i jiné literatuře). V některé literatuře se tento výpočet uvádí jako výpočet pro pomalé ochrany.

Příklad výpočtu skutečného nadproudového čísla:

$$n^* = n_n \cdot \frac{S_{in} + S_n}{S_{in} + S_a} \quad [-]$$

Štítkové údaje PTP: 100/1/1, 15 VA, 5P10, $R_{in} = 2,5 \, \Omega$

I_{1n} jmenovitý primární proud PTP = 100A

I_{2n} jmenovitý sekundární proud = 1A

S_n jmenovitá zátěž = 15VA

- n_n jmenovité nadproudové číslo = 10
 R_{in} odpor vinutí PTP = 2,5 Ω
 n^* skutečné (vypočtené) nadproudové číslo

Údaje ochrany

vstupní impedance ochrany

$$R_{ochr} = 0,25 \Omega$$

$$R_{svorek} = 0,05 \Omega$$

Přívodní vodič mezi PTP a ochranou

$$l = 58 \text{ m}$$

$$S = 4 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{Cu} = 0,0178571 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$S_m = I_s^2 \cdot R_m = 1^2 \cdot 2,5 = 2,5 \quad [\text{VA}]$$

$$S_a = I_s^2 \cdot (R_{ochr} + R_{svorek} + R_{vodiče}) = 1^2 \cdot (0,25 + 0,1 + 0,518) = 0,868 \quad [\text{VA}]$$

$$R_{vodiče} = 2 \cdot \rho \cdot \frac{l}{S} = 2 \cdot 0,0178 \cdot \frac{58}{4} = 0,518 \quad [\Omega]$$

$$n^* = n_n \cdot \frac{S_m + S_n}{S_m + S_a} = 10 \cdot \frac{2,5 + 15}{2,5 + 0,868} = 51,96 \quad [-]$$

Skutečné nadproudové číslo je 51,96.

Příklad jiného způsobu výpočtu skutečného nadproudového čísla:

$$n^* = n_n \cdot \frac{R_{BN} + R_i}{R_{BS} + R_i} \quad [-]$$

R_{BN} = jmenovité břemeno (zátěž) = 15 Ω

$$R_{BN} = \frac{S_{nPTP}}{I_{2nPTP}^2} = \frac{15}{1^2} = 15 \quad [\Omega]$$

S_n jmenovitá zátěž = 15 VA

n_n jmenovité nadproudové číslo = 10

R_{BS} připojené břemeno (zátěž)

$$R_{BS} = (R_{ochrany} + R_{vodiče} + R_{svorek}) = (0,25 + 0,518 + 0,1) = 0,868 \quad [\Omega]$$

vodiče mezi ochranou a PTP včetně ochrany a svorek jsou stejné jako v předcházejícím případě

R_i odpor vinutí PTP = 2,5 Ω

n^* skutečné (vypočtené) nadproudové číslo

$$n^* = n_n \cdot \frac{R_{BN} + R_i}{R_{BS} + R_i} = 10 \cdot \frac{15 + 2,5}{0,868 + 2,5} = 51,96 \quad [\Omega]$$

Výsledek je totožný s výsledkem výše uvedeného příkladu. Tyto výpočty musíme doplnit kontrolou na průchozí zkrat.

Nejprve musíme provést výpočet největšího průchozího zkratu měřicím transformátorem proudu, který chceme kontrolovat. Protože měřicí transformátory jsou většinou velmi blízko sběrný, je to tedy maximální zkratový proud na přípojnici. Budeme například předpokládat $I_{kmax} = 15$ kA. U výše uvedených PTP jsme vypočetli skutečné nadproudové číslo $n^* = 52$. Pro PTP s primární hodnotou $I_{1n} = 100$ A platí:

$$I_{1n} \cdot n^* = 100 \cdot 52 = 5200 \text{ [A]}$$

Z výpočtu vyplývá, že tento PTP se nepřesytí do velikosti zkratového proudu cca 4680 A (musíme počítat s 10% rezervou), při vyšších hodnotách zkratového proudu dojde k přesycení PTP. V našem případě by PTP nevyhověl. Řešením by mohla být například výměna PTP 100/1/1 na 300/1/1, ale je nutné zopakovat celý výpočet znovu, protože nový PTP bude mít jiný odpor vinutí R_1 .

Vliv břemena na velikost skutečného nadproudového čísla n^*

Následující příklady dokladují vliv břemena na skutečné nadproudové číslo a problémy s tím spojené. Použijeme stejnou ochranu jako v předcházejícím výpočtu, stejné PTP a vodiče mezi PTP a ochranou.

aa) PTP 100/1/1, 15 VA, 5P10, $R_i = 2,5 \Omega$, vodič PTP-ochrana 4 mm² Cu – délka 58 m

skutečné nadproudové číslo $n^* = 51,96$

ab) ponecháme stejné PTP, ale prodloužíme vzdálenost PTP - ochrana 580 m
skutečné nadproudové číslo se nám změní na $n^* = 21,8$

ba) provedeme záměnu použitého sekundárního proudu z $I_{2n} = 1$ A na $I_{2n} = 5$ A
PTP 100/5/5, 30 VA, 5P10, $R_i = 0,254 \Omega$, vodič PTP-ochrana 4 mm² Cu – délka 58 m

skutečné nadproudové číslo $n^* = 12,96$

bb) ponecháme stejné PTP (100/5/5) ale prodloužíme vzdálenost PTP - ochrana na 580 m

skutečné nadproudové číslo se nám změní na $n^* = 2,51$

Z výše uvedených výpočtů vyplývá, jak velký vliv má vnější břemeno (zátěž) na velikost skutečného nadproudového čísla a tím na přesycení PTP.

B) Druhý příklad kontroly PTP uvádí více autorů (Fiala, Dohnálek, Bermann), všechny příklady výpočtu byly publikovány už před více jak 30 lety. Přesto si myslím, že výpočet Ing. Jiřího Bermanna (otce Jiřího a Zdeňka Bermanna, pracujících dnes v ABB), je platný do dnešních dnů.

Aby se měřicí transformátor proudu nepřesytí stejnsměrnou složkou musí splňovat tyto podmínky:

$$U_{lim} > 0.7 \cdot I_k \cdot \frac{X}{R} \cdot \Sigma R_2 \quad [V]$$

$$U_{lim} > 2 \cdot I_{lim} \cdot \frac{X}{R} \cdot \Sigma R_2 \quad [V]$$

kde

I_k největší průchozí efektivní zkratový proud, přepočtený na sekundární stranu PTP

X/R poměr reaktance a odporu zařízení, které chráníme (největšího průchozího zkratu)

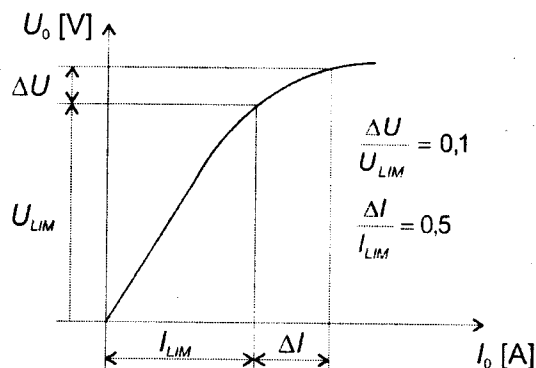
ΣR_2 součet všech ohmických odporů v sekundárním obvodu PTP, jiný součet je pro zapojení sekundáru do trojúhelníka, nebo do hvězdy:

$$\Sigma R_{2Y} = R_i + R_V \quad \Sigma R_{2\Delta} = R_i + 2R_V$$

R_2 ohmický odpor sekundárního vinutí PTP

R_V odpor přívodů od PTP k ochraně

I_{lim} limitní proud PTP



Pokud výrobce neudává limitní napětí U_{lim} a limitní proud I_{lim} , můžeme je odhadnout:

$$U_{lim} = n_n \cdot \left(\frac{S_n}{I_{2n}} + R_2 \cdot I_{2n} \right) \quad [\text{V}]$$

kde n_n jmenovité nadproudové číslo

S_n jmenovitý výkon PTP

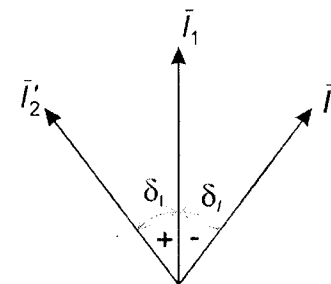
I_{2n} sekundární jmenovitý proud

pro výpočet I_{lim} platí:

$$I_{lim} = n_n \cdot I_{magn} \quad [\text{A}]$$

kde I_{magn} ... je magnetizační proud

$$I_{magn} = I_{2n} \cdot \delta \quad [\text{A}]$$



Chyba úhlu transformátoru proudu δ_i - je rozdíl úhlu mezi vektorem primárního a sekundárního proudu. U ideálního transformátoru je nulový. Chyba může být kladná nebo záporná.

kde δ chyba úhlu, podle ČSN 35 1360 tab.č.3 platí pro třídu 5P = 1°

$$\delta = 1 \cdot \frac{2\pi}{360} = 0,0174 \quad [-]$$

potom platí:

$$I_{magn} = I_{2n[5A]} \cdot \delta_i = 5 \cdot 0,0174 = 0,087 \quad [\text{A}]$$

$$I_{magn} = I_{2n[1A]} \cdot \delta_i = 1 \cdot 0,0174 = 0,0174 \quad [\text{A}]$$

Pro hrubé a předběžné posouzení vhodnosti PTP podle nadproudového čísla lze použít tato odvození :

skutečné nadproudové číslo PTP pro střídavý ustálený stav bude:

$$n_s = \frac{\Sigma R_{2n}}{\Sigma R_2} \cdot n_n \quad [-]$$

kde n_s skutečné nadproudové číslo

ΣR_{2n} jmenovité štitkové břemeno

$$\Sigma R_{2n} = R_2 + R_{vn} \quad [\Omega]$$

$$R_{vn} = \frac{S_n}{I_{2n}^2} \quad [\Omega]$$

vliv **stejnoseměrné složky** zkratového proudu nám skutečné nadproudové číslo PTP zmenší:

$$n_{ss} = n_n \frac{\Sigma R_{2n}}{\Sigma R_2} \cdot \frac{1}{0,7 \cdot \frac{X}{R}} = \frac{I_k}{I_{2n}} \quad [-]$$

kde n_{ss} skutečné nadproudové číslo zmenšené vlivem **stejnoseměrné složky**

$$n_{vyp} = \frac{I_k}{I_{2n}} \cdot \frac{\Sigma R_2}{\Sigma R_{2n}} \cdot 0,7 \cdot \frac{X}{R} \quad [-]$$

kde n_{vyp} vypočtené nadproudové číslo které by měl PTP splňovat, aby se nepřesytily **stejnoseměrnou složkou**

Přesnější výpočet je ovšem podle U_{lim} a I_{lim} .

Postup výpočtu:

Výpočet slouží k návrhu PTP nebo ke kontrole stávajících PTP.

Předem si vypočteme :

X/R poměr reaktance a odporu zařízení, které chráníme (největšího průchozího zkratu)

pro generátory platí : $\frac{X}{R} = \omega \cdot T_a$

příklad $T_a = 0,120 \text{ sec}$, $\frac{X}{R} = \omega \cdot T_a = 314 \cdot 0,120 = 37,7 \quad [-]$

pro transformátory platí:

$$Z_T = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{nT}^2}{S_{nT}}, \quad R_T = \frac{P_{kT}}{3I_{nT}^2}, \quad X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad [\Omega]$$

$$\frac{X}{R} = \frac{X_T}{R_T} \quad [-]$$

příklad - transformátor: 40 MVA, 110/23 kV, $u_k = 11,01 \%$, $\Delta P_k = 213 \text{ kW}$

$$Z_T = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{nT}^2}{S_{nT}} = \frac{14 \cdot 110^2}{100 \cdot 50} = 33,88 \quad [\Omega]$$

$$R_T = \frac{P_{kT}}{3I_{nT}^2} = \frac{23400}{3 \cdot 262^2} = 1,13 \quad [\Omega]$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{1147,85 - 1,2769} = 33,86 \quad [\Omega]$$

$$\frac{X}{R} = \frac{33,86}{1,136} = 29,8 \quad [-]$$

$$I_{magn} = I_{2n[5A]} \cdot \delta_i = 5 \cdot 0,0174 = 0,087 \quad [A]$$

$$I_{magn} = I_{2n[1A]} \cdot \delta_i = 1 \cdot 0,0174 = 0,0174 \quad [A]$$

příklad kontroly PTP:

transformátor 40 MVA, 110/23 kV, 210/1004 A, $u_k = 11,01\%$, $\Delta P_k = 213 \text{ kW}$

PTP sek.tr = 1000/1, $U_{lim} = 710 \text{ V}$, $R_2 = 6 \Omega$, $I_k'' = 7000 \text{ A}$,

$R_{ochr} = 0,25 \Omega$, $R_{svor} = 0,05 \Omega$, $R_{ved} = 0,518 \Omega$,

- PTP musí splnit první podmínku:

$$U_{\lim} > 0,7 \cdot I_k \cdot \frac{X}{R} \cdot \Sigma R_2 \quad [\text{V}]$$

$$I_k = \frac{I_k''}{p_p} = \frac{7000}{1000} = 7 \quad [\text{A}],$$

$$\Sigma R_2 = R_{\text{ochr}} + R_{\text{svor}} + R_{\text{ved}} + R_2 = 0,25 + 0,05 + 0,518 + 6 = 6,818 \quad [\Omega]$$

$$\frac{X}{R} = 20,64 \quad [-] \quad \text{výpočet výše}$$

$$U_{\lim} > 0,7 \cdot 7 \cdot 20,64 \cdot 6,818 = 689,54 \quad [\text{V}]$$

První podmínka vyhovuje $710 > 689,54$ s mírnou rezervou.

- PTP musí splnit i druhou podmínku:

$$U_{\lim} > 2 \cdot I_{\lim} \cdot \frac{X}{R} \cdot \Sigma R_2 \quad [\text{V}]$$

$$n_n = \frac{I_k}{I_{2n}} \cdot \frac{\Sigma R_2}{\Sigma R_{2n}} \cdot 0,7 \cdot \frac{X}{R} = \frac{7}{1} \cdot \frac{6,818}{36,818} \cdot 0,7 \cdot 20,64 = 18,72 \quad [-]$$

$$I_{\lim} = n_n \cdot I_{\text{magn}} = 18,72 \cdot 1 \cdot 0,0174 = 0,325 \quad [\text{A}]$$

$$U_{\lim} > 2 \cdot 0,325 \cdot 20,64 \cdot 6,818 = 91,47 \quad [\text{V}]$$

Druhá podmínka vyhovuje $710 > 91,47$ s velkou rezervou.

příklad kontroly PTP:

použijeme stejné zadání, jen u PTP nebudeme mít určeno U_{\lim} , ale nadproudové číslo n

transformátor 40 MVA, 110/23 kV, 210/1004 A, $u_k = 11,01\%$, $\Delta P_k = 213 \text{ kW}$

PTP sek.tr = 1000/1, $S_n = 30 \text{ VA}$, 5P20, $n = 20$, $R_2 = 6 \Omega$, $I_k'' = 7000 \text{ A}$,

$R_{\text{ochr}} = 0,25 \Omega$, $R_{\text{svor}} = 0,05 \Omega$, $R_{\text{ved}} = 0,518 \Omega$,

- PTP musí splnit první podmínku :

$$U_{\lim} > 0,7 \cdot I_k \cdot \frac{X}{R} \cdot \Sigma R_2 \quad [\text{V}]$$

$$U_{\lim} > 0,7 \cdot 7 \cdot 20,64 \cdot 6,818 = 689,54 \quad [\text{V}]$$

$$n_{\text{vyp}} = \frac{I_k}{I_{2n}} \cdot \frac{\Sigma R_2}{\Sigma R_{2n}} \cdot 0,7 \cdot \frac{X}{R} = \frac{7}{1} \cdot \frac{6,818}{36,818} \cdot 0,7 \cdot 20,64 = 18,72 \quad [-]$$

$$\Sigma R_{2n} = R_2 + R_{vn} = 6,818 + 30 = 36,818 \quad [\Omega]$$

$$R_{vn} = \frac{S_n}{I_{2n}^2} = \frac{30}{1^2} = 30 \quad [\Omega]$$

Podle výpočtu by PTP měl mít nadproudové číslo větší než 18,72

PTP podmínku splňuje neboť $20 > 18,72$

- PTP musí splnit i druhou podmínku:

$$U_{\lim} > 2 \cdot I_{\lim} \cdot \frac{X}{R} \cdot \Sigma R_2 \quad [\text{V}]$$

$$I_{\lim} = n_n \cdot I_{\text{magn}} = 20 \cdot 1 \cdot 0,0174 = 0,348 \quad [\text{A}]$$

$$U_{\lim} > 2 \cdot 0,348 \cdot 20,64 \cdot 6,818 = 97,94 \quad [\text{V}]$$

$$U_{lim} = n_n \cdot \left(\frac{S_n}{I_{2n}} + R_2 \cdot I_{2n} \right) = 20 \cdot \left(\frac{30}{1} + 6 \cdot 1 \right) = 720 \quad [\text{V}]$$

Druhá podmínka vyhovuje $720 > 97,94$

I když by se zdálo, že teorie měřících transformátorů je dostatečně známá a známo je i jejich chování při přechodových jevech, vládne dost velký rozdíl v názorech mezi jednotlivými odborníky. Totéž platí o výrobcích ochran. Velké renomované firmy (např. ABB, SIEMENS) mají svá doporučení, která jsou postavena na dlouhodobém výzkumu a zkušenostech svých odborníků. Hlavní rozpor je v délce časového odeznění stejnosměrné složky v případě přesycení. U vysokého napětí jsou konstanty přesycení PTP stejnosměrnou složkou poměrně krátké a případné přesycení většinou odezní v desítkách milisekund. Z tohoto plyne, že kontrola skutečného nadproudového čísla spolu s kontrolou na průchozí zkratový proud nám vystačí maximálně tak pro nadproudové a zkratové ochrany. můžeme případně provést kontrolu na limitní napětí a proud. Pokud nám bude výpočet vycházet s dostatečnou rezervou, můžeme pokládat výpočet za dostatečný. V případě ochran diferenciálních a distančních bychom kontrolu PTP měli ponechat firmě, která je na tyto výpočty zavedena, nejlépe obrátit se na výrobce ochrany.

Přístrojové transformátory z pohledu norem

Úměrně k citlivosti a přesnému působení ochran se zvyšují nároky na přesnou informaci z měřících transformátorů. Podmínky pro správnou činnost a provoz ochran z pohledu požadavků na přístrojové transformátory jsou uvedeny v ČSN 35 1360 (1974), ČSN 35 1361 (1984), PNE 38 4065 (2004).

Požadavky na přístrojové transformátory - pro zajištění spolehlivé činnosti ochran musí být výrobcem ochran stanoveny požadavky na příslušné parametry přístrojových transformátorů a na spojovací vedení mezi nimi a ochranami. Pokud ochrana není schopna za všech podmínek bezchybné činnosti s přesycenými transformátory proudu nebo kapacitními transformátory napětí, musí být omezující podmínky uvedeny v technických podmínkách ochrany.

Přístrojové transformátory proudu - pro ochrany jsou používány jistící PTP, charakterizované podle ČSN 351360 převodem (I_{1n}/I_{2n}) třídou přesnosti (např. 5P, 10P), jmenovitou zátěží (P_n), a nadproudovým činitelem (n_n). Využití PTP s jedním sekundárním vinutím pro měření i ochrany je možné u integrovaných systémů řízení a chránění. V těch případech, kdy jsou kladeny zvláštní požadavky na činnost ochran při přechodových dějích na začátku zkratu, tj. především v sítích, kde jsou relativně vysoké zkratové proudy a velká časová konstanta ss složky, se používají speciální transformátory proudu podle ČSN 351361, charakterizované limitním napětím U_{lim} , limitním proudem I_{lim} a vnitřním odporem vinutí R_2 . Potřebné pojmy jsou uvedeny a vysvětleny v ČSN 351360 a ČSN 351361.

Požadavky na přístrojové transformátory proudu - protože moderní ochrany jsou schopné pracovat i při určité míře zkreslení vstupních proudů (vyvolaného např. přesycením PTP), která se liší jak u jednotlivých typů ochran, tak i podle jejich výrobců, je vhodné a zapotřebí již ve fázi jejich volby vycházet z požadavků jednotlivých typů ochran na PTP, popř. vyžadovat od dodavatelů potřebné údaje. Tyto požadavky mohou být udány:

- a) potřebnou velikostí skutečného nadproudového činitele n_p definovaného způsobem podle

$$n_p \geq n_{min} \quad [-]$$

kde n_{min} je minimální velikost požadovaná výrobcem pro daný typ ochrany a podmínky jejího použití

- b) závislostí požadovaného n_p na časové konstantě sítě a násobku překročení jmenovitého proudu transformátorů proudu I_{ln} ustáleným zkratovým proudem I_k

$$n_p \geq k_{ss} \cdot k_k = k_{ss} \cdot (I_k / I_{ln}) \quad [-]$$

kde k_{ss} činitel předimenzování pro ss složku

k_k činitel dovoleného překročení nadproudového činitele
ustálenou složkou zkratového proudu

- c) požadovanou velikostí limitního napětí U_{lim} a limitního proudu I_{lim}

$$U_{lim} \geq k_d \cdot \frac{I_{ln}}{p_p} \cdot (R_2 + R_p) \quad [V]$$

kde k_d činitel překročení statického nadproudového činitele (udán buď jako konstanta respektující možné poměry X/R soustavy nebo funkcí X/R soustavy,

p_p převod transformátoru proudu,

R_2 činný odpor sekundárního vinutí transformátorů proudu,

R_p činný odpor vedení od transformátorů proudu a odpor přístrojů

(ochrany- vnější břemeno)

Pokud nejsou známy požadavky výrobce ochrany na dimenzování PTP, pak je zapotřebí vycházet z následujících nároků pro ochrany, které vyžadují nezkreslený přenos proudu, a to:

pro jistící transformátory rozdílových ochrany,

$$U_{lim} > 0,7 \frac{I_k}{p_p} \cdot \frac{X}{R} (R_2 + R_p) \quad [V]$$

pro jistící transformátory distančních ochrany

$$U_{lim} > 0,5 \frac{I_k}{p_p} \cdot \frac{X}{R} (R_2 + R_p) \quad [V]$$

současné musí být splněna podmínka:

$$U_{lim} > 2 I_{lim} \frac{X}{R} (R_2 + R_p) \quad [V]$$

kde I_k značí počáteční rázový zkratový proud

X/R poměr reaktance k činnému odporu zkratového obvodu,
ve kterém jsou kontrolovány podmínky pro činnost ochrany

Pozn: Činný odpor sekundárních vinutí PTP je závislý na jejich konstrukčním provedení a dimenzování. Jeho velikost je zapotřebí vyžádat si u výrobce.

Jmenovité nadproudové číslo (n_n) (viz ČSN 35 1360) je udáno při zatížení sekundárního vinutí jmenovitým břemenem při jmenovitém sekundárním účinníku a při jmenovitém kmitočtu.

Při skutečném břemeni se přepočte nadproudové číslo podle výrazu:

$$n_s = \frac{Z_i + Z_n}{Z_i + Z_s} \cdot n_n \quad [-]$$

kde Z_i značí vnitřní břemeno transformátoru proudu

Z_n jmenovité břemeno transformátoru proudu

Z_s skutečné vnější břemeno transformátoru proudu

n_s skutečné nadproudové číslo (vypočtené)

n_n jmenovité nadproudové číslo

$$Z_n = \frac{P_n}{I_{2n}^2} \quad [\Omega]$$

kde I_{2n} značí jmenovitý sekundární proud

P_n jmenovitou zátěž.

Krajní provozovací proud – hodnota krajního provozovacího proudu je 120 % jmenovitého primárního proudu. U transformátorů označených na štítku „ext“ je hodnota krajního provozovacího proudu 150% nebo 200 % (podle označení).

Literatura:

- Bermann, J.: Transformátory proudu pro rychlé ochrany. Měření a regulace 2/1970, p.50-58. 1970
- Bermann, J.: Diferenciální ochrana R30 – návod pro projektování a uvádění do provozu. II.vydání. ZPA Trutnov 1971
- Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku. SNTL/ALFA, Praha 1978
- Haluzík, E.: Ochrany a automatiky v elektrických sítích. VUT Brno. 1986
- Procházka K., Štedrý B., Rada V., Dvořák M. : Spolupráce ochran a přesycených jistících transformátorů proudu. Energetika 11/1983, p.552-558. 1983
- ČSN 35 1360 (1974) Přístrojové transformátory proudu a napětí
- ČSN 35 1361 (1984) Speciální jistící transformátory proudu
- PNE 38 4065 (2004) Provoz, navrhování a zkoušení ochran

16. Rogowského cívka a napěťový dělič

V poslední době se stále více začínají používat tzv. senzory jako náhrada za měřicí transformátory proudu a napětí. Mají řadu výhod oproti klasickým měřicím transformátorům, ale mají i řadu nevýhod. Výhoda je lineární přenos informace a nemožnost přesycení střídavou a stejnosměrnou složkou. Nevýhody jsou : senzory proudu nemohou spolupracovat se všemi ochranami a nesmí být vzdáleny od ochrany více než 6 metrů, senzory napětí se dodávají s přesností měření 1,5% a proto se nedají použít ve všech případech (obchodní měření atd.).

Měření proudu

Rogowského cívka obsahuje toroidní vinutí, proudový vodič je uspořádán tak, že prochází středem toroidu. Na výstupu čidla je napětí, které je úměrné získanému proudu. Principy měření pomocí Rogowského cívky jsou známy již od roku 1912. Rogowského cívka je rovnoměrně vinutá cívka, která má nemagnetické jádro. Nejjednodušší model Rogowského cívky je toroid se vzduchovým jádrem. Může být zhotovena z vinutého drátu na pružné trubici s pevně spojenými konci. Proud procházející cívkou indukující napětí e je vyjádřen následujícím vzorcem:

$$e = \mu \cdot N \cdot A \frac{dl}{dt} \quad [V]$$

kde μ = permeabilita volného prostoru

N = počet závitů (závity /m)

A = jednoduchá plocha závitu (m^2)

H = citlivost transformátoru (Vs/A)

Díky použití nemagnetického jádra v cívkě neprobíhají žádné nelineární jevy (např. saturace). Z mnoha pohledů je tato cívka ideální proudové čidlo

pro aplikace, kde není nutné provádět měření stejnosměrného proudu. Protože Rogowského cívka není nasycená, může být použita pro měření proudu od několika ampér do stovek kiloampér. Získaný výsledek má vždy vynikající přesnost (0,2%).

Měření napětí

Pro měření napětí byl zvolen princip odporového napěťového děliče. Napěťová čidla užívaná k měření vysokého napětí fungují jako odporový napěťový dělič.

Tentýž senzor může být použit v síti o rozsahu od 7,2 kV do 24 kV.

Normální předpokládaná přesnost je $\pm 0,5 \%$.

Senzory se vyrábí proudové, napěťové a kombinované. Jako příklad uvádím výrobky ABB.

Proudový senzor (Rogowského cívka) KECA A1 do 24 kV

Jmenovitý proud 80 – 300 – 800 A, výstupní napětí 150 mV, maximální délka kabelu od senzoru k ochraně je 4 m.

Co tato data znamenají:

Převod senzoru je 80/150 mV, 300/150mV, 800/150 mV,

Měřicí rozsah je dán měřicí možností senzoru, tj. od 0,4 In (pro 80 je to 32 A), do 60 In (pro 80 je to 4800 A).

Maximální rozsah je dán maximálním napětím 9 V, které je možné použít pro digitální ochrany. Toto je měřicí rozsah senzoru, kdy je zaručen lineární přenos informace.

Napěťový senzor (Odporový dělič) KEVI 24 A1, KEVA 24 A1

Jmenovité napětí do 24 kV, dělicí poměr 10000/1, maximální délka kabelu od senzoru k ochraně je 4 m.

17. Více-transformátorové oblasti 110kV

Transformační koncepce v České republice

Všechny transformátory zapojené alespoň jednou stranou k tvrdě zemněné síti mají vždy trojúhelníkové vinutí. Toto vinutí je v náhradním schéma transformátoru umístěno systematicky vždy na straně nižšího napětí. To platí jak pro transformátor dvouvinutový, tak pro trojvinutový a velikost jejich poměrné impedance je koncepčně taková, aby korespondovala s ostatními v celé síti. Je to z mnoha prospěšných důvodů a tato koncepce by neměla být rozbita bez ohledu na majitele energetických zařízení, neboť špatná volba jednoho ohrožuje jiného a naopak. Tak má například síťový transformátor 400(220)/110kV trojúhelníkový terciál v náhradním schématu na straně 110 kV a jeho $e_{k\ II-III} = 0,20\ \%$ a síťový transformátor 110kV/vn má trojúhelníkový terciál v náhradním schématu na straně vn a jeho $e_{k\ I-III} = 0,18\ \%$ – tím se rovnoměrně rozlévají proudy zemních zkratů podle velikosti transformátorů.

Sítě 110 kV v České republice

Z historických souvislostí u nás přetrvávají sítě 110 kV v podobě oblastí spojených s nadřazenou sítí 400 resp. 220 kV zpravidla jen jedním transformátorem. Přes tuto skutečnost je celá síť 110 kV u nás velmi seriózně vedena jako důsledně tvrdě-zemněný systém s pečlivě sledovanými parametry a dá se o ní říci, že není sítí distribuční, ale má zcela specifickou a nezastupitelnou úlohu. Vytváří spojitost mezi sítí zvn (400 a 220 kV) a vn (22, 35 a 6,3kV), a její zapojení má za úkol „hlídat“ souvislosti mezi:

- nadřazenou sítí zvn
- transformátory zvn/110kV
- vlastními sítěmi (oblastmi) 110kV + rozvodnými podniky

- d) elektrárnami v síti 110kV s jejich společnými vlastními spotřebami
- e) elektrárnami v nadřazené síti, ale se společnými vlastními spotřebami ze 110kV
- f) sítěmi „veřejné“ energetiky vn
- g) továrnami ze 110kV

Z důvodu optimalizace ztrát, spolehlivosti provozu, chránění a údržby zařízení je toto vše nutné vést už od samého počátku vývoje až po provozování sítě tak, aby byly splněny následující atributy:

- 1) přenosy + ztráty + napětí
- 2) zkrat
- 3) pracovní schémata
- 4) poruchová schémata
- 5) chránění
- 6) HDO

Splnění těchto atributů vytváří **sourodou, vyrovnanou, hospodárnou a spolehlivou síť**, která si při poruše „POMŮŽE SAMA“, protože vše je napřed navrženo a propočteno, a tedy ZNÁMO. Podstatně se dá zlepšit dnešní stav. U nových zařízení jsou investice menší (v některém ohledu i žádné) a rychleji se vracejí.

Nesplnění některého atributu vede v provozu ke komplikacím manipulačním (ale nejen těm), k množení poruch, zvětšování jejich rozsahu, až téměř k nemožnosti takovou síť provozovat. Platí zásada taková, že nesplněním JEDINÉHO atributu je navržena síť NEFUNKČNÍ.

Jde totiž o to, navrhnout síť, která je svým zapojením stálá, její zapojení se nemění při uvolňování zařízení pro práce, snese k uvolněným zařízením i další zařízení vypadlá poruchou (nejen n-1!) a vždy je vypnuté jen postižené zařízení nebo zařízení, které selhalo. Aby to bylo možné, je potřeba mít napájení z více než jedné strany, což vede k menším ztrátám, k rovnoměrnějšímu rozložení zkratových proudů, k lepšímu chránění se zálohováním ... Návrh sítě, který je v pořádku jen přenosově a jen v základním zapojení, není vyhovující (je splněna jen malá část 1). Navrhovat takové síť je možné jen z celkových znalostí uvedených atributů, protože jen tak lze směřovat návrh k úspěšnému cíli **bez zdoluhavých konzultací nebo úprav až za provozu** (což už je většinou nemožné).

U nového zařízení (rozvodny, teplárny aj.) je nezbytné už ve stadiu úvodního záměru upozornit na způsob zaústění a chránění, aby zapadlo do koncepce okolní sítě. Projektant ani nemůže znát tuto síť a zpravidla ani nezná vliv projektovaného zařízení na ní.

Nejčastěji se chybí v tom, že projektant navrhne chránění jen „svého“ zařízení a neuvědomí si, že toto zařízení je vlastně chráněno z okolní sítě, že to vyžaduje změny nastavení ochrany v ní a že mnohdy znemožní chránění okolní sítě samotné (Bauchův jev, dosahy a rychlost zálohování ochrany). Je třeba si uvědomit, že v síti 110kV platí, že **ochrana, která není přímo u daného zařízení, je přesto ochranou tohoto zařízení** – např. rozvodna 22kV má své záložní ochrany na linkách 110kV, transformátor 400(220)/110kV má distanční ochranu do 110kV sítě jako zálohu linek 110kV... Žádné rozhodnutí nemůže tuto zásadní vlastnost sítě 110kV, **systém vzdáleného zálohování ochrany**, najednou změnit. Když z důvodu nesprávného vývoje sítě dojde k nekoordinovanému nastavení ochrany, pak dojde v lepším případě k větším omezením dodávky,

a v horším případě k častějšímu ničení zařízení v důsledku dlouhotrvajících zkratů.

Malé přiblížení:

Při pouhém odporu poruchy 1Ω protékaným zkratovým proudem $1kA$ se vytváří teplo o výkonu $1MW$. Trvá-li taková porucha $3,6s$ vytvoří se teplo $1kWh$.

Zkratové proudy vytékající z $T_{zvn}/110kV$ jsou $10kA$ a vyšší (podle zapojení sítě $110kV$). To při 1Ω poruchového odporu činí už $100MW$, a tedy při trvání $3,6s$ $100kWh = 0,1MWh$!

Z toho vyplývá velká důležitost v nastavení distanční ochrany u $T_{zvn}/110kV$ směřované do $110kV$ sítě jak pro síť $110kV$, tak pro vlastní transformátor – není-li zapojení sítě a nastavení této ochrany tvořeno pohromadě, není možné nastavit dobré optimální hodnoty – logické dělení působnosti je až na straně zvn tohoto transformátoru, ale to odporuje teritoriím vlastnictví.

Dále se nezohledňuje, jak nové zařízení ovlivní přenosovou schopnost přenosových linek $110kV$ tak, že se při jednostranném dlouhém zaústění přenos doslova „přeleje“ např. jen na jednu ze dvou původních přenosových paralelních linek a vlastní linka se zatíží kombinací zbylého přenosu a nového konzumu; T-odbočka zase naproti tomu zachová původní délku přenosové linky, a tím superpozicí zátěže a původního přenosu zatíží více linku vlastní. Tím se **smazává přenosová průhlednost sítě**. Ochrannářsky obě tato řešení přinášejí rovněž těžkosti. Podrobněji bude o tom pojednáno dále.

Takové souvislosti cítí jen ten, který s těmito záležitostmi zachází. Jsou jen těžko sdělitelné lidem, kteří pracují jen o kousek na jiné věci. Můžeme se však rozhodnout vždy jen dobře nebo špatně – **žádné kompromisní řešení nemůže nahradit optimálnost společného pohledu.**

Výsledkem takto koncipovaného návrhu je oblast $110kV$ spojená s nadřazenou sítí přes více než jeden transformátor a to v zapojení typu:

- **MŮSTEK (bridge)** s elektricky (ale i místně) blízkými transformátory
- **NOVÝ KONCEPT (new concept)** s elektricky (ale i zeměpisně) vzdálenými transformátory
- **KOMBINACE obou (combination)**

Více-transformátorové oblasti $110kV$

Zmíněné typy více-transformátorových oblastí $110kV$ nesou sebou hlavní výhodu: výpadek jednoho z nich nevede k osamostatnění (či celkovému omezení) celé oblasti. Z pohledu ztrát transformátorů jsou hospodárnější dva transformátory již od zatížení něco málo nad polovinou jejich jmenovitého výkonu. Jsou-li transformátory elektricky vzdálené, šetří se ve společné oblasti na ztrátách linek $110kV$ a ztráty na $T_{zvn}/110kV$ pak mohou být z pohledu transformátorů i větší.

Při výpadku jednoho z $T_{zvn}/110kV$ se počítá s povolenou dobou přetížení zbylého transformátoru, která je řádově desítky minut, za kterou provozní personál (vč. dispečera) stačí pohodlně zjistit příčinu a zařídít nápravu: zapnutím transformátoru zpět nebo spojením spínačem přípojníc v uzlové rozvodně nebo v určitých hlavnějších styčných (= hraničních) rozvodnách uvnitř oblastí (např. Toužim, Vernéřov, Slapy, Havlíčkův Brod) – jednostranně vypnuté linky jsou v podstatě mrtvé investice.

Důležitý přínos je ve vytvoření méně ztrátových linkových větví (půlkruhů) sítě trvale oboustranně napájených. Tím výpadek jedné strany nevede k jejich omezení a navíc jsou ochrany na nich oboustranně dobře zkratově „nakrmeny“ – nad jejich prahové proudy. Bauchův paradox mající za následek

špatné volby postižených fází, a tím zpoždění ochrany (a to i u nových ochran), je tím velmi zmírněn a linkové distanční ochrany dobře OZ-tuji. Je znatelně větší počet úspěšných OZ a to jednopólových = přes 90% je jednopólových zkratů, které krátký vypínací čas distančních ochran z titulu dobrého výběru fáze a dostatečného proudu nenechá rozrůst se na vícefázové. Takto je z těchto jednopólových OZ ještě přes 90% OZ úspěšných, protože ty mají možný delší čas OZ-pauzy než OZ trojpólové, a tedy lepší časové překrytí (beznapěťovou pauzu). Na to, aby vše fungovalo jak potřebujeme, se napočítá u můstkových zapojení nastavení ochran pro vypnutí diagonály v uzlové rozvodně.

Vytvoření takové větve-půlkruhu v klasické oblasti však vede z právě popsané příčiny k výpadku T zvn/110kV při zkratu blíže k uzlové rozvodně z důvodu kaskádního vypínání linkových ochran a trvalého náběhu distanční ochrany T zvn/110kV směřované do 110kV. Nedostatečné prahové proudy vedou při bližších zkratech u uzlové rozvodny též k neselektivním výpadekům vzdálenějších ochran z důvodu rozdílných prahových proudů distančních ochran: u stejného typu je to z důvodu různých převodů TP, různě nastavené základní impedance z titulu velmi krátké linky a u různých typů je to z titulu o řád se lišících prahových proudů - staré elektromechanické ochrany s prahovými proudy okolo I_{nTP} a nové s prahovými proudy okolo $0,1 I_{nTP}$. Zpoždění distanční ochrany z titulu Bauchova paradoxu má též za následek neselektivní působení vzdálenějších ochran, které jdou jako vzdálené zálohy, ovšem bez OZ (zejména paprskové tahy). Zpoždění distanční ochrany na některý z popsaných jevů má za následek časovou proměnnost odporu oblouku, což vede při jeho zvětšování ke zpoždění i ostatních ochran („honí“ vzrůstající odpor zvětšováním citlivosti přepínáním dalších stupňů) a při jeho náhlém zmenšení (tzv. prohoření zkratu) k neselektivnímu vypnutí celé „šňůry“ naběhlých distančních ochran (REL511 jako jediná je proti prohoření imunní – obnovuje selektivitu časováním každé

zóny zvlášť a kromě toho jako 6-ti systémová distanční ochrana má velmi dobrý princip výběru zkratové smyčky. REL316 má ojedinělou časově dvojstupňovou logiku výběru zkratové smyčky v každém stupni odlišně 6-ti systémovou. Obě mají například způsob odlišení dvoufázového zkratu se zemí od jednofázového s cizí fází.).

Linkové větve jsou v můstkové oblasti vytvořeny tak, aby to byly přenosově i ochranně průhledné tahy. Není-li to tak, tvoří se poruchová schémata odlišná od provozních (např. rozpadem spínačům přípojníc tzv. podružných můstků – diagonál), která přináší výhodu oddělení zdravé větve od postižené (ve dvojvětví = např. paralelní linky), takže vypnuté po poruše zůstává jen postižené místo, anebo navíc jen nezbytně to, co selhalo. Je potřeba využívat provoz v takových rozvodnách na více sběrnách – rozvětvení a paralelní spojení se zpřehlední. Je věcí výpočtu-návrhu zapojení, přenosů a nastavení ochran v základních a poruchově-pracovních schématech. Poruchová schémata musí být životaschopné, tj. nesmí být nikdy o něco nebezpečně přetížené, takže dispečer má klid k nápravě.

Linkové větve není správné navrhovat jako trojsměrové rozvodny, které, jsou-li všechny linky pod přenosy, nedávají jasný obraz, co je přenos a co konzum, vedou k nedefinovaným zkratovým proudům (zejména ve vztahu k prahovým) a ke špatnému zálohování ochran (pojem distanční ochrana ztrácí smysl – jde jen o impedance relé, které vidí každou následnou linku jinak, čímž vycházejí záložní časy několika vteřinové!). Platí totiž zkušenost, že vypne-li se zkrat do 0,5s (základní chránění linek), nejsou vidět po zkratu ani propaly, vypne-li se zkrat do 1-1,5 s (normální záložní časy), propaly už vidět jsou = předznamenávané cestičky pro příští zkraty, ale vypne-li se zkrat za delší dobu, pak už dojde k mechanickému poškození = nutná oprava, vyřazení linky z přenosu. Je třeba si uvědomit, že normální záložní čas 1-1,5s je zároveň záložní čas

pro sběrnový zkrat v následné rozvodně – a je-li delší? Chceme-li se s trojsměrovou rozvodnou těmto nepříjemnostem vyhnout, musíme vypnout jednu stranu (linku) a budeme v ní mít mrtvou investici. (Takový trojsměrový „systém“ je již bohužel k vidění a rozvíjí se).

Řešení přípojnicového zkratu na jedné ze sběrů uzlové rozvodny je řešeno tak, že jednostranné poruchové rozpojení všech kruhů (větví) odpojí jen postiženou sběrnou a jinak celá oblast zůstává pod napětím ze zbylých druhých stran. Opět, selže-li nějaký linkový vypínač v protější rozvodně, je navíc omezena jen tato sběrna vzdáleným záložním vypnutím. Opět je omezeno jen postižené zařízení a při tom se vypnulo $n - x$ linek. Je to založeno na tom, že každá větev sama sebe přenosově unese při vypnutí jedné strany (tak musí být nebytně přirozeně navržena i pro klasické zapojení).

U více transformátorové oblasti se vzdálenými T zvn/110kV (NOVÝ KONCEPT) jsou nutné přetokové ochrany a je před jejím návrhem otázkou, zda přetok nezaplní spojovací trasu natolik, že je spojení nemožné (trvalý přetok je moc velký) nebo nejisté (k oddělení obou stran transformací bude docházet z malých příčin často). Je nutné vždy najít místo, které je jednoznačným kritériem pro dělení z nadměrného přetoku při „rozevření“ nadřazené sítě zvn (ale i z jiných důvodů) a kde se automaticky provede předem navržené dělení na dvě předem spočtené oblasti 110kV schopné dlouhodobého provozu. Nenajde-li se takové místo a přetěžuje-li se někde něco jiného (např. jeden z T zvn/110kV), z kterého není na první pohled vidět, že je to z nadměrného přetoku, protože toto přetížení může pramenit i z jiných příčin, je to oblast nefunkční.

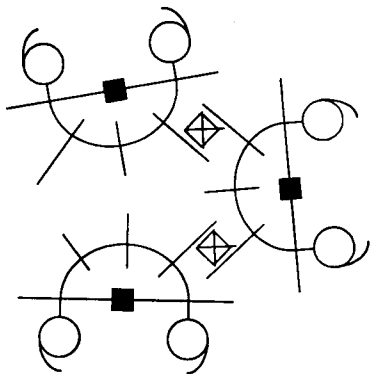
Zdaří-li se návrh takové oblasti se vzdálenými transformátory, vzejde z toho ta výhoda, že při výpadku nadřazené sítě na té či oné straně se „bezprizorní“ strana (bez T zvn/110kV) udrží na ES, připojena ke zdravé oblasti. Je-li „bezprizorní“ oblast bez zdrojů, pak se tím zabrání omezení celé

oblasti; je-li se zdroji, pak frekvenčnímu odlehčování a separátu. Důležitým aspektem při návrhu je dobré (nízkoimpedanční) a málo proměnné přemostění dané části soustavy 110kV nadřazenou sítí s méně proměnnými přenosy včetně poruchových stavů ... Obecně jsou tyto oblasti mnohem obtížnější na návrh a propočtení životaschopnosti než oblasti s místními T zvn/110kV.

Jako příklady oblastí 110kV s elektricky vzdálenými transformátory je možné uvést:

- Dlouhodobě provozovaná trojtransformátorová můstková oblast ŘEP (ŘEPORYJE) s třetím T400/110kV zapojeným elektricky vzdáleně (avšak zeměpisně místně – z jedné r.400kV) přes 3 linkové tahy s pražskými rozvodnami. Zde nejsou přetokové ochrany – nejsou potřeba.
- Dlouhodobě provozovaná čtyřtransformátorová dvoj oblast DAKO (DASNÝ-KOČÍN) – dva můstky spřažené dvěma silnými linkami s přetckovými ochranami.
- Dlouhodobě provozovaná oblast VÝŠKOV (VÝŠKOV 2 – CHOTĚJOVICE VÝCHOD) s „choulostivým“ odběrem Chemopetrolu Litvínov ve spojovacím dvojpotahu 110kV. Přetokové ochrany s dvojnásobným smyslem dělení jsou v Chemopetrolu – pro snadnější dispečerskou orientaci byla zpracována tzv. „Výkonová váha“ s vyznačeným kritériem dělení.
- Připraveno je rozšíření předchozí oblasti s můstkovými CHOTĚJOVICEMI a s přidáním VÝŠKOV 4: VY24CHO2T. Vzniká tak oblast se dvěma mezi sebou elektricky vzdálenými T zvn/110kV Výškov proti dvěma vzdáleným T220/110kV Chotějovice.

Obecně bych se přimlouval nejprve za přijetí názoru na výhodnost více-transformátorových oblastí a pak navrhovat můstková zapojení. Z nich vytvářet celoplošnou mozaiku můstků (viz obrázek).



Obrázek ukazuje **princip můstkové mozaiky**. Hraničních rozveden s rozeprnutými spínači přípojníc mezi dvěma sousedními oblastmi může být i víc (například mezi MAL a ŘEP byly čtyři: Praha Sever, Praha Jih, Praha Střed a Chodov). Umožní to pak bezproblémovější zatížitelné spojení v poruchovém, nouzovém, či pracovním stavu.

Ještě pár slov k elektrárnám v sítích 110kV. Koncepčně je výhodné mít je přes síť naproti uzlové rozvodně, neboť to snižuje ztráty (elektrárna se dělí s T zvn/110kV o spotřebu), zrovnoměňuje napětí v celé síti a zkratové rozložení v síti je rovnoměrné – „nakrmení“ ochrany je lepší (např. Vřesová v oblasti VÍTKOV, Elektrárny Poříčí a Opatovice v oblasti NEZNÁŠOV, Elektrárna Mělník a Slapy v oblasti ŘEPORYJE a MALEŠICE, ...). I tak jsou mnohdy zkratové proudy od vzdálené elektrárny u uzlové rozvodny již nízké (srovnatelné s I_{nTP} , a tedy řádově jen stovky ampérů) a je potřeba promyšlených poruchových schémat. Vložená elektrárna pak pro distanční ochrany tvoří velké boční napájení,

a tedy zhoršuje dosahy distančních ochrany a je tedy dobré vytvořit rozdělení zdrojů na dvě přípojnice s rozpadovým místem (Vřesová).

Napětí:

Snaha udržet dobré napětí v celé síti nás přivede zase ke zkrhovaně dvoustranně napájené síti s paralelními potahy (více-transformátorová oblast, elektrárna naproti uzlové rozvodně). Jednostranně napájená síť s paprskovými vedeními, s trojsměrovými rozvodnami, ... má velké rozdíly napětí na začátku a konci. Napětí na konci se ve velkém rozsahu mění s dýcháním zatížení v čase.

Základní názvosloví

Z výše popsaného vyplývají základní názvy (pojmy) pro více-transformátorové oblasti 110kV:

Hlavní můstek - můstek celkového zapojení oblasti (zpravidla v uzlové rozvodně)

Podružný můstek - můstek uvnitř oblasti (v některé vnitřní rozvodně oblasti)

Hraniční rozvodna - rozvodna, kde spínačem přípojníc lze sepnout dvě sousední oblasti 110kV

Pracovně-poruchová schémata - schémata předem spočtená pro ustálený stav při uvolněných a vypadlých zařízeních – vznikají ze základního zapojení pouhým vyjmutím daného prvku

Základní stupně záchrany více-transformátorové oblasti 110kV

I. stupeň: Vytvoření poruchového schématu

To je základní odlišnost od klasické oblasti - síť si při poruše pomůže sama - bez zásahu dispečera vytvoří provozuschopné schéma. Omezeno je jen postižené (při vzdáleném zálohování ještě selhavší) zařízení.

II. stupeň: Frekvenční odlehčování celoplošné

V klasické oblasti to byl už I. stupeň záchrany oblasti. Celkové schéma sítě 110kV zůstane zachováno, odlehčí se promyšleně vybraní konzumenti vn.

III. stupeň: Frekvenční tvoření ostrovů (a záskoky)

Zejména městské s teplárnami (Plzeň) a továrny s místními zdroji (Chemopetrol). Ostrov je možné po oddělení ještě dále bilancovat (frekvenčně nebo bilančně nebo obojí se vzájemnou zálohou). Některé konzumy je možné (i sfázované!) převést záskokem na zdravou síť.

Poznámka ke zkratovým poměrům v můstkové oblasti

Doposud zde byla řeč o tom, jak můstek pomůže úspěšnému OZ (atd.) u uzlové rozvodny a neřekli jsme, jak je to se zvětšeným zkratovým proudem v uzlové rozvodně a jejím okolí. U čistě konzumní oblasti jsou mezifázové zkraty dvakrát větší a zemní méně než dvakrát větší – asi 1,5-krát. U oblasti se zdroji je to méně. Princip je ale takový, že žádný vypínač v uzlové rozvodně nevypíná celý zkratový proud. Spínač přípojnic rozepne nejprve téměř poloviční zkratový proudový příspěvek a pak:

- je-li přípojnicový zkrat, pak každý linkový vypínač (místní neb protilehlý podle toho, je-li ochrana rozvodny, či nikoliv), jen menší část okružního proudu,
- je-li zkrat linkový (blízký), pak linkový vypínač vypíná už jen zmenšený proud „ztrhnutý“ předřazenými impedancemi můstkových větví.

Aby byla jistota, že příčný SP vypne správně dříve než linkový, musí mít elektromechanickou nadproudovou ochranu, jejíž popud-vypnutí přijde za 3ms + 7ms pomocné relé a k ní je pak na druhou cívku ochrana nová digitální, která přijde za cca 30ms, což je stejný čas jako u nové distanční ochrany (35ms)

a skoro poloviční než u elektromechanické (50-80ms). Proto **není ani nutné, aby vypínače v uzlové můstkové rozvodně byly dimenzovány na plný zkratový proud**. Samozřejmě je lepší, když tomu tak je, hlavně u SP, ale nutnost to není.

Poznámka: V těchto souvislostech je si třeba uvědomit, že i dnes u klasické oblasti je v manipulačním stavu možný provoz se dvěma T zvn/110kV, a pak je provoz jakoby na jedné přípojnici (cca 2I_k běžného provozu), kterému musí vyhovovat rozvodna! V tomto duchu dimenzování se můstkové zapojení nijak od klasické oblasti neliší.

Z praxe víme, že se ještě nikdy nic nestalo kvůli tomu, že by byl zkratový proud moc velký, když byl vypnutý včas (díky tomu, že byl dostatečně velký), ale stalo se už hodně, kvůli tomu, že zkratový proud byl moc malý a byl vypnutý za moc dlouho anebo vůbec! (díky tomu, že byl malý). Víme, že nic se nemá přehánět a že velký proud přesytí TP a ochrany se zpozdí, ale víme také, že malý proud může být pod citlivostí ochran. A teplo, které se zkratovým proudem vyvíjí, při malém zkratovém proudu srovnatelném s jmenovitým (i menším!) nevádí přírodním prvkům (linkám atd.), ale zkratovému místu:

$$Q = R_F \cdot I^2 \cdot t \quad [\text{MWs}; \Omega, \text{kA}, \text{s}]$$

Před jeho velikostí bylo už zde varováno dříve.

Koncepce chránění v oblastech 110kV

Soustava 110kV je chráněna distančními ochranami se vzdáleným zálohováním. Výpočet vlastního chránění je nepoměrně jednodušší než záložního. To předpokládá zapojení, kde se blížíme vztahu:

$$Z = k \cdot d \quad [\Omega; \Omega/\text{km}, \text{km}]$$

Z = impedance chráněného zařízení (linky, transformátory aj.)

k = konstanta úměrnosti

d = vzdálenost

Vnitřní rozvodny oblastí:

Abychom splnily nároky na včasné vypnutí zkratu, je potřeba v místech, kde k v protější rozvodně mění svoji velikost proměnným způsobem, mít někdy v této rozvodně dvě distanční ochrany na lince (ověří se výpočtem). K tomu se přidružuje ještě nelineární průběh impedance (k je funkcí d) a její razantní časová proměnnost s vypnutím protější ochrany. Jsou to rozvodny s více linkami pohromadě a s elektrárnou (Vřesová, Elektrárna Mělník, Elektrárna Opatovice, ale i např. Plzeňské rozvodny atd.) a dále tři a více-směrové rozvodny (Domažlice, Stříbro, Tachov, Nová Paka atd.). Dále je správné mít aspoň v těchto rozvodnách systémové ochrany rozvodny (zkratová + selhání vypínače) – většinou se vystačí s logickou ochranou rozvodny (LOR), která nepotřebuje přípojnicové odpojovače (digitální ochrany ABB nebo ORGREZ), v některých opodstatněných případech musí být LOR s přípojnicovými odpojovači (digitální ochrany ABB). LOR je dobrá v každé vnitřní rozvodně – o nových by neměla být diskuse – můžou zachránit život („hospodaří“ totiž s daleko většími odporovými dosahy poruchy než protější distanční ochrany a vypíná za 120 resp. 240 ms !!!).

Poznámka: Potřebný dosah distanční ochrany je určen nejen následnou linkou s rozvodnou, ale též dosahem přes T110kV/vn: selhání nadproudových ochrany (jejich nesprávný odpad), selhání vypínače 110kV. O zlepšení chránění T110/vn dále.

Uzlové rozvodny

Pro pospojování oblastí, ale i bez něho už dnes, jsou důležité dvě distanční ochrany na linku a systémová ochrana rozvodny (viz výše). Ta by měla být diferenciální digitální z důvodu rychlosti a nenároků na přesycení TP. Doporučuji REB500 ABB z důvodů extrémní imunity na přesycení TP (stačí jí o dost méně než 2ms do přesycení) a dvou principů měření (amplitudového a fázového).

Paprsky s T110/vn

Aby byly paprsky s úspěšnými OZ, musely by mít na konci nové digitální ochrany pro jejich malé prahové proudy. Pokud by nevyšel dobře výběr fáze na Bauchův paradox na napájecí straně se starou elektromechanickou ochranou, opět digitální ochrany. Lepší je ale mít je v kruhu.

T-odbočky s T110/vn

T-odbočka představuje trojsměrové uspořádání už na vlastní lince. Jednak většinou nelze její T linku chránit z konců kmenové linky až do konce a jednak zanáší již do chránění vlastní linky boční příspěvek trojúhelníka transformátoru a je-li za ním zdroj, pak i jeho. Tento malý příspěvek (i při transformátoru) způsobí, že jednopólový OZ ochran na kmenové lince je neúspěšný, zmaří se přenos a vznikne omezení dodávky pro natéčkový transformátor. Aby byl úspěšný, je nutné OZ-tovat i s třetím bodem, který je ovšem nutné strhávat, protože distanční ochrana (opět digitální jako na paprsku) z T-odbočky nedohlédne daleko. Je příliš mnoho „slepých“ míst na kmenové i T lince, kdy se neshodnou všechny ochrany. Částečným řešením jsou trojbodové rozdílové nebo srovnávací ochrany, které však potřebují spojovací cestu. Ty jsou však velmi drahé, protože zpravidla potřebují tři páry.

Velikost a umístění T-odbočky, aby ji obsáhly obě distanční ochrany kmenové linky alespoň OZ-ovou zónou, umíme pro daný způsob napájení (váhy zdrojů) stanovit, ale její místo a velikost jsou velmi omezené a mění se s přepojením sítě. Je-li kmenová linka dlouhá a je na ní nutné mít lokátor poruch, T-odbočka s transformátorem zkresluje jeho hodnoty. Nevýhody přenosové již byly zmíněny.

T110/vn

Chránění těchto transformátorů by mělo být ochranně soběstačné. Tzn. selhání nadproudové ochrany by nemělo způsobit nevypnutí transformátoru. Je sice důsledně uplatňována snaha zálohovat T110/vn až na stranu vn distančními linkovými ochranami 110kV, avšak to je za několik sekund (tak jak selektivitou narůstá čas po tahu 110kV) a někdy je toho dosaženo jen kaskádě (součet několika sekund), někdy u malých transformátorů (např. drážních) nedostatečně. Jsou případy, kdy nadproudová ochrana odpadne, protože zkratový proud se sníží vytažením oblouku vn pod její náběhovou/odpadovou hodnotu, a to i na straně linky (kabelu) vn, a distanční ochrany 110kV jsou pak jediná záchrana (byť pozdní).

Proto je důležitý systém chránění dvou nadproudových ochran: a to normální jako dnes a druhé blokové podpětím z vn strany s dojezdem času při odpadu té či té složky, která umožní proudové nastavení pod jmenovitou hodnotu. Není zde míněna závislá ochrana – s těmi se musí zacházet velmi obezřetně, neboť prvořadý úkol je zjistit zkrat a vypnout co nejrychleji to jde – každá závislost času na velikosti zkratového proudu je ke škodě!

Nejlepší je však řešení s vývodovými terminály sdružujícími ovládání a chránění typu REF (ABB). Zejména REF542 (SCU), který obsahuje kromě nadproudových, podpětových, zemních, tepelných a dalších ochranných funkcí

i ochranu distanční s velmi dobrými vlastnostmi pro stranu 110kV. Ta pak společně s diferenciální oddělenou ochranou transformátoru tvoří dvě rychlé ochrany s nízkými prahovými proudy. Navíc je distanční ochrana výhodná v případě generátoru na vn straně k rychlému chránění rozvodny 110kV a zálohování odchozích linek z ní v protisměru. Použijí-li se REFy v celé rozvodně 110kV a vn, dostaneme jednotné řešení.

Selhání vypínače 110kV má řešit ochrana rozvodny (zpravidla LOR), pak REFová distanční ochrana tvoří rychlou zálohu rozvodny.

Generátorové vývody

Generátorové vývody jsou z pohledu chránění dlouhodobě nedokonalé – zvyklosti se zdají být nepřekonatelné. Logicky totiž musí být vybaveny distanční ochranou (-nami) linkového typu (s kompenzací zemním poměrem) na straně 110kV. A to ať je generátor vyveden blokovou linkou do protější rozvodny, kde je to naprostou samozřejmostí, nebo je blokový transformátor vyveden přímo do rozvodny bez linky a nebo to je T110/vn s generátorem přes vn síť (tovární síť 6,3kV, veřejná síť 22, 35kV). Jde o chránění jak směrem do blokového transformátoru-generátoru (odbočka vlastní spotřeby), tak do sítě 110kV. Do sítě 110kV musí plnit tutéž funkci, jako normální linková distanční ochrana v protilehlé rozvodně od sítě.

Je-li distanční ochrana jen jedna (blokované linky s vypínačem na straně rozvodny, přímo vyvedený blokový transformátor do r.110kV, trf. 110/vn s generátorem v pozadí ve vn) musí být obousměrná, s obálkovými („popudovými“) členy, s alespoň 4-mi zcela nezávislými „hranatými“ zónami (jak co do nastavení R,X, tak směrově) a s různými zemními poměry pro každou zónu – tj. tzv. **bloková distanční ochrana**. Tomu nejlépe vyhovují obě ochrany

ABB REL511, REL316 – zvláště pak REL511 (ostatní známé ochrany vždy něco postrádají).

Jsou-li distanční ochrany dvě (delší bloková linka jako u EMĚ II,), pak je chránění dvěma distančními protilehlými ochranami stejné jako u kterékoliv jiné síťové linky. Zemní poměry a další aspekty platí, jako u blokové distanční ochrany.

Dvě poznámky k linkovým distančním ochranám

- V důsledku dnešní různosti zemních lan (50Fe, 70Fe, 185AlFe, 210AlFe, různá kombinovaná „optolana“) je potřeba nastavitelnost různých zemních poměrů pro každou zónu zvlášť včetně obálek. Jinak vzniká chyba i větší než 20%, která se ke všemu ještě mění se zapojením sítě na obou stranách linky (to splňují zatím jen REL511, REL316)
- Výdobyték digitální techniky v distančních ochranách jsou hranaté charakteristiky s možností přesné nastavitelnosti v odporové části, tj. bez závislosti na délce linky, příp. na předřazeném zdroji jako tomu bylo dosud u kuželosečkových charakteristik. Tím je umožněna selektivita pro obloukové zkraty - tj. přesně to, co vyžaduje síť 110kV se svými vzdálenými zálohami. 100-letá snaha o takovouto distanční ochranu byla konečně korunována úspěchem.

Strhávání distančních ochran, srovnávací ochrany

S rozvojem užívání optických přenosů se objevuje otázka jejich využití pro ochrany. To souvisí s celkovou koncepcí chránění.

Je-li celková koncepce chránění založená na distančních ochranách se vzdáleným zálohováním a daří-li se zapojením vyhovět záložním časům do jedna (resp. 1,5) sekund, pak je to nejlevnější koncepce chránění, kde

i rozvodny jsou chráněny do poloviny sekundy. Strhávání není nutné, ba může být i na škodu, protože přesahovými OZ-ovými zónami jsou přechodné zkraty chráněny v základním stupni. Je-li v rozvodně člověk, je možné, že během OZ pauzy změní polohu a po ní již není napětím zasažen. Kdežto, máme-li strhování distančních ochran, pak zkraty od linkového TP směrem do rozvodny jsou chráněny až druhou zónou protější linkové ochrany – hoření oblouku je časově delší (0,5s), ten se protáhne a nemusí ho již protější ochrana chytit ve 2., začne jej tzv. „honit“, nechytne ho ani ve 3. a stane se snadno, že takový odporový zkrat je vypnut až popudy protilehlých ochran kaskádně, tj. za součet času po několika vteřinách (např. 3+4+...sekundy podle počtu zúčastněných linek). Distanční ochrany s kuželosečkovými charakteristikami mají místo pro odpor poruchy závislý na délce linky (D114), nebo je jejich prostor složitě závislý na předřazené impedanci zdroje, a tedy vlastně neznámý (SEL321 = představitelka amerických zvyklostí) – a to myslím pro všechny druhy zkratů, protože v rozvodně, na rozdíl od linky, je podstata zkratu mnohoznačnější. Nové distanční ochrany s hranatými charakteristikami mají nastavitelný definovaný prostor pro oblouky (až do konce zóny velký!), a tak jsou v tomto ohledu mnohem lepší (REL511, REL316, 7SA511).

Protože zóna nikdy nemůže mít rezervu na oblouk přehnaně velkou z důvodu neselektivity způsobené natáčením viděného oblouku přenosem a nestejnými úhly zkratových smyček z obou stran (kompenzaci pro první zónu mají REL511 a 316, pro další zóny se to nikde z principu nedělá), není nikdy jisté, že se oblouk v protější rozvodně chytí zónou. Je proto dobré a správné mít v rozvodnách ochranu sběren – logická ochrana rozvodny LOR hospodář s popudy místních distančních ochran, a tedy s velkými rezervami na odpory poruch v rozvodně (nepotřebuje zpravidla odpojovače). Ve spojitosti s ní, pak je

strhování ochran možné – ba může být i výhodné, protože se odstraní OZ-ování do např. zkratu v přístrojovém transformátoru proudu na SP apod.

Co se srovnávacích ochran týče, tak si předně myslím, že lepší než srovnávací je ochrana podélná rozdílová linková, protože její citlivost na odporové poruchy (stromy, námraza) je velká (což však srovnávací ochrana 7SD51 řeší vtípnou dynamickou částí), ale je navíc přesně definovaná stabilizací, jako u diferenciální ochrany stroje. (Aby totiž srovnávací ochrana působila i na jednostranně napájené poruchy, musí mít zahrnutý v proudové rovině i proudové osy, což může dělat chyby.). Exaktní stabilizace rozdílové ochrany s ohledem na přesycování TP přesně definuje a odlišuje průchozí a vnitřní zkraty (např. REL316 obsahuje vedle linkové distanční ochrany i linkovou rozdílovou ochranou, která navíc nepotřebuje pro „světlo“ žádný mezičlen).

Dobrá koncepce je: všude rozdílové principy na linkách a v rozvodnách (resp. LOR v rozvodnách) a přes ně distanční linkové ochrany. Jestliže však jsou rozdílové ochrany na linkách a ochrany rozvoden jen někde, je třeba mít na paměti to, že je-li distanční ochrana mimo provoz, není ochrana protější rozvodny nebo záloha následné(-ých) linky(-ek) a T110/vn v protější rozvodně. A také, je-li distanční ochrana mimo provoz, nemusí být chránění vlastní linky i její zálohování rychlé. Jsou malé výjimky, které je nutné případ od případu posoudit.

Linkové logiky distančních ochran

Obecně by se měla dávat přednost kvalitě měření distanční ochrany před spoustou všelijakých „vymožeností“ v jejich logikách, hlášení do ŘS. ... Přirovnání může být asi takové, že dám přednost dobrým jízdním vlastnostem automobilu před elektricky stahovanými okny – ta mě uchvacují jen do té chvíle, než potřebuji, aby za mě automobil vyřešil náhle nastalou nepříjemnou jízdní

(provozní) situaci. A tak dám raději přednost vlastnostem ochrany při řešení výběru postižené smyčky (Bauchův paradox, vztah mezifázových a fázových impedancí, kompenzace nulové složky při zemních zkratech, chování při dvoufázovém zkratu se zemí), minimální provozní impedanci, kývání, dosahu, a rezervy a oblouky (včetně natáčení), směřování, prahové proudy aj.

Automatická změna parametrů nastavení ochran při změně konfigurace sítě

Jak již bylo předesláno na začátku, správně navržená síť 110kV má být taková, že je svým zapojením stálá, nemění se při uvolňování zařízení pro práce, snese k uvolněným zařízením i další vypadnutí poruchou (nejen n-1!), takže vždy je vypnuté jen postižené zařízení, nebo zařízení selhavší, zkrátka při poruše si taková síť pomůže sama, neboť vše je napřed v klidu vyřešeno a tedy známo. Z toho plyne, že potřeba přestavování ochran z titulu proměnnosti konfigurace by neměla nastat, neboť to navíc vede k dispečerským instrukcím, kdy a pro jakou konfiguraci které nastavení, tj. která linka na které linky když navazuje, tak to nebo ono nastavení, ... což je těžko popsatelné (zkušenosti!). Denní síťový programátor a dispečer nemá být zatěžován spoustou instrukcí, aby jeho rozhodování bylo klidné a věcné ve chvílích, kdy přijdou poruchové nebo rekonstrukční události velkých rozsahů (celé velké rozvodny mimo provoz apod.).

Automatické přestavování ochran by mělo být jen na spínačích přípojníc sloužících pro náhradní provoz (PSP, KSP). Tady ale vyvstává dnes nepřesnost v tom, že dříve se distanční ochrana elektromechanická stavěla přímo na danou linku přímo rozvodným, kdežto u nových ochran (zejména s dálkovým ovládáním rozvoden) je nutné to řešit přednastavenými sadami, které nové ochrany obsahují zpravidla 4, což pro r. 400, 220kV dost často stačí na každou linku (trf.), ale

v R 110kV většinou už ne. Proto se musí vytvořit kompromisní 4 sady – skupiny složené z co nejpříbuznějšího nastavení a dispečer (rozvodný), pak podle tabulky zvolí danou sadu k dané lince.

Vzdálené a místní zálohování – promyšlená optimální koncepce chránění

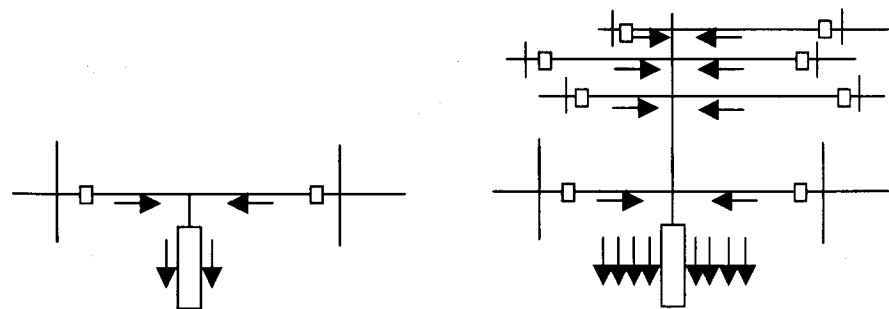
O tom již též bylo dříve pojednáno. Zpřesněme tedy ještě, že systém vzdáleného zálohování je dobré přednostně všude uplatňovat, protože je nejlevnější. Tam, kde však nemůžeme zapojení sítě tomuto požadavku přizpůsobit (ostatní atributy návrhu sítě by nešly splnit!), nebo přibude-li v rozvodně zdroj, který zmaří možnost rychlých záloh, nebo řazení dlouhé a krátké linky opět zmaří možnost rychlých záloh a srovnávací (rozdílová) ochrana krátké linky to buď neřeší nebo z nějakého důvodu nemůže být (kritérium je opět 1,5 s), pak je nutné použít systém místních záložních ochran. Případ od případu je to potřeba posoudit (ve smyslu kapitoly o strhování ochran a srovnávacích ochranách a dalšího ještě dříve uvedeného).

Proč ochrany rozvoden

Byla zde mnohokrát zmínka o nutnosti ochran rozvoden: v uzlových a jinak důležitých rozvodnách rozdílových (drahých, ale rychlých), v ostatních rozvodnách logických (levných, s některými funkcemi navíc proti rozdílovým a nepotřebujících zprávy z příp. odpojovačů).

Obecně se ochranám rozvoden nevěnovala dosud v rozvodnách 110kV nijaká pozornost. Komplex všech distančních ochran dívajících se přes své linky z protilehlých konců do rozvodny byl bezděčně ochranou rozvodny. Ochrana R33 řízením osudu dlící dodnes v R 110kV Vřesová byla donedávna jedinou ochranou v Čechách. Zatímco na linkách se příčina zkratu nezjistí a jeho místo

se většinou nenajde (OZ úspěšný), zkrat v rozvodně (nepoměrně méně obvyklý) je většinou velmi zřetelný i s jeho příčinou a jeho dopad je širšího rozsahu. Naproti tomu, zabije-li se člověk od zkratu na lince, je z 99% on sám jeho příčinou (sebevrah), ale zabije-li se člověk od zkratu v rozvodně, jde o nešťastnou náhodu, na níž on samotný z 99% nemá vliv. Hmotné škody od brzo nevypnutého zkratu na lince jsou menší než v rozvodně (poškození drahých přístrojů a strojů i v okolí). Odpor zkratu linkového je zpravidla malý (přeskok přes izolátor), ale odpor zkratu přípojnicového je zpravidla velký (exploze, přeskoky na velké vzdálenosti, ve zionizovaném prostředí aj.) a tento odpor viděný každou jednou linkovou distanční ochranou zvlášť z pohledu jejího jednoho dílčího příspěvku do tohoto velkého odporu hluboce odlišuje podstatu linkového a přípojnicového chránění. Z toho vyplývá, že **přípojnicová ochrana musí být alespoň v tomto**



jiná než linková. Navíc je zde časový vliv takový, že nevypne-li se zkrat v přístroji (např. TN) rychle, exploduje (= nečekaná událost pro kolemjdoucího člověka), je-li to jen přeskok přes izolátor, oblouk se prodlouží a linkové distanční ochrany ho „honí“ (i tak může zasáhnout člověka).

Na obrázcích je vidět odporový linkový zkrat a odporový přípojnicový zkrat z pohledu ochran linek (distančních). I bez hlubšího vysvětlení je patrné, kolikrát je viděný odpor zkratu v rozvodně větší než linkový, už jen kdyby byly

oba dva fyzicky stejné. To vede až k mnoha vteřinovým vypínacím časům přípojnicových zkratů.

Několik smrtelných úrazů v rozvodnách v Čechách mě ke konci roku 1987 přivedlo k myšlence využít (v podstatě „zadarmo“) stávajících ochranných v rozvodně k sestavení ochrany přípojnic, která by byla nepoměrně rychlejší než ochrany linkové, uměla by zpracovat daleko větší zkratové odpory než tyto ochrany v linkovém režimu a přitom selektivně povypínala rozvodnu (nechala nepostíženou sběrnou v provozu). Vznikla logická ochrana rozvodny hospodařící s popudovými charakteristikami linkových distančních ochranných. Ochrana byla později doplněna dvoustupňovou ochranou selhání vypínače a výroby se ujal ORGREZ Praha (Ing. Nešpor) nejprve v reléové podobě, nyní v podobě mikroprocesorové. V současné době se objevil i další „mikroprocesorový“ výrobce ABB Trutnov a ochrana byla rozšířena i o podobu s přípojnicovými odpojovači. Byla i vytvořena aplikace pro vn (pro zejména uzlové rozvodny 22 a 35kV s např. 20-ti poli). Ochrana LOR (=LOP+LOV) je na řadě rozveden 110kV, (220kV jsou dnes nahrazovány rozdílovými) a jedna na 22kV. Bylo provedeno mnoho zkoušek jak sekundárních, tak primárních a nevyskytla se chybná funkce. U ZČE byla ochrana po vyřešení námrazového (odporového, časově proměnného) zkratu v R 110kV Rotava vyřazena z provozu.

K frekvenčnímu řešení záchrany oblasti

Jak již bylo řečeno výše, frekvenční odlehčování celoplošné v oblasti se zdroji funguje jako II. stupeň záchrany oblasti a tvoření ostrovů pak jako stupeň III. Frekvenční odlehčování celoplošné bývá samo o sobě vícestupňové, aby omezení konzumu bylo nejenom nezbytně velké, ale zároveň ohleduplné k zotavené frekvenci a ohleduplné k minimální frekvenci odlehčovacího procesu. Aby bylo možné selektivně stupně odlehčovat, jsou nutné dynamické výpočty

pohybu frekvence v čase – kupecké počty rozhodně nestačí. Je třeba respektovat dýchání zátěže během dne, týdne a roku a mít tzv. smluvní MW-y ze zimního měření (ne z maxima!). V jakémkoliv okamžiku „nadýchnutí/vydýchnutí“ zátěže a počtu zúčastněných generátorů musí odlehčovací proces „přežít“ všechny stupně, které nemají odlehčit, včetně ostrovů a naopak musí být vypnuty všechny stupně, které odpovídají danému stavu. Vytvoření ostrovů, kdy už mohou (ale nemusí) být poklesy frekvence $1 - df/dt$ / značné (i přes 25Hz/s), musí být naopak zase provedeno tak, jakoby předvíдалo, že celoplošný separát se neuskuteční (nemůže podařit). Podobné nároky jsou v takových případech též kladeny na včasné odpojení generátorů od sítě. Je-li generátor v ostrově, je obtížné vyhmátnout stavy, kdy ostrov má cenu zachraňovat, nebo kdy osamostatnit jen generátor na vlastní spotřebu. Nesmí nikdy dojít ke stavu, kdy zastavený generátor zůstane na mrtvé síti. Dispečer a provozní personál takový stav nepředpokládá a zapne do něj posléze napětí (turbogenerátor se rozbíhá přes amortizér, hydrogenerátor?...).

Vzniklý ostrov je zpravidla potřeba ještě rychle zvlášť vybilancovat, a tu se dále pokračuje dynamickými výpočty. Zatím co pro celoplošné odlehčování se vystačí s relé f/t nebo i s df/dt , pro ostrovy, zvláště tovární, je potřeba zpravidla i ochrana bilanční (Dá se navrhnout bilanční a frekvenční ochrana se vzájemnou zálohou). Výpočtem stanovená zotavená frekvence musí respektovat fluktuaci i flicker zátěže. Sousední oblasti musí mít v hraničních rozvodnách tzv. hraniční frekvenční relé. Frekvenčně odlehčovaný konzum musí být vybrán podle skladby celé oblasti.

Fázování, kruhování a prosté zapínání pod napětí

V modernizovaných rozvodnách by předně mělo být záložní fázovací raménko i s měřením $\Delta\alpha$ (dělá fa. DOHNÁLEK), což je podstatná změna vůči

starým tradičním fázovacím raménkům. Tím by se uskutečňovaly dané záležitosti při selhání následujících přístrojů:

V malých nedůležitých rozvodnách se dá kruhovat nebo zapínat pod (v jakékoliv kombinaci) buď synchrocheckem SPAU140, nebo případně synchrocheckem v linkových distanční ochranách (REL, 7SA). Jejich funkce však je jednoduchá, a proto v rozvodnách uzlových, hraničních (Toužim) a větších důležitých (Křimice), nebo kde přichází v úvahu fázování generátorů nebo utržených separátních oblastí (Vřesová), tam musí být Synchrotact 4(5), který je jediný spolehlivý pro rozlišení fázování od kruhování a umí s různými derivacemi přifázovat. Rozlišuje se generátorová a síťová verze – ta je pro tento účel.

Čeho se vyvarovat při návrhu sítě 110kV

- trojsměrové rozvodny (včetně řazení tahů typu: paralelní dvojlinka – jednoduchá linka – paralelní dvojlinka)
- T-odbočky
- paprsky (paprsková vedení)
- jednostranné zaústění rozvodny do jednoho z paralelních vedení navíc bez možnosti dvojsměrného provozu v krajních rozvodnách
- paralelní vedení z jednosměrné uzlové rozvodny
- větší jednosměrné rozvodny s podélným dělením (*Klatovy*)
- jednotransformátorové oblasti 110kV

K zapojení oblastí vn (35, 22, 6,3kV)

Nynější jednotransformátorové oblasti lze do budoucna změnit na více-transformátorové. Vedle analogických aspektů výše popsaných pro síť 110kV to přinese i nové možnosti v chránění zemními ochranami.

18. Provozování elektrických zařízení v organizacích, podléhajících vrchnímu dozoru státní báňské správy České republiky

Provozování elektrických zařízení v podzemí jakožto vyhrazených elektrických zařízení je dáno vyhláškou Českého báňského úřadu č.74/2002 Sb., o vyhrazených elektrických zařízeních. Tato vyhláška stanoví, která technická zařízení při hornické činnosti a činnosti prováděné hornickým způsobem a při pracích s těmito činnostmi souvisejícími se považují za vyhrazená elektrická zařízení. Vyhláška dále blíže vymezuje předpoklady kladené na odbornou způsobilost organizací provozujících vyhrazené elektrické zařízení, a to z hlediska potřebného technického vybavení a odborné způsobilosti jejich zaměstnanců.

Vyhláška Českého báňského úřadu č.75/2002 Sb., o bezpečnosti provozu elektrických technických zařízení používaných při hornické činnosti a činnosti prováděné hornickým způsobem, stanoví požadavky k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu včetně bezpečnosti provozu elektrických technických zařízení používaných při hornické činnosti a činnosti prováděné hornickým způsobem a při pracích s těmito činnostmi souvisejícími. Vyhláška dále stanoví požadavky kladené na kvalifikaci a odbornou způsobilost pracovníků, kteří vykonávají činnost na elektrickém zařízení nebo jej obsluhují. Elektrické zařízení lze podle této vyhlášky provozovat, jen pokud je zajištěno, aby osoby byly odpovídajícím způsobem chráněny proti nebezpečí zranění a majetek proti poškození elektrickým proudem nebo napětím, popřípadě jevy vyvolanými účinky elektřiny a před nebezpečím neelektrického charakteru, které může elektrické zařízení způsobit, a to technickým provedením, instalací a umístěním způsobem odpovídajícím projektové, popřípadě výkresové, průvodní

a provozní dokumentaci. Elektrické zařízení musí být zařazeno do tříd a skupin s přihlédnutím k jeho rizikosti, povaze prací a místním podmínkám.

Provozovat lze jen to elektrické zařízení, jehož stav byl shledán způsobitelným provedenou prohlídkou, zkouškou, kontrolou a revizí, které byly vykonány ve lhůtách a v rozsahu stanoveném touto vyhláškou, nebo v případech, kde to tato vyhláška stanoví, v rozsahu určeném organizací. Pro provoz elektrického zařízení se vydá řád prohlídek, údržby a revizí, kterým se určí

- a) jednotlivé úkony prohlídek, zkoušek a údržby včetně preventivní údržby s přihlédnutím k požadavkům výrobce jednotlivých elektrických zařízení obsažených v jejich průvodní dokumentaci, k ustanovením technických norem a k provozním podmínkám elektrických zařízení,
- b) pravidelnost provádění těchto úkonů,
- c) způsob evidence výsledků prohlídek, zkoušek a zjištěných a odstraněných závad při provozu a údržbě elektrického zařízení v provozní knize,
- d) lhůty pravidelných revizí,

a zajistí jeho dodržování.

Elektrické zařízení, u kterého se zjistí stav ohrožující bezpečnost práce nebo provozu, je nutné neprodleně odpojit od napájecího zdroje a zajistit proti nežádoucímu připojení; není-li to možné, je nutné zajistit jeho neprodlenou opravu. Za elektrické zařízení ohrožující bezpečnost práce a provozu se považuje také elektrické zařízení

- a) k němuž provozovatel nedoloží zprávu o výchozí, pravidelné, popřípadě mimořádné revizi s výsledkem, že předmětné zařízení je schopno bezpečného provozu,
- b) které je provozováno v rozporu s řádem prohlídek, údržby a revizí, nebo

c) k němuž nebyl řád prohlídek, údržby a revizí vydán.

Používání elektrické zařízení při v dolech je spojeno se zvláštními riziky souvisejícími s podmínkami provozu při hornické činnosti a činnosti prováděné hornickým způsobem. Tato rizika jsou atypická a v ostatních odvětvích průmyslu se nevyskytují.

Z tohoto důvodu jsou níže uvedeny části dalších vyhlášek Českého báňského úřadu jakožto ústředního orgánu státní báňské správy České republiky, zabývající se problematikou elektrických zařízení v návaznost na jejich jištění. Tyto vyhlášky mají charakter bezpečnostních předpisů pro činnosti související s bezpečností a ochraně zdraví při práci a bezpečností technických zařízení v organizacích, pokud vykonávají hornickou činnost nebo činnost prováděnou hornickým způsobem.

A) Vyhláška Českého báňského úřadu č. 22/1989 Sb.,

o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a bezpečnosti provozu při hornické činnosti a při dobývání nevyhrazených nerostů v podzemí.

Elektrické sítě v dole

Pro rozvod elektrické energie v dole lze použít jen elektrickou síť s ochranou samočinným odpojením od zdroje, a to za podmínky, že:

- a) u nízkého napětí jsou všechny živé části odděleny od země a všechny neživé části nepřímo spojeny se zemí (sít' IT) a současně je sít' hlídána přístrojem ke hlídání izolačního stavu
- b) u vysokého napětí je uzel zdroje spojen se zemí přes omezující impedanci a všechny neživé části jsou přímo spojeny se zemí způsobem odpovídajícím ochraně zemněním s rychlým vypnutím [sít' IT(r)], nebo všechny živé části jsou

odděleny od země a všechny neživé části jsou nepřímě spojeny se zemí způsobem odpovídajícím ochraně zemněním (sít' IT).

Elektrickou sít' nízkého napětí s příkonem větším než 5 kVA lze provozovat jen s hlídačem izolačního stavu signalizujícím pokles izolačního odporu sítě pod 15 ohmů/V. V plynujících dolech lze použít jen hlídač izolačního stavu, který zajistí vypnutí této sítě při poklesu izolačního odporu sítě pod 15 ohmů/V.

Elektrickou vn sít' izolovanou lze provozovat jen se zařízením pro trvalou kontrolu izolačního odporu sítě signalizujícím pokles izolačního odporu sítě pod 50 ohmů/V do místa se stálou obsluhou. V plynujících dolech II. třídy nebezpečí se naměřené hodnoty izolačního odporu elektrické sítě registrují.

Kabely a kabelová vedení

Kabely a vodiče musí být jištěny proti všem nadproudům takovým způsobem, aby při vzrůstu proudu nad výrobcem stanovenou mez nemohlo dojít k ohrožení bezpečnosti práce a provozu.

Kabely pohyblivých zařízení

Pokud se na vývodku vlečného kabelu na pohyblivém zařízení přenáší tah kabelu, musí být vybavena zajišťovacím zařízením, které vypne pohyblivé zařízení při překročení dovoleného tahu v kabelu.

Pohyblivý stroj lze provozovat jen za předpokladu, že je zajištěno jeho samočinné odpojení od zdroje v okamžiku, kdy nejsou plněny požadavky na ochranu před nebezpečným dotykem neživých částí.

Údržba elektrických zařízení

Na plynujících dolech II. třídy nebezpečí musí být nadproudové ochrany pro napětí do 1 kV

- a) zkoušeny před jejich uvedením do provozu a dále nejméně jedenkrát za šest roků,
- b) funkčně ověřeny před jejich uvedením do provozu a dále nejméně jedenkrát za dva roky a po každém přemístění.

Nadproudové ochrany u zařízení nad 1 kV musí být zkoušeny a funkčně ověřeny před jejich uvedením do provozu a dále nejméně jedenkrát za tři roky.

Na reléových ochranách a automatikách musí být prováděny

- a) primární zkoušky na elektrických zařízeních vysokého a velmi vysokého napětí
 1. při uvedení elektrického zařízení do provozu,
 2. místo každé třetí sekundární zkoušky,
- b) sekundární zkoušky
 1. na elektrických zařízeních hlavních transformačních stanic vysokého a velmi vysokého napětí jednou za rok,
 2. u ostatních elektrických zařízení vysokého a velmi vysokého napětí jednou za 2 roky,
 3. u elektrických zařízení do 1 kV v rozsahu kontroly a ověření správné funkce jednou za 3 roky.

Nadproudová ochrana se zkouší ve všech člancích. Článek jistící proti přetížení se zkouší vypnutím podle charakteristiky ochrany při nastavení na jmenovitý proud spotřebiče. Článek jistící proti zkratu, je-li jím ochrana vybavena, se zkouší při nejmenším proudu, při kterém má podle údajů výrobce článek působit. Elektronické ochrany se zkouší podle návodu výrobce. Pro zkoušky reléových ochrany a automatik je organizace povinná vypracovat provozní dokumentaci.

B) Vyhláška Českého báňského úřadu č. 26/1989 Sb.,

o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a bezpečnosti provozu při hornické činnosti a při činnosti prováděné hornickým způsobem na povrchu.

Kabely a kabelová vedení

Kabely a vodiče musí být jištěny proti všem nadproudům takovým způsobem, aby při vzrůstu proudu nad výrobcem určenou mez nemohlo dojít k ohrožení bezpečnosti práce a provozu.

Kabely pohyblivých zařízení

Pokud se na vývodu vlečného kabelu na pohyblivém zařízení přenáší tah kabelu, musí být stroj vybaven zajišťovacím zařízením, které vypne pohyblivé zařízení při překročení dovoleného tahu v kabelu.

Vlečný kabel napájený ze soustavy s uzemněným uzlem musí být samočinně odpojen od napětí při přerušení ochranného vodiče nebo musí být použito proudového chrániče v přívodu pro napájení vlečného kabelu.

Údržba elektrických zařízení

Nadproudové ochrany do 1 kV musí být zkoušeny před uvedením do provozu a dále nejméně

a) jednou za 3 roky u zařízení s příkonem větším než 100 kVA,

b) jednou za 5 let u ostatních zařízení.

V prostorách bez nebezpečí výbuchu se tyto zkoušky provádí jen u zařízení zajišťujících stupeň dodávky I.

Přímé nadproudové ochrany u zařízení nad 1 kV musí být zkoušeny a funkčně ověřeny před jejich uvedením do provozu a dále nejméně jedenkrát za tři roky.

Na reléových ochranách a automatikách musí být prováděny

a) primární zkoušky na elektrických zařízeních vysokého a velmi vysokého napětí

1. při uvedení elektrického zařízení do provozu,

2. místo každé třetí sekundární zkoušky,

b) sekundární zkoušky

1. na elektrických zařízeních hlavních transformačních stanic vysokého a velmi vysokého napětí jednou za rok,

2. u ostatních elektrických zařízení vysokého a velmi vysokého napětí jednou za 2 roky,

3. u elektrických zařízení do 1 kV v rozsahu kontroly a ověření správné funkce jednou za 3 roky.

Nadproudová ochrana se zkouší ve všech člancích. Článek jistící proti přetížení se zkouší vypnutím podle charakteristiky ochrany při nastavení na jmenovitý proud spotřebiče. Článek jistící proti zkratu, je-li jím ochrana vybavena, se zkouší při nejmenším proudu, při kterém má podle údajů výrobce článek působit. Elektronické ochrany se zkouší podle návodu výrobce. Pro zkoušky reléových ochran a automatik musí být k dispozici provozní dokumentace.

C) Vyhláška Českého báňského úřadu č. 51/1989 Sb.,

o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a bezpečnosti provozu při úpravě a zušlechťování nerostů

Platí zde obdobná ustanovení jako v případě vyhlášky č. 26/1989 Sb.

D) Vyhláška Českého báňského úřadu č. 239/1998 Sb.,

o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a bezpečnosti provozu při těžbě a úpravě ropy a zemního plynu a při vrtných a geofyzikálních pracích a o změně některých předpisů k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu při hornické činnosti a činnosti prováděné hornickým způsobem.

Kabely a kabelová vedení

Kabely a vodiče musí být jištěny proti nadproudům takovým způsobem, aby při vzrůstu proudu nad výrobcem stanovenou mez nemohlo dojít k ohrožení bezpečnosti práce a provozu.

E) Vyhláška Českého báňského úřadu č. 55/1996 Sb.,

o požadavcích k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu při činnosti prováděné hornickým způsobem v podzemí.

Napájecí soustavy v podzemních dílech a stavbách

Pro rozvod elektrické energie je dovoleno použít v podzemních dílech a stavbách pouze

- a) izolovanou soustavu s ochranou zemněním a hlídačem izolačního stavu nebo použitím ochrany proudovým chráničem v soustavách do 1000 V,
- b) soustavu s uzemněným uzlem s ochranou rychlým vypnutím.

Izolovanou soustavu rozvodů do 1000 V a s příkonem nad 5 kVA je dovoleno provozovat jen s přístrojem pro kontrolu izolačního stavu a signalizováním poklesu izolačního stavu pod 15 ohm/V fázového napětí.

Kabely pohyblivých zařízení

Není-li použit proudový chránič, použije se takové zařízení, které při přerušení ochranného vodiče samočinně odpojí vlečný kabel od napětí.

Zkoušky nadproudových ochran

Způsob zkoušek určí provozní dokumentace. Nadproudová ochrana přímá i nepřímá u zařízení nad 1 kV musí být zkoušena a funkčně ověřena před jejím uvedením do provozu a dále jedenkrát za tři roky. O zkoušce a funkčním ověření nadproudové ochrany se vede záznam.

F) Vyhláška Českého báňského úřadu č. 45/1995 Sb.,

o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a bezpečnosti provozu v dolech s nebezpečím důlních otřesů.

Požadavky na elektrická zařízení

Kabelové rozvody do 1000 V vně nevybušných závěrů vedoucí do prostorů s nebezpečím otřesů, s výjimkou jiskrově bezpečných rozvodů, obvodů telekomunikačních a sdělovacích, obvodů roznětných vedení, osobních svítidel a elektrických obvodů důlních lokomotiv, musí být hlídány přístroji pro kontrolu izolace a při poklesu izolačního stavu pod 50 ohmů/1 V samočinně vypnuty.

Kabelové rozvody nad 1000 V v důlních dílech zařazených do stupně nebezpečí otřesů a zařazených do prostor se zvýšeným nebezpečím výbuchu metanu (SNM 2) nebo prostor se zvýšeným nebezpečím výbuchu uhlého prachu (SNP 2) musí být vybaveny zařízením, které zajistí vypnutí při zemním spojení.

G) Rozhodnutí OBÚ v Ostravě č.j. 10/1990,

o opatřeních k zajištění jednotného plnění požadavků vyhlášky ČBÚ v Praze o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci a bezpečnosti provozu při hornické činnosti a při dobývání nevyhrazených nerostů v podzemí pro všechny doly Ostravskokarvinského revíru.

Ochrana el. zařízení vn v podzemí plynujících dolů

Nastavení nadproudových ochran spínačů zajišťujících odpojení výkonových zkratů v sítích vn musí být seřízeno dle platných předpisů na nejnižší proud a čas tak, aby byla umožněna spolehlivá dodávka el. energie, k zajištění časové selektivity jištění však s maximálním zpožděním do 0,5 sec.

H) Rozhodnutí OBÚ v Ostravě č.j. 3895/2002,

o nařízení nezbytných opatření k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu pro doly s nebezpečím průtrží hornin a plynů.

Toto rozhodnutí obsahuje mnoho specifických požadavků, týkajících se provozu elektrických zařízení v dolech s nebezpečím průtrží hornin a plynů. Vzhledem k tomu, že takto je zařazen pouze jeden důl, požadavky nejsou v tomto dokumentu uváděny.

I) ČSN 341410 Elektrická zařízení v podzemí

Nyní již neplatná norma, která se týkala jako jediná elektrických zařízení v podzemí. Byla nahrazena normou ČSN EN 1127-2.

Závěr

Tento článek si klade za cíl seznámit širokou elektrikářskou obec s problematikou provozování, montáže, údržby, zkoušek, revizí a projektování elektrických zařízení v organizacích podléhajících výkonu vrchního dozoru státní báňské správy České republiky.

Uvedený, pochopitelně ne zcela vyčerpávající přehled právních norem, vydaných orgány státní báňské správy, týkajících se problematiky elektrických zařízení, by mohl upozornit na další a odlišné aspekty provozu a požadavky na elektrická zařízení, používaná při hornické činnosti nebo při činnosti prováděné hornickým způsobem. Tyto požadavky musí být plněny současně s požadavky obecných elektrotechnických norem. Jedná se např. o nutnost aktivního používání zemních relé a hlídačů izolačních stavů, kontroly celistvosti ochranného vodiče v pohyblivých kabelech, zpracovávání řádu prohlídek, údržby a revizí apod.

Přestože článek pojednává o problematice elektro obecně, mnohá ustanovení citovaných vyhlášek mají ve svém důsledku dopad na řádné jištění a chránění elektrických zařízení a rozvodů.

Pouze při důsledném vyžadování naplnění těchto požadavků se mohou používat elektrická i strojní zařízení tak, aby umožnilo zvýšení bezpečnosti práce a provozu v těžkých důlních podmínkách.

19. Označování funkcí ochran podle ANSI kódu

Funkční čísla zařízení definovaná normou IEEE. Každé číslo s jeho odpovídající funkcí a všeobecný popis této funkce jsou uvedeny v následující části. Detailnější informace jsou uvedeny v příslušných normách/standardech.

Standardní funkční čísla zařízení:

1. Hlavní ovládací/řídící prvek (*master element*). Aktivační / inicializační zařízení (jako např. ovládací přepínač atd.), které slouží k zapnutí zařízení do provozu nebo k provoznímu vypnutí zařízení buď přímo nebo prostřednictvím uvolňovacího zařízení, jako např. systému chránění, časových relé. **UPOZORNĚNÍ:** Toto číslo je obvykle použito pro ručně ovládané zařízení, ale může být také použito pro elektrické nebo mechanické zařízení, pro které není vhodné jiné funkční číslo.

2. Časově zpožděné startovací nebo zapínací relé (*time-delay starting or closing relay*). Zařízení, které ve funkčních sekvencích zajišťuje požadované časové zpoždění před nebo po jakémkoliv provozním kroku spínací sekvence, nebo zpoždění v systému chránění, kromě specificky definovaných zařízení podle funkčních čísel 48, 62 a 79.

3. Kontrolní nebo blokovací relé (*checking or interlocking relay*). Relé, které působí jako odezva na stavové informace určitého počtu ostatních zařízení (nebo určitého počtu předdefinovaných podmínek) a u zařízení umožní postup v provozní sekvenci, odstavení zařízení nebo zajistí kontrolu stavu těchto zařízení, resp. kontrolu podmínek využitých pro jakékoli účely.

4. Hlavní ovládací stykač (*master contactor*). Zařízení obvykle ovládané zařízením s funkčním č.1 nebo zařízením ekvivalentním s požadovaným

systémem chránění, které slouží k zapnutí i vypnutí potřebných ovládacích obvodů. To znamená, že při splněných požadovaných podmínkách uvede zařízení do provozu a při abnormálních podmínkách toto zařízení odstavi.

5. Odstavovací zařízení (*stopping device*). Ovládací zařízení použité především k odstavení zařízení a k udržení tohoto zařízení v odstaveném stavu/mimo provoz. (Toto zařízení může být aktivováno ručně nebo elektricky, ale není vybaveno funkcí elektrické přídrže / paměti při abnormálních podmínkách - viz zařízení s funkčností č. 86).

6. Spouštěcí/startovací vypínač (*starting circuit breaker*). Zařízení, jehož hlavní funkcí je připnout / připojit stroj na zdroj napětí pro start / spuštění.

7. Relé vyhodnocení nárůstu/strmosti (*rate-of-rise relay*). Relé, které působí při nadměrné strmosti nárůstu proudu.

8. Zařízení určené k odpojení zdroje energie (*control power disconnecting device*). Zařízení určené k odpinání (jako např. nožový odpojovač, vypínač, zásuvný pojistkový blok) použité pro připnutí, resp. odpojení zdroje energie k / resp. od ovládané sběrnice, nebo k / resp. od zařízení. **UPOZORNĚNÍ:** Předpokládá se, že zdroj energie zahrnuje i pomocné energie, které napájejí pomocné přístroje, jako např. motory a topná tělesa.

9. Reverzační zařízení (*reversing device*). Zařízení, které je použito k reverzování buzení (pole) stroje, nebo k provedení jakékoli jiné reverzní funkce.

10. Jednotka přepínače sekvence (sledu) (*unit sequence switch*). Přepínač použitý pro změnu sekvence, ve které je možné u víceprvkového zařízení

uskutečnit spuštění do provozu i odstavení z provozu u jednotlivých prvků / jednotek.

11. Vícefunkční zařízení (*multifunction device*). Zařízení, které realizuje tři nebo více poměrně důležitých funkcí. Tyto funkce lze označit pouze kombinací několika funkčních čísel zařízení. Všechny funkce realizované zařízením č. 11 jsou popsány v legendě výkresové dokumentace nebo v seznamu, který definuje jednotlivé funkce. **UPOZORNĚNÍ:** Jestliže jsou zařízením realizovány pouze dvě relativně důležité funkce, je preferováno použití obou funkčních čísel.

12. Zařízení pro vyhodnocení zvýšených otáček (*overspeed device*). Obvykle přímo instalovaný otáčkový spínač, který působí při zvýšených otáčkách stroje.

13. Zařízení pro vyhodnocení synchronních otáček (*synchronous-speed device*). Zařízení, které působí při přibližně synchronních otáčkách stroje (jako např. rychlý odstředivý spínač, relé vyhodnocující skluzovou frekvenci, napěťové relé, podproudové relé nebo obdobné zařízení jakéhokoli typu).

14. Zařízení pro vyhodnocení snížených otáček (*underspeed device*). Zařízení, které působí při poklesu otáček stroje pod předem definovanou hodnotu.

15. Zařízení pro přizpůsobení hladin otáček nebo frekvence (*speed or frequency matching device*). Zařízení určené pro přizpůsobení a udržení otáček, resp. frekvence stroje nebo stejného systému k přibližně stejné hladině otáček, resp. frekvence jiného stroje, zdroje nebo systému.

16. Rezervováno pro budoucí aplikace.

17. Spínač bočníku nebo vybíjecí spínač (*shunting or discharge switch*). Spínač, který slouží k připnutí nebo odepnutí obvodu bočníku k jakémukoliv typu

přístroje (kromě odporu). Jedná se např. o budící obvod stroje, kotvu stroje, kondenzátor nebo reaktor. **UPOZORNĚNÍ:** Toto označení je vyloučeno pro zařízení, kterým je realizována provozní funkce připnutí bočníku/překlenutí obvodu, nutná při procesu startu stroje zařízením č.6 nebo č.42 (nebo jejich ekvivalentem) a je také vyloučeno pro zařízení s funkčním číslem 73, které slouží pro spínání odporů.

18. Zařízení pro zrychlení nebo zpomalení (*accelerating or decelerating*). Zařízení, které se používá pro zapnutí (nebo zařízení, které způsobí sepnutí) obvodů použitých pro zvýšení nebo snížení otáček stroje.

19. Stykač pro přepnutí z režimu "start" do režimu provozní chod (*starting-to-running transition contactor*). Zařízení, kterým je aktivován nebo realizován automatický přechod stroje ze startovacího zdroje energie na zdroj provozního chodu / běhu.

20. Elektricky ovládaný ventil (*electrically operated valve*). Elektricky ovládaný, řízený nebo monitorovaný ventil použitý ve spojovacím potrubí kapaliny, vzduchu, plynu nebo v prostorech s vakuem. **UPOZORNĚNÍ:** Funkci ventilu lze přesněji indikovat využitím příslušných přípon.

21. Distanční ochrana (*distance relay*) Ochrana, která působí, jestliže se admitance, impedance nebo reaktance zvýší nebo sníží nad/pod předdefinovanou hodnotu.

22. Vyrovnávací vypínač (*equalizer circuit breaker*). Vypínač, který je určen k zapnutí nebo vypnutí vyrovnávacího obvodu, nebo obvodu určeného k proudovému vyvážení obvodu buzení stroje, nebo obvodu regulačního zařízení u víceprvkové instalace.

23. Zařízení regulace teploty (*temperature control device*). Zařízení, které je určeno ke zvýšení nebo snížení teploty stroje, teploty jiných objektů nebo jakéhokoli média v okamžiku, kdy jejich teplota klesne pod, resp. se zvýší nad předdefinovanou hodnotu. **UPOZORNĚNÍ:** Příkladem je termostat v rozvodně (v poli rozvodny), který při poklesu teploty pod zadanou hodnotu zapíná prostorové topné těleso. Tento typ zařízení je nutné odlišit od zařízení, které je použito pro automatickou regulaci teploty v rozsahu dvou blízkých limitních hodnot, a které by mělo být označeno funkčním číslem 90T.

24. Ochrana U/f (*volts per hertz relay*). Ochrana, která působí při překročení přednastavené hodnoty poměru napětí a frekvence. Ochrana může mít mžikové působení nebo může mít časovou charakteristiku.

25. Synchronizační zařízení nebo zařízení kontrolující synchronní stav (*synchronizing or synchronism-check device*). Zařízení, které působí, jsou-li frekvence, fázový úhel a napětí dvou střídavých obvodů v požadovaných limitech. Zařízení uvolní nebo provede paralelní sepnutí těchto dvou obvodů.

26. Zařízení pro vyhodnocení teploty přístroje (*apparatus thermal device*). Zařízení, které působí, jestliže teplota chráněného přístroje/objektu (jiného objektu než jsou výkonová vinutí strojů a transformátorů tato zařízení jsou definována funkčním číslem 49), kapaliny nebo jiného média překročí předdefinovanou hodnotu; nebo jestliže teplota chráněného přístroje / objektu, resp. jakéhokoli media klesne pod předdefinovanou hodnotu.

27. Podpěťová ochrana (*undervoltage relay*). Ochrana, která působí, jestliže její vstupní napětí je nižší, než předdefinovaná hodnota.

28. Hlídač plamene (*flame detector*). Zařízení, které monitoruje činnost pilotního (pomocného) nebo hlavního plamene v takových zařízeních, jako jsou např. plynová turbína nebo parní kotel.

29. Izolační stykač (*isolating contactor*). Zařízení, které je určeno speciálně ke vzájemnému odpojení dvou obvodů z důvodů bezpečnosti provozu, údržby nebo zkoušek.

30. Signalizační relé (*annunciator relay*). Zařízení bez automatického resetu, které aktivuje určitý počet samostatných vizuálních indikací působení ochranného zařízení a u kterého lze také realizovat přídržnou funkci.

31. Samostatné budící zařízení (*separate excitation device*). Zařízení, které připojuje obvod, jako např. derivační budící vinutí synchronního měniče, během startovací sekvence k samostatnému zdroji buzení.

32. Směrová výkonová ochrana (*directional power relay*). Ochrana, která působí při dosažení předdefinované hodnoty toku výkonu v daném směru nebo působí při dosažení hodnoty zpětného toku výkonu, který je způsoben motorickým chodem generátoru při výpadku / ztrátě jeho primárního pohonu.

33. Polohový spínač (*position switch*). Spínač, který spíná nebo rozpíná kontakt v okamžiku, kdy hlavní zařízení nebo část přístroje bez funkčního čísla zařízení, dosáhne dané polohy / pozice.

34. Zařízení hlavní sekvence (*master sequence device*). Zařízení, jako např. motorem ovládaný vícekontaktní spínač, zařízení ekvivalentní nebo programovatelné zařízení, jako např. počítač, které realizuje nebo definuje provozní sekvenci hlavních bloků v určitém zařízení během startu resp. odstavení nebo během jiných sekvenčních spínacích procesů.

35. Zařízení pro ovládání kartáčů nebo zařízení pro zkratování kroužků (*brush-operating or slipring short-circuiting device*). Zařízení určené pro zvedání, spouštění nebo pro posun kartáčů stroje; zařízení pro zkratování jeho sběrných kroužků nebo zařízení určené pro zasunutí nebo vysunutí kontaktů mechanického usměrňovače.

36. Zařízení určující polaritu nebo zařízení kontroly polarizačního napětí (*polarity or polarizing voltage device*). Zařízení, které pracuje pouze s předdefinovanou polaritou nebo umožňuje činnost jiného zařízení s touto polaritou nebo zařízení, které ověřuje existenci polarizačního napětí v přístroji.

37. Podproudová ochrana nebo ochrana při snížení výkonu (*undercurrent or unde-power relay*). Ochrana, která působí při poklesu proudu nebo toku výkonu pod předdefinovanou hodnotu.

38. Zařízení pro chránění ložiska (*bearing protective device*). Zařízení, které je uvedeno v činnost při nadměrné teplotě ložiska nebo při jiných abnormálních mechanických podmínkách ve spojitosti s provozem ložisek. Jedná se např. o přílišné opotřebení ložiska, které může vést k nadměrnému oteplení ložiska nebo k jeho poškození.

39. Monitorování mechanických podmínek (*mechanical condition monitor*). Zařízení, které je uvedeno v činnost při výskytu abnormálních mechanických podmínek (kromě podmínek spojených s činností / funkcí ložisek, které jsou definovány pod funkčním číslem zařízení 38), jako např. nadměrné vibrace, excentricita, zvětšování objemu/prodloužení, rázy, posun / naklonění nebo porucha těsnění.

40. Ochrana buzení (*field relay*). Ochrana, která působí při dosažení zadané nebo abnormálně nízké hodnotě budícího proudu stroje resp. působí při poruše na buzení stroje nebo působí při dosažení nadměrné hodnoty jalové složky zdánlivého proudu u "st" strojů, kdy indikuje abnormálně nízké buzení.

41. Odbuzovač (*field circuit breaker*). Zařízení, které je určeno k připojení nebo odpojení buzení stroje.

42. Provozní vypínač (*running circuit breaker*). Zařízení, jehož hlavní funkcí je připojit stroj ke zdroji rozběhového nebo provozního napětí. Tuto funkci lze také použít pro zařízení (jako např. stykač), které je použito v sérii s vypínačem nebo jinými ochrannými prostředky a je určeno především k častému vypínání nebo zapínání obvodu.

43. Ruční přechod nebo volicí zařízení (*manual transfer or selektor device*). Ručně ovládané zařízení, které provede přepnutí ovládacích obvodů v souladu s požadavkem na modifikaci plánovaného provozu spínacího prvku nebo provozu některé části zařízení.

44. Blok sekvenčního startovacího relé (*unit sequence starting relay*). Relé, které u zařízení s více bloky při poruše nebo nedostupnosti bloku, má normálně následovat, aktivuje start dalšího dostupného bloku.

45. Monitorování atmosférických podmínek (*atmospheric condition monitor*). Zařízení, které je uvedeno v činnost při výskytu abnormálních atmosférických podmínek, jako jsou např. škodlivé výpary, výbušné směsi, zakouřené prostředí nebo vznik požáru.

46. Proudová ochrana vyhodnocující opačný sled fází nebo fázovou symetrii (*reverse-phase or phase-balance current relay*). Ochrana, která působí, mají-li

vícefázové proudy opačný sled fází nebo jestliže jsou vícefázové proudy nevyvážené (nesymetrické proudy / zatížení) nebo obsahují li zpětnou složku vyšší, než je zadaná úroveň.

47. Napěťová ochrana vyhodnocující sled fází nebo fázovou symetrii (*phase-sequence or phase-balance voltage relay*). Ochrana, která působí při dosažení předdefinované hodnoty u více-fázového napětí v požadovaném sledu fází, působí, jestliže jsou vícefázová napětí nevyvážena (nesymetrická napětí) nebo pokud zpětná složka napětí překročí zadanou úroveň.

48. Relé neukončené sekvence (*incomplete sequence relay*). Relé, které obvykle vrátí zařízení do normálního stavu nebo vypnutého stavu a zařízení blokuje, pokud normální startovací, provozní nebo odstavovací sekvence není řádně ukončena v předdefinovaném čase.

49. Tepelná ochrana stroje nebo transformátoru (*machine or transformer thermal relay*). Ochrana, která působí, jestliže teplota vinutí kotvy stroje, teplota jiného silového vinutí, teplota části stroje nebo transformátoru překročí předdefinovaný čas.

50. Mžiková nadproudová ochrana (*instantaneous overcurrent relay*). Ochrana, která působí mžikově, jestliže došlo k překročení určité hodnoty proudu.

51. Střídavá nadproudová, časově zpožděná ochrana (*ac time overcurrent relay*). Ochrana, která působí, jestliže vstupní střídavý proud překročí předdefinovanou hodnotu a u které jsou v podstatné části provozního rozsahu vstupní proud a vypínací čas inverzně závislé.

52. Výkonový střídavý vypínač (*ac circuit breaker*). Zařízení, které je použito k sepnutí a rozepnutí střídavý výkonového obvodu v normálních provozních

podmínkách nebo je použito k rozepnutí tohoto obvodu v poruchových podmínkách nebo v nouzových podmínkách (nebezpečný provozní stav).

53. Relé budiče nebo stejnosměrného generátoru (*exciter or dc generator relay*). Relé, které během najetí / startu vybudí stejnosměrný stroj, nebo které má vybudit napětí stroje na zadanou hodnotu.

54. Zasouvací zařízení natáčedla (*turning gear engaging device*). Elektricky ovládané, řízené nebo monitorované zařízení, které je určeno k tomu, aby zasunulo (nebo vysunulo) natáčedlo do (z) hřídele stroje.

55. Relé vyhodnocující $\cos\varphi$ (*power factor relay*). Relé, které působí, jestliže se účinník ve střídavém obvodu zvýší nad předdefinovanou hodnotu, nebo se sníží pod tuto hodnotu.

56. Relé aplikace buzení (*field application relay*). Relé, které v určitém předdefinovaném bodu skluzového cyklu, řídí automatické připojení (aplikování) buzení k střídavému motoru.

57. Zkratovací nebo uzemňovací zařízení (*short-circuiting or grounding device*). Primární spínací zařízení, které je určeno k zkratování nebo uzemnění obvodu. Zařízení je ovládáno ručním nebo automatickým povellem.

58. Relé poruchy usměrňovače (*rectification failure relay*). Zařízení, které je aktivováno, jestliže je usměrňovač nevodivý, nebo pokud je řádně blokován.

59. Přepětová ochrana (*overvoltage relay*). Ochrana, která působí, jestliže je vstupní napětí vyšší, než předdefinovaná hodnota.

60. Napětíové nebo proudové balanční relé / ochrana (*voltage or current balance relay*). Ochrana, která působí při dané diferenci vstupního resp. výstupního napětí nebo proudu dvou obvodů.

61. Spínač nebo čidlo hustoty (*density switch or sensor*). Zařízení, které působí při dané hodnotě hustoty plynu nebo vyhodnocuje rychlost změny hustoty plynu.

62. Časové relé pro odstavení nebo vypnutí (*time-delay stopping or opening relay*). Časové relé, které ve spolupráci s příslušným zařízením aktivuje proces odstavení, zastavení nebo vypnutí v automatické sekvenci nebo v systému ochran (časové zpoždění).

63. Tlakový spínač (*pressure switch*). Zařízení, které působí při dané hodnotě tlaku nebo vyhodnocuje rychlost změny tlaku.

64. Relé detekce zemní poruchy (*ground detector relay*). Relé (ochrana), která působí při poruše izolace stroje nebo jiného zařízení (při zemním spojení)
UPOZORNĚNÍ: U normálně uzemněného energetického systému nelze toto funkční značení použít pro zařízení zapojené v sekundárních obvodech proudových transformátorů. Zde musí být použita jiná funkční čísla zařízení s příponou G nebo N, tj. 51N pro "st" nadproudovou, časově zpožděnou ochranu, která je zapojena v nulové větvi sekundárních vinutí proudových transformátorů.

65. Regulátor (*governor*). Hydraulické, elektrické nebo mechanické řídicí zařízení použité pro regulaci průtoku vody, páry nebo jiného media do primárního pohonu. Zařízení se používá při startu nebo odstavení stroje nebo pro udržení otáček resp. zatížení.

66. Spouštěcí nebo rozběhové zařízení (*notching or jogging device*). Zařízení, které je určeno k provedení pouze specifikovaného počtu operací u daného přístroje nebo zařízení, nebo je určeno k provedení specifikovaného počtu následných operací v daném čase pro každou operaci. Jedná se také o zařízení, které je určeno k periodickému uvádění obvodu pod napětí nebo k uvádění obvodu pod napětí po část specifikovaných časových intervalů, nebo se jedná o zařízení, které je použito k přerušovanému zrychlení nebo k běhu stroje na nízkých otáčkách potřebných pro zajištění mechanických pozic.

67. Střídavá nadproudová směrová ochrana (*ac directional overcurrent relay*). Ochrana, která působí při dosažení požadované hodnoty "st" proudu, který teče v předdefinovaném směru.

68. Blokovací relé (*blocking relay*). Relé, které aktivuje řídicí signál pro blokování vypnutí při externích poruchách na přenosových linkách, u jiných přístrojů blokuje vypnutí při předdefinovaných podmínkách, spolupracuje s jiným zařízením při blokování vypnutí, nebo blokuje funkci opětného zapnutí při výpadku ze synchronizmu nebo při kývání.

69. Uvolňovací zařízení (*permissive device*). Obvykle dvupolohové zařízení, které v jedné poloze uvolňuje zapnutí vypínače nebo uvolňuje uvedení zařízení do provozu a v druhé poloze ovládání vypínače nebo zařízení blokuje.

70. Reostat (*rheostat*). Zařízení s proměnným odporem použité v elektrickém obvodu. Zařízení je elektricky ovládané nebo má jiné elektrické příslušenství jako např. pomocné, polohové nebo limitní spínače.

71. Hladinový spínač (*level switch*). Zařízení, které působí při dané hodnotě hladiny nebo vyhodnocuje rychlost změny hladiny.

72. Výkonový stejnosměrný vypínač (*dc circuit breaker*). Vypínač, který je použit k sepnutí a rozepnutí "ss" výkonového obvodu v normálních provozních podmínkách nebo je použit k rozepnutí tohoto obvodu v poruchových podmínkách nebo v nouzových podmínkách (nebezpečný provozní stav).

73. Stykač zatěžovacího odporu (*loadresistor contactor*). Stykač, který je použit pro sériové nebo paralelní připojení stupňovitěho odporu omezení zátěže, posuvného nebo indikačního odporu do výkonového obvodu, je použit pro připojení prostorového topného tělesa k obvodu, je použit pro připojení světla nebo regeneračního zatěžovacího odporu výkonového usměrňovače nebo jiného stroje. Stykač umožňuje jak připojení k obvodu, tak odpojení od obvodu.

74. Výstražné signalizační relé (*alarm relay*). Signalizační relé s jinou funkcí, než je funkce signalizačního relé s vizualizací aktivace (*annunciator*), které je specifikováno funkčním číslem 30, a které je určeno pro spolupráci s vizuální nebo zvukovou výstrahou.

75. Mechanismus změny polohy (*position changing mechanism*). Mechanismus, který je v rámci funkčního celku použit pro přesun hlavního zařízení z jedné pozice do druhé pozice. Jedná se např. o posun pohyblivé jednotky vypínače do a pozice zasunuto, vysunuto a zkušební poloha.

76. Stejnosměrná nadproudová ochrana (*dc overcurrent relay*). Ochrana, která působí, jestliže proud ve stejnosměrném obvodu překročí zadanou hodnotu.

77. Telemetrické zařízení (*telemetry device*). Vysílač použitý pro generování a přenos elektrického signálu, který prezentuje měřenou veličinu na vzdálené místo, nebo přijímač, použitý pro příjem elektrického signálu ze vzdáleného vysílače, který signál konvertuje na původně měřenou veličinu.

- 78. Měření fázového úhlu nebo ochrana při ztrátě synchronizmu** (*phaseangle measuring or out-of-step protective relay*). Ochrana, která působí při předdefinovaném úhlu mezi dvěma napětími, mezi dvěma proudy nebo mezi proudem a napětím.
- 79. Střídavé relé opětného zapnutí** (*ac reclosing relay*). Relé, které řídí proces automatického opětného zapnutí a zablokování střídavého vypínače.
- 80. Spínač průtoku** (*flow switch*). Zařízení, které působí při dané hodnotě průtoku nebo vyhodnocuje rychlost změny průtoku.
- 81. Frekvenční ochrana** (*frequency relay*). Ochrana, která vyhodnocuje frekvenci elektrické veličiny a působí, jestliže frekvence nebo rychlost změny frekvence překročí, nebo je nižší, než předdefinovaná hodnota.
- 82. Měřicí stejnosměrné relé opětného zapnutí** (*dc loadmeasuring reclosing relay*). Relé, které řídí automatické zapnutí a opětné zapnutí vypínače stejnosměrného obvodu. Obvykle se jedná o odezvu na podmínky zatěžovacího obvodu.
- 83. Relé řízení automatické volby nebo přepínací relé** (*automatic selective control or transfer relay*). Relé, které aktivuje automatickou volbu mezi určitými zdroji nebo mezi podmínkami provozu zařízení, nebo relé, které provádí automatické přepnutí provozu.
- 84. Ovládací mechanismus** (*operating mechanism*). Kompletní elektrický mechanismus nebo servomechanismus (včetně motorického pohonu, solenoidů, polohových přepínačů atd.), určený pro přepínač odboček, indukční regulátor nebo jakékoli podobné zařízení, které nemá funkční číslo zařízení.

- 85. Ochrana s "vf" vazbou nebo s galvanickou vazbou** (*carrier or pilotwire receiver*). Ochrana, která je aktivována nebo je blokována signálem použitým ve spojení s "vf" vazebním, resp. stejnosměrným galvanicky propojeným přenosovým zařízením.
- 86. Blokovací relé s pamětí** (*lockout relay*). Ručně nebo elektricky resetované relé, které je aktivováno v okamžiku vzniku abnormálních provozních podmínek. Relé zajišťuje, že příslušný přístroj nebo zařízení zůstane mimo provoz/ odstaveno až do jeho resetu.
- 87. Rozdílová ochrana** (*differential protective relay*). Ochrana, která působí na procentuální rozdíl měřené veličiny, na rozdíl fázového úhlu nebo na jiný kvantitativní rozdíl mezi dvěma proudy nebo jinými elektrickými veličinami.
- 88. Pomocný motor nebo motorgenerátor** (*auxiliary motor or motor generator*). Zařízení použité pro provoz pomocného zařízení, jako např. pumpy, dmýchadla, budiče, rotačního magnetického zesilovače atd.
- 89. Vypínač vedení** (*line switch*). Vypínač použitý jako rozpojovač, odpínač zátěže nebo odpojovač ve střídavém nebo stejnosměrném výkonovém obvodu. (Toto funkční číslo zařízení není obvykle potřebné, pokud není vypínač elektricky ovládán nebo pokud nemá elektrické příslušenství, jako např. pomocné přepínače, magnetické zámky, atd).
- 90. Regulační zařízení** (*regulating device*). Zařízení určené k regulaci veličiny nebo veličin, jako např. napětí, proudu, výkonu, rychlosti / otáček, frekvence, teploty a zatížení, na určité hodnotě nebo mezi určitými (obvykle blízkými) limity. Zařízení je použito u strojů, spínačů vedení nebo jiných přístrojů.

91. Směrová napěťová ochrana (*Voltage directional relay*). Ochrana, která působí, jestliže napětí na vypnutém vypínači nebo stykači překročí v daném směru zadanou hodnotu.

92. Směrová napěťová a výkonová ochrana (*voltage and power directional relay*). Ochrana, která uvolňuje nebo aktivuje propojení dvou obvodů, jestliže difference napětí mezi těmito obvody překročí v předdefinovaném směru zadanou hodnotu a aktivuje vzájemné rozpojení těchto dvou obvodů, pokud výkon, který teče mezi těmito obvody překročí v daném směru zadanou hodnotu.

93. Stykač změny buzení (*fieldchanging contactor*). Stykač, kterým je provedeno skokové zvýšení nebo snížení hodnoty buzení stroje.

94. Vypínací relé nebo relé s nezávislým vypínáním (*tripping or tripfree relay*). Relé, které aktivuje vypnutí vypínače, stykače nebo jiného zařízení. Relé umožňuje mžikové vypnutí jiným zařízením, nebo blokuje funkci mžikového opětného zapnutí vypínače obvodu, pokud má dojít k jeho automatickému vypnutí, i v případě, kdy je zapínací obvod uzavřen (kdy je zapínací povel aktivní).

95.– 99. Použito pouze pro specifické aplikace v individuálních instalacích, kde žádná z funkcí, které jsou přiřazeny číslům 1 až 94 pro dané zařízení nevyhovuje.

Přídavná písmena

Přídavná písmena se používají s čísly funkcí zařízení pro různé účely. Aby se předešlo možnému konfliktu, označuje kterékoliv samostatně použité přídavné písmeno nebo kombinace písmen pouze jedno slovo nebo význam, v tom kterém

zařízení. Každé jednotlivé písmeno nebo kombinace písmen by mělo být jasně vysvětleno v legendě na výkrese nebo v návodu použití zařízení.

Přídavná čísla

Jsou-li v jednom zařízení dva nebo více přístrojů se stejným funkčním číslem a přídavným písmenem (je-li použito) mohou být rozlišeny číselnými příponami jako např. 52X-1, 52X-2, a 52X-3, je-li to potřeba.

Zařízení s více než jednou funkcí

Jestliže jeden přístroj má v zařízení dvě relativně důležité funkce a má-li být popsán tak, aby byly obě tyto funkce identifikovatelné může to být provedeno dvojitým číslem funkce a názvem jako např. 27-59 podnapěťové a přepětové relé

Příklad použití ANSI kódu:

14	kontrola snížení otáček
21	distanční ochrana, fázová
21N	distanční ochrana zemní
21PI	lokátor poruch
24	ochrana přesycení U/f
25	funkce kontroly synchronního stavu
26	tepelná ochrana stroje-Pt 100
27	podpětová ochrana
27D	směrová podpětová ochrana
27/50	ochrana odstaveného stroje
27/59	časově nezávisle zpožděná napěťová funkce měřící současně nejvyšší a nejnižší napětí

32	směrová výkonová ochrana
32F (32L)	výkonová ochrana směrována dopředu
32R	zpětná výkonová ochrana
32P	výkonová směrová ochrana měřící činnou složku
32Q	výkonová směrová ochrana měřící jalovou složku výkonu
37	podproudová nebo podvýkonová ochrana
38	teplota vinutí
40	funkce vyměřující minimální reaktanci, ochrana podbuzení
46	ochrana fázové proudové nevyváženosti, vyhodnocuje zpětnou složku proudu
47	ochrana fázové napětíové nevyváženosti, vyhodnocuje zpětnou složku napětí
48	relé neukončené sekvence
49	funkce tepelného přetížení stroje
49E	přetížení rotoru budiče
49G	tepelné přetížení generátoru
49F	ochrana při tepelném přetížení vývodu
49M	tepelné přetížení motoru
49R	tepelné přetížení rotoru
49S	tepelné přetížení statoru
49T	tepelné přetížení transformátoru
50	nadproudová nesměrová mžiková ochrana
50N	nadproudová zemní nesměrová mžiková ochrana
50/27G	nadproudová mžiková nesměrová ochrana s podpětíovou přídrží
51	nadproudová nesměrová ochrana z časovým zpožděním
51C	třířázová nadproudová ochrana paralelních kondenzátorových baterií

51DT	časová nezávisle zpožděná nadproudová funkce
51E	nesměrová nadproudová/zkratová statoru budiče
51MS	kontrola startu motoru
51B	nadproudová ochrana přípojnic
51N	zemní nadproudová mžiková ochrana
51NC	ochrana při proudové nevyváženosti paralelních kondenzátorových baterií
51V	nadproudová nesměrová/ uvolňována podpětím
51/27	nadproudová nesměrová/ uvolňována podpětím
55	kontrola $\cos \phi$
59	přepětíová ochrana
59E	přepětí statoru budiče
59F	přepětíová ochrana/ nadfrekvenční ochrana
59N	přepětíová ochrana Uo
59GN	statorová zemní ochrana
59/81	ochrana při přesycení
60	ochrana napětíové nesymetrie
62BF	funkce selhání vypínače
63	Buchholz relé, plynové relé
64	100 % zemní statoru
64R	zemní rotoru
64RE	zemní rotoru budiče
64RG	zemní rotoru generátoru
66	funkce kontrolující počet startů
67	směrová nadproudová ochrana
67N	směrová zemní
68	funkce detekce zapínacího rázu
74	výstražné signalizační relé

78	funkce ztráty synchronismu, ochrana prokluzu pólů
79	funkce opětného zapnutí
81	frekvenční ochrana
81H	nadfrekvenční ochrana
81L	podfrekvenční ochrana
81U	podfrekvenční ochrana / funkce odepínání zátěže
85	blokovací relé, např. zakázaný start motoru
86	diferenciální ochrana
87E	diferenciální ochrana budiče generátoru
87G	diferenciální ochrana generátoru
87T	diferenciální ochrana transformátoru
87BB	diferenciální ochrana přípojníc
87M	diferenciální ochrana motoru
87L	diferenciální ochrana vedení
87N	nízko nebo vysokoimpedanční zemní ochrana
98	funkce prokluzu rotoru (asynchronní chod generátoru)

20. Označování funkcí ochran podle PNE 18 4310

F11	- nadproudová ochrana časově nezávislá
F12	- nadproudová ochrana časově nezávislá zkratová
F13	- nadproudová ochrana při přetížení
F14	- nadproudová ochrana na nulovou složku
F15	- přepět'ová ochrana, směrová ochrana
F16	- kostrová ochrana silového prvku (transformátor, tlumivka)
F17	- kostrová ochrana rozváděče
F18	- záblesková ochrana
F19	- nadproudová ochrana tepelně závislá
F20	- izolační stav
F21	- synchronizační zařízení
F23	- hustota SF6 v zapouzdřené rozvodně
F24	- plynové relé
F25	- distanční ochrana
F26	- srovnávací ochrana, podélná rozdílová ochrana
F28	- automatika OZ
F29	- ostatní automatiky
F30	- rozdílová ochrana silového prvku
F31	- rozdílová ochrana přípojníc
F32	- automatika selhání vypínače
F33	- logická ochrana přípojníc
F34	- napět'ová ochrana na Uo
F35	- napět'ová ochrana na U2
F36	- napět'ová ochrana a automatika
F37	- podpět'ová ochrana, ztráta napětí
F39	- frekvenční ochrana

F41 - ochrana při zemním spojení

F55 - balanční ochrana

F59 - zemní spojení v DC síti

F97 - lokátor poruch

21. Zjednodušení výpočtů

V některých případech potřebujeme znát pro potřebu nastavení ochran hodnoty chráněného obvodu. Tyto výpočty se dají zjednodušit takto:

Zkratový příspěvek generátoru:

$$1) \ x_G = \frac{x_d''}{100} \cdot \frac{U_{nG}^2}{S_{nG}} = \frac{x_d''}{100} \cdot \frac{U_{nG}}{\sqrt{3} \cdot I_{nG}} \quad [\Omega]$$

podmínka výpočtu $U_{nG} = U_s$

můžeme tedy napsat:

$$x_G = \frac{x_d''}{100} \cdot \frac{U_s}{\sqrt{3} \cdot I_{nG}} \quad [\Omega] \Rightarrow I_{nG} \cdot \frac{100}{x_d''} = \frac{U_s}{\sqrt{3} \cdot x_G} \quad [A]$$

$$2) \ I_k'' = \frac{U_s}{\sqrt{3} \cdot x_G} \quad [A]$$

sloučením vzorců 1 a 2 platí:

$$I_{kG}'' = I_{nG} \cdot \frac{100}{x_d''} \quad [A], \quad S_{kG}'' = S_{nG} \cdot \frac{100}{x_d''} \quad [MVA]$$

Zkratový příspěvek synchronního motoru:

Na rozdíl od generátorů, kde je podélná rázová reaktance generátoru x_d'' vždy známa, u synchronních motorů a synchronních kompenzátorů x_d'' neznáme. Pro účel výpočtu nastavení ochran nám stačí přibližný odhad. U synchronních motorů vn včetně synchronních kompenzátorů můžeme odhadnout, že $x_d'' = 14 \%$.

potom platí:

$$I_{kSM}'' = I_{nSM} \cdot \frac{100}{x_d''} = I_{nSM} \cdot \frac{100}{14} \Rightarrow I_{kSM}'' \cong 7 \cdot I_{nSM} \quad [\text{A}]$$

Zkratový příspěvek asynchronního motoru:

U asynchronních motorů budeme vycházet z rozběhového proudu:

$$1) \quad x_{AM} = \frac{U_{nAM}^2}{I_s \cdot \frac{P_{nAM}}{\cos \phi_{AM} \cdot \eta_{AM}}} = \frac{U_{nAM}^2}{I_s \cdot S_{nAM}} = \frac{U_{nAM}}{I_s \cdot I_{nAM} \cdot \sqrt{3}} \quad [\Omega]$$

$$2) \quad I_{kAM}'' = \frac{U_{nAM}}{\sqrt{3} \cdot x_{AM}} \quad [\text{A}]$$

$$3) \text{ po sloučení vzorců 1 a 2 platí: } I_{kAM}'' = I_{sAM} \cdot I_{nAM} \quad [\text{A}]$$

Paralelní chod transformátorů

Pro pochopení některých provozních situací při paralelním provozu transformátorů potřebujeme znát tyto vztahy:

rozdíl napětí - máme dva stejné transformátory $110 \pm 8 \times 2\% / 23 \text{ kV}$, $u_k = 11\%$

takže 1 odbočka je $110 \times 1,02 = 112,2 \text{ kV}$, 2 odbočka je $110 \times 1,04 = 114,4 \text{ kV}$

po zjednodušení platí

$$I_v = \frac{\Delta U}{Z_1 + Z_2} \quad [-]$$

Pokud budou oba transformátory provozovány paralelně a bude mezi nimi rozdíl jedné nebo dvou odboček, poteče mezi transformátory vyrovnávací proud:

rozdíl o 1 odbočku $I_v = \frac{0,02}{0,11 + 0,11} = 0,090909 \text{ [In trafa]},$

kde 9,09 % In trafa (1005 A) to je 91,36 A

rozdíl o dvě odbočky od sebe, to je 182,7 A

rozdíl výkonu a napětí nakrátko:

transformátor A - $S_n = 50 \text{ MVA}$, $u_k = 13\%$

transformátor B - $S_n = 31,5 \text{ MVA}$, $u_k = 10,7\%$

Transformátory pracují paralelně a celkové zatížení je 80 MVA, jak se rozdělí výkon?

$$1) \text{ platí rovnice rozdělení výkonu: } \Delta p\% = u_{kA} \cdot \frac{S_A}{S_{nA}} - u_{kB} \cdot \frac{S_B}{S_{nB}} = 0$$

$$2) \text{ výkon celkově } S_A + S_B = 80 \quad [\text{MVA}]$$

$$3) \text{ při platnosti } \Delta p\% = 0$$

$$4) \text{ platí: } S_A = S_B \cdot \frac{u_{kB} \cdot S_{nA}}{u_{kA} \cdot S_{nB}} = S_B \cdot \frac{10,7 \cdot 50}{13 \cdot 31,5} = 1,3064 \cdot S_B$$

sloučením vzorců 2 a 4 nám vyjde, že transformátor A (50MVA) bude zatížen 45,31 MVA a transformátor B(31,5MVA) bude zatížen 34,68 MVA.



$$1,3064 \cdot S_B + S_B = 80 \Rightarrow 2,3064 \cdot S_B = 80 \Rightarrow S_B = 34,68 \quad [\text{MVA}]$$

Platí pro kabely Kablo Velké Meziříčí a.s.

Jednožilové kabely

Kabely s XPE izolací

kabely 10 kV s hliníkovým nebo měděným jádrem

průřez	činný odpor hliníkové jádro	činný odpor měděné jádro	kapacitní proud kabelu pro napětí 6 kV	kapacitní proud kabelu pro napětí 10 kV	indukční reaktance	indukční reaktance
						
(mm ²)	(Ω/km)	(Ω/km)	(A/km)	(A/km)	(Ω/km)	(Ω/km)
35	0,8680	0,5240	0,72	1,20	0,1413	0,2020
50	0,6410	0,3870	0,82	1,36	0,1350	0,1957
70	0,4430	0,2680	0,91	1,52	0,1287	0,1894
95	0,3200	0,1930	1,04	1,74	0,1225	0,1832
120	0,2530	0,1530	1,14	1,90	0,1162	0,1769
150	0,2060	0,1240	1,24	2,07	0,1130	0,1737
185	0,1640	0,0991	1,34	2,23	0,1099	0,1706
240	0,1250	0,0754	1,47	2,45	0,1068	0,1675
300	0,1000	0,0601	1,63	2,72	0,1036	0,1643
400	0,0778	0,0470	1,79	2,99	0,0973	0,1580
500	0,0650	0,0366	1,99	3,32	0,0942	0,1549

Platí pro kabely Kablo Velké Meziříčí a.s.

Jednožilové kabely

Kabely s XPE izolací

kabely 22 kV s hliníkovým nebo měděným jádrem

průřez	činný odpor hliníkové jádro	činný odpor měděné jádro	kapacitní proud kabelu pro napětí 22 kV	indukční reaktance	indukční reaktance
(mm ²)	(Ω/km)	(Ω/km)	(A/km)	(Ω/km)	(Ω/km)
35	0,8680	0,5240	1,91	0,1507	0,2114
50	0,6410	0,3870	2,15	0,1444	0,2051
70	0,4430	0,2680	2,39	0,1382	0,1989
95	0,3200	0,1930	2,63	0,1319	0,1926
120	0,2530	0,1530	2,87	0,1256	0,1863
150	0,2060	0,1240	3,11	0,1193	0,1800
185	0,1640	0,0991	3,35	0,1162	0,1769
240	0,1250	0,0754	3,59	0,1130	0,1737
300	0,1000	0,0601	3,95	0,1099	0,1706
400	0,0778	0,0470	4,43	0,1036	0,1643
500	0,0650	0,0366	4,79	0,1005	0,1612

Platí pro kabely Kablo Velké Meziříčí a.s.

Jednožilové kabely

Kabely s XPE izolací

kabely 35 kV s hliníkovým nebo měděným jádrem



průřez	činný odpor hliníkové jádro	činný odpor měděné jádro	kapacitní proud kabelu pro napětí 35 kV	indukční reaktance	indukční reaktance
(mm ²)	(Ω/km)	(Ω/km)	(A/km)	(Ω/km)	(Ω/km)
50	0,6410	0,3870	2,47	0,1601	0,2208
70	0,4430	0,2680	2,66	0,1507	0,2114
95	0,3200	0,1930	2,86	0,1444	0,2051
120	0,2530	0,1530	3,05	0,1382	0,1989
150	0,2060	0,1240	3,24	0,1350	0,1957
185	0,1640	0,0991	3,62	0,1287	0,1894
240	0,1250	0,0754	4,00	0,1256	0,1863
300	0,1000	0,0601	4,38	0,1193	0,1800
400	0,0778	0,0470	4,76	0,1162	0,1769
500	0,0650	0,0366	5,33	0,1130	0,1737

Platí pro kabely Kablo Kladno a.s.

Jednožilové kabely

AXEKCE, CXEKCE, AXEKCY, CXEKCY, AXEKVCE, CXKVCE,
 AXEKVCEY, CXEKVCEY, AXEKVCVE, CXEKVCVE, AXEKVCVEY,
 CXEKVCVEY, AXEKVOY, CXEKVOY, AVXEKVOY, CVXEKVOY

kabely 10 kV s hliníkovým nebo měděným jádrem



průřez	činný odpor hliníkové jádro	činný odpor měděné jádro	kapacitní proud kabelu pro napětí 6 kV	kapacitní proud kabelu pro napětí 10 kV	indukční reaktance	indukční reaktance
(mm ²)	(Ω/km)	(Ω/km)	(A/km)	(A/km)		
35	-	0,5240	0,72	1,20	0,1413	0,2020
50	0,6410	0,3870	0,82	1,36	0,1350	0,1957
70	0,4430	0,2680	0,91	1,52	0,1287	0,1894
95	0,3200	0,1930	1,04	1,74	0,1225	0,1832
120	0,2530	0,1530	1,14	1,90	0,1162	0,1769
150	0,2060	0,1240	1,24	2,07	0,1130	0,1737
185	0,1640	0,0991	1,34	2,23	0,1099	0,1706
240	0,1250	0,0754	1,47	2,45	0,1068	0,1675
300	0,1000	0,0601	1,63	2,72	0,1036	0,1643
400	0,0778	0,0470	1,79	2,99	0,0973	0,1580
500	0,0605	0,0366	1,99	3,32	0,0942	0,1549

Platí pro kabely Kablo Kladno a.s.

Jednožilové kabely

AXEKCE, CXEKCE, AXEKCY, CXEKCY, AXEKVCE, CXKVCE,
 AXEKVCEY, CXEKVCEY, AXEKVCVE, CXEKVCVE, AXEKVCVEY,
 CXEKVCVEY, AXEKVOY, CXEKVOY, AVXEKVOY, CVXEKVOY

kabely 22 kV s hliníkovým nebo měděným jádrem

průřez	činný odpor hliníkové jádro	činný odpor měděné jádro	kapacitní proud kabelu pro napětí 22 kV	indukční reaktance	indukční reaktance
(mm ²)	(Ω/km)	(Ω/km)	(A/km)		
35	-	0,5240	1,91	0,1507	0,2114
50	0,6410	0,3870	2,15	0,1444	0,2051
70	0,4430	0,2680	2,39	0,1382	0,1989
95	0,3200	0,1930	2,63	0,1319	0,1926
120	0,2530	0,1530	2,87	0,1256	0,1863
150	0,2060	0,1240	3,11	0,1193	0,1800
185	0,1640	0,0991	3,35	0,1162	0,1769
240	0,1250	0,0754	3,59	0,1130	0,1737
300	0,1000	0,0601	3,95	0,1099	0,1706
400	0,0778	0,0470	4,43	0,1036	0,1643
500	0,0605	0,0366	4,79	0,1005	0,1612

Platí pro kabely Kablo Kladno a.s.

Jednožilové kabely

AXEKCE, CXEKCE, AXEKCY, CXEKCY, AXEKVCE, CXKVCE, AXEKVCEY, CXEKVCEY, AXEKVCVE, CXEKVCVE, AXEKVCVEY, CXEKVCVEY, AXEKVOY, CXEKVOY, AVXEKVOY, CVXEKVOY

kabely 35 kV s hliníkovým nebo měděným jádrem

průřez	činný odpor hliníkové jádro	činný odpor měděné jádro	kapacitní proud kabelu pro napětí 35 kV	indukční reaktance	indukční reaktance
(mm ²)	(Ω/km)	(Ω/km)	(A/km)	(Ω/km)	(Ω/km)
50	0,6410	0,3870	2,47	0,1601	0,2208
70	0,4430	0,2680	2,66	0,1507	0,2114
95	0,3200	0,1930	2,86	0,1444	0,2051
120	0,2530	0,1530	3,05	0,1382	0,1989
150	0,2060	0,1240	3,24	0,1350	0,1957
185	0,1640	0,0991	3,62	0,1287	0,1894
240	0,1250	0,0754	4,00	0,1256	0,1863
300	0,1000	0,0601	4,38	0,1193	0,1800
400	0,0778	0,0470	4,76	0,1162	0,1769
500	0,0605	0,0366	5,33	0,1130	0,1737

Platí pro kabely Kablo Bratislava

Jednožilové kabely

Kabely s izoláciou zo zosieteného polyetylénu

kabely 10 kV s hliníkovým nebo měděným jádrem



průřez	činný odpor hliníkové jádro	činný odpor měděné jádro	kapacitní proud kabelu pro napětí 6 kV	kapacitní proud kabelu pro napětí 10 kV	indukční reaktance	indukční reaktance
(mm ²)	(Ω/km)	(Ω/km)	(A/km)	(A/km)	(Ω/km)	(Ω/km)
50	0,6410	0,3870	0,82	1,36	0,1350	0,1957
70	0,4430	0,2680	0,91	1,52	0,1287	0,1894
95	0,3200	0,1930	1,04	1,74	0,1225	0,1832
120	0,2530	0,1530	1,14	1,90	0,1162	0,1769
150	0,2060	0,1240	1,24	2,07	0,1130	0,1737
185	0,1640	0,0991	1,34	2,23	0,1099	0,1706
240	0,1250	0,0754	1,47	2,45	0,1068	0,1675
300	0,1000	0,0601	1,63	2,72	0,1036	0,1643
400	-	0,0470	1,79	2,99	0,0973	0,1580
500	-	0,0366	1,99	3,32	0,0942	0,1549

Platí pro kabely Kablo Bratislava

Jednožilové kabely

Kabely s izoláciou zo zosieteného polyetylénu

kabely 22 kV s hliníkovým alebo miedňým jädrom



průřez	činný odpor hliníkové jádro	činný odpor mieděné jádro	kapacitní proud kabelu pro napětí 22 kV	indukční reaktance	indukční reaktance
(mm ²)	(Ω/km)	(Ω/km)	(A/km)		
50	0,6410	0,3870	2,15	0,1444	0,2051
70	0,4430	0,2680	2,39	0,1382	0,1989
95	0,3200	0,1930	2,63	0,1319	0,1926
120	0,2530	0,1530	2,87	0,1256	0,1863
150	0,2060	0,1240	3,11	0,1193	0,1800
185	0,1640	0,0991	3,35	0,1162	0,1769
240	0,1250	0,0754	3,59	0,1130	0,1737
300	0,1000	0,0601	3,95	0,1099	0,1706
400	-	0,0470	4,43	0,1036	0,1643
500	-	0,0366	4,79	0,1005	0,1612

Platí pro kabely Kablo Bratislava

Jednožilové kabely

Kabely s izoláciou zo zosieteného polyetylénu

kabely 35 kV s hliníkovým alebo miedňým jädrom

průřez	činný odpor hliníkové jádro	činný odpor mieděné jádro	kapacitní proud kabelu pro napětí 35 kV	indukční reaktance	indukční reaktance
(mm ²)	(Ω/km)	(Ω/km)	(A/km)		
50	0,6410	0,3870	2,47	0,1601	0,2208
70	0,4430	0,2680	2,66	0,1507	0,2114
95	0,3200	0,1930	2,86	0,1444	0,2051
120	0,2530	0,1530	3,05	0,1382	0,1989
150	0,2060	0,1240	3,24	0,1350	0,1957
185	0,1640	0,0991	3,62	0,1287	0,1894
240	0,1250	0,0754	4,00	0,1256	0,1863
300	0,1000	0,0601	4,38	0,1193	0,1800
400	-	0,0470	4,76	0,1162	0,1769
500	-	0,0366	5,33	0,1130	0,1737

Platí pro kabely Kablo Kladno

Třížilové kabely

ANKOPV, CNKOPV, ANKTOYPV

kabely 6 kV ANKOPV CNKOPV				
průřez	činný odpor hliníkové jádro	činný odpor měděné jádro	kapacitní proud kabelu pro napětí 6 kV	indukční
				reaktance
(mm ²)	(Ω/km)	(Ω/km)	(A/km)	(Ω/km)
3 x 50	0,6192	0,3759	1,23	0,0898
3 x 70	0,4423	0,2685	1,43	0,0870
3 x 95	0,3259	0,1979	1,66	0,2104
3 x 120	0,2580	0,1566	1,86	0,0823
3 x 150	0,2064	0,1253	2,06	0,0798
3 x 185	0,1673	0,1016	2,31	0,0788
3 x 240	0,1290	0,0783	2,56	0,0776

kabely 10 kV ANKOPV CNKOPV				
průřez	činný odpor hliníkové jádro	činný odpor měděné jádro	kapacitní proud kabelu pro napětí 10 kV	indukční
				reaktance
(mm ²)	(Ω/km)	(Ω/km)	(A/km)	(Ω/km)
3 x 50	0,6192	0,3759	1,77	0,0977
3 x 70	0,4423	0,2685	1,98	0,0942
3 x 95	0,3259	0,1979	2,29	0,0901
3 x 120	0,2580	0,1566	2,53	0,0876
3 x 150	0,2064	0,1253	2,82	0,0851
3 x 185	0,1673	0,1016	3,00	0,0838
3 x 240	0,1290	0,0783	3,20	0,0820

Platí pro kabely Kablo Kladno

Třížilové kabely

ANKOPV, CNKOPV, ANKTOYPV

kabely 22 kV ANKTOYPV			
průřez	činný odpor hliníkové jádro	kapacitní proud kabelu pro napětí 22 kV	indukční
			reaktance
(mm ²)	(Ω/km)	(A/km)	(Ω/km)
3 x 70	0,4423	2,779	0,1372
3 x 95	0,3259	3,680	0,1303
3 x 120	0,2580	3,354	0,1253
3 x 150	0,2064	2,632	0,1209
3 x 185	0,1635	3,915	0,1199
3 x 240	0,1290	4,315	0,1130

kabely 35 kV ANKTOYPV			
průřez	činný odpor hliníkové jádro	kapacitní proud kabelu pro napětí 35 kV	indukční
			reaktance
(mm ²)	(Ω/km)	(A/km)	(Ω/km)
3 x 95	0,3259	6,230	0,1422
3 x 120	0,2580	6,728	0,1369
3 x 150	0,2064	7,148	0,1319
3 x 185	0,1635	7,587	0,1281
3 x 240	0,1290	8,137	0,1231

Platí pro kabely Kablo Kladno

Třížilové kabely

HTPS, HATPS

kabely 22 kV

ČSN 34 1610

průřez	činný odpor	činný odpor	indukční
			reaktance
	hliníkové jádro	měděné jádro	
(mm ²)	(Ω/km)	(Ω/km)	(Ω/km)
3 x 35		0,5240	0,1260
3 x 50	0,6192	0,3759	0,1160
3 x 70	0,4423	0,2685	0,1070
3 x 95	0,3259	0,1979	0,1040
3 x 120	0,2580	0,1566	0,0970
3 x 150	0,2064	0,1253	0,0940
3 x 185	0,1673	0,1016	0,0910
3 x 240	0,1290	0,0783	0,0880

kabely 35 kV

průřez	činný odpor	činný odpor	indukční
			reaktance
	hliníkové jádro	měděné jádro	
(mm ²)	(Ω/km)	(Ω/km)	(Ω/km)
3 x 50	0,6192	0,3759	0,1450
3 x 70	0,4423	0,2685	0,1290
3 x 95	0,3259	0,1979	0,1230
3 x 120	0,2580	0,1566	0,1160
3 x 150	0,2064	0,1253	0,1130
3 x 185	0,1673	0,1016	0,1070
3 x 240	0,1290	0,0783	0,1000

Platí pro kabely Kablo Kladno

Třížilové kabely

HTPS, HATPS

kabely 3 kV

ČSN 34 1610

průřez	činný odpor	činný odpor	indukční
			reaktance
	hliníkové jádro	měděné jádro	
(mm ²)	(Ω/km)	(Ω/km)	(Ω/km)
3 x 35		0,5240	0,0850
3 x 50	0,6192	0,3759	0,0820
3 x 70	0,4423	0,2685	0,0820
3 x 95	0,3259	0,1979	0,0780
3 x 120	0,2580	0,1566	0,0750
3 x 150	0,2064	0,1253	0,0750
3 x 185	0,1673	0,1016	0,0750
3 x 240	0,1290	0,0783	0,0750

kabely 6 kV

ČSN 34 1610

průřez	činný odpor	činný odpor	indukční
			reaktance
	hliníkové jádro	měděné jádro	
(mm ²)	(Ω/km)	(Ω/km)	(Ω/km)
3 x 35		0,5240	0,0940
3 x 50	0,6192	0,3759	0,0880
3 x 70	0,4423	0,2685	0,0850
3 x 95	0,3259	0,1979	0,0820
3 x 120	0,2580	0,1566	0,0780
3 x 150	0,2064	0,1253	0,0780
3 x 185	0,1673	0,1016	0,0780
3 x 240	0,1290	0,0783	0,0780

Platí pro kabely Kablo Kladno

Třížilové kabely

HTPS, HATPS

kabely 10 kV

ČSN 34 1610

průřez	činný odpor	činný odpor	indukční
			reaktance
	hliníkové jádro	měděné jádro	
(mm ²)	(Ω/km)	(Ω/km)	(Ω/km)
3 x 35		0,5240	0,1000
3 x 50	0,6192	0,3759	0,0970
3 x 70	0,4423	0,2685	0,0940
3 x 95	0,3259	0,1979	0,0910
3 x 120	0,2580	0,1566	0,0880
3 x 150	0,2064	0,1253	0,0850
3 x 185	0,1673	0,1016	0,0850
3 x 240	0,1290	0,0783	0,0820

Literatura:

Bermann, J.: Transformátory pro rychlé ochrany. Měření a regulace.p50-58., 2/1970

Beran, M.: Elektrické ochrany strojů a zařízení elektrizační soustavy. VŠSE Plzeň. 1979

Chladný, V., Hudák,D.: Ochrany v elektrizačních sítích. ALFA Bratislava. 1977

Cigánek, M.: Měřicí a ochranné přístroje. ESČ 1944

Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku. SNTL/ALFA. Praha 1978

Dohnálek, P.: Provoz a údržba ochrany v energetice. SNTL. Praha 1989

Haluzík, E.: Ochrany a automatiky v elektrických sítích. VUT Brno. 1986

Postler, L.: Samočinné přístroje pro generátory. ESČ 1943., (II.ed.1948)

Postler, L.: Ochrany vedení. ESČ 1949

Postler, L.: Ochranné, řídicí a sdělovací přístroje v elektrizačních soustavách. Dva díly. SNTL Praha 1961

Procházka, K.: Vybrané problémy provozu distribučních sítí vn. VÚE Brno odbor České Budějovice, České Budějovice, 1992

Diferenciální ochrana R30. Návod pro projektování a uvádění do provozu. II. vydání, ZPA 1971

Kabelové sítě vn s odporovým uzemněním uzlu. Směrnice ČEZ/SEP č.12.1977

Smíšené sítě vn s odporovým uzemněním uzlu. Směrnice ČEZ/SEP č.18. 1978

Zkratové chránění kabelových sítí vn. Směrnice ČEZ/SEP č.13. 1978

Lehtonen, M. – Hakola,T.: Neutral Earthing and Power System Protection. 1996

Technika ochrany 1, Technika ochrany 2. vydala fy Dohnálek. Nedatováno

Použité ČSN:

Elektrická zařízení provedená a provozovaná podle předpisů a norem platných v době, kdy byla tato zařízení zřizována, lze ponechat v provozu beze změny (odpovídají i nadále předpisům, podle kterých byla tato zařízení zřizována a provozována), jestliže však nemají závady, jež by ohrožovaly zdraví, ani nejsou nebezpečná životu a neohrožují bezpečnost věcí. Nevyhovují-li některé ze jmenovaných podmínek, je nutné zařízení upravit podle nových předpisů a norem citace - ČSN 33 2000-1 – Národní předmluva, 2003). Z citace této normy vyplývá nutnost znalosti již neplatných ČSN.

Při citaci norem uvádím za číslem normy rok vydání z toho důvodu, že některé nové edice norem značně změnily pohled na chránění elektrických zařízení.

ČSN 33 0050 IEC 50(448) (1997) Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 448: Ochrany elektrizační soustavy.

ČSN 33 2000 – 1 (2003) Elektrické instalace budov – Rozsah platnosti, účel a základní hlediska.

ČSN 33 2000 – 4 – 41 (1996) Ochrana před úrazem elektrickým proudem

ČSN 33 2000 – 4 – 43 (1994) Ochrana proti nadproudům. čl. 431 až 434

ČSN 33 2000 – 4 – 43 (2003) Ochrana proti nadproudům. čl. 431 až 434

ČSN 33 2000 – 4 – 473 (1994) Opatření k ochraně proti nadproudům. čl. 473

ČSN 33 2000 – 5 – 523 (1994) Dovolené proudy, čl. 523

ČSN 33 2000 – 5 – 523 (2003) Dovolené proudy. čl. 523.1.1

ČSN 33 3020 (1987) Výpočet poměrů při zkratech v trojfázové elektrizační soustavě.

ČSN 33 3020 (1992) Výpočet poměrů při zkratech v trojfázové elektrizační soustavě.

ČSN 33 3022 (2002) Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách – Část 0, Výpočet proudů

ČSN 33 3023 (1997) Výpočet zkratových proudů v trojfázových střídavých soustavách. – Část 1: Součinitele pro výpočet zkratových proudů v trojfázových střídavých soustavách podle IEC 909.

ČSN 33 3024 (1997) Data pro výpočty zkratových proudů v souladu s IEC 909

PNE 33 3042 (2003) Příklady výpočtů zkratových proudů ve střídavých sítích

ČSN 33 0050 IEC 50 (448) (1997) Mezinárodní elektrotechnický slovník Kapitola 448: Ochrany elektrizační soustavy.

ČSN 35 1100 (1980) Výkonové transformátory

ČSN 38 1120 (1994) Vlastní spotřeba tepelných elektráren a tepláren. čl. 4 až 5

ČSN 33 2000 – 1 (2003) Elektrické instalace budov – Rozsah platnosti, účel a základní hlediska.

ČSN 33 2200 ČSN EN 60204-1 (2000) Elektrická zařízení strojů

PNE 33 3042 (2003) Příklady výpočtů zkratových proudů ve střídavých sítích

ČSN 33 3051 (1992) Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení.

ČSN 33 3070 (1981) Kompenzace kapacitních proudů v sítích vysokého napětí, čl.2

ČSN 34 1020 (1970) Předpisy pro dimensování a jištění vodičů a kabelů

ČSN 34 1610 (1963) Elektrický silový rozvod v průmyslových rozvodnách

ČSN 34 7418 IEC 183+A1 (2001) Návod pro výběr vysokonapěťových kabelů

ČSN 35 1100 (1980) Výkonové transformátory

ČSN 35 1105 (1976) Zatížitelnost suchých výkonových transformátorů

ČSN 35 1105 (1989) Návod na zařazování suchých výkonových transformátorů.

ČSN 35 1106 (1997) Pokyny pro zatěžování olejových výkonových transformátorů.

ČSN 35 1106 (1976) Zatížitelnost olejových výkonových transformátorů.

ČSN 35 1110 (1981) Trojfázové suché výkonové transformátory.

ČSN 35 1120 (1976) Trojfázové olejové výkonové transformátory.

ČSN 38 0411 (1960) Výpočet poměrů při zkratech v trojfázové elektrizační soustavě.

ČSN 38 1009 (1972) Měření, řízení, ochrany, automatika a sdělovací zařízení v energetických výrobnách a rozvodu elektřiny. čl.205 až 271

OEG 38 3010 (1966) Provozní pravidla pro elektrárny a sítě. Část A. Strojně technologická zařízení elektráren.

OEG 38 3011 (1966) Provozní pravidla pro elektrárny a sítě. Část B. Elektrická rozvodná zařízení.

PNE 38 4065 (2004) Provoz, navrhování a zkoušení ochrany

Obsah:

Úvod	5
1. Historie chránění zařízení vysokého napětí	7
1.1. Historie chránění zařízení vysokého napětí do roku 1945	7
1.2. Historie chránění zařízení vysokého napětí po roku 1945	10
2. Poruchové stavy v elektrizační soustavě	13
3. Teorie ochrany a chránění	17
3.1. Teorie ochrany	17
3.2. Třídění ochrany	18
3.3. Požadavky kladené na ochrany	21
3.4. Základní členy ochrany	23
3.5. Teorie chránění	28
4. Technická data pro výpočet nastavení ochrany	31
5. Výpočet zkratových poměrů nutných pro nastavení ochrany	39
5.1. Teorie výpočtu zkratů	39
5.2. Výpočet zkratů v praxi	50
5.3. Příklad výpočtů zkratů pro nastavení ochrany	54
6. Chránění kabelových vedení	65
6.1. Chránění proti proudovým přetížením	76
6.2. Výpočet nastavení nadproudových ochrany	78
6.3. Chránění proti zkratovým proudům	81
6.4. Výpočet nastavení ochrany na oteplení při zkratu	83
6.5. Výpočet nastavení ochrany pro selektivní vypínání zkratů	85
6.6. Teoretický rozbor výpočtů proudu při zemních poruchách	88
6.7. Chránění proti zkratovým proudům při zemních zkratech	91
6.8. Chránění proti proudům při zemním spojení (izolovaná soustava)	92
6.9. Chránění proti proudům při zemním spojení (kompenzovaná soustava)	94

6.10. Výpočet nastavení ochran pro zemní poruchy	95
6.11. Zapojení měřících transformátorů pro měření I_0 a U_0	104
6.12. Plášťová ochrana kabelu	106
6.13. Chránění vedení vn z pohledu ČSN	107
7. Chránění transformátorů vn	111
7.1. Poruchy transformátorů	111
7.2. Ochran transformátorů	112
7.3. Chránění transformátorů z pohledu ČSN	117
7.4. Zatěžování olejových transformátorů	120
7.5. Zatěžování suchých transformátorů	122
7.6. Výpočet nastavení transformátorů	125
7.6.1. Výpočet nastavení transformátorů podle PNE 38 4065	125
7.6.2. Příklady výpočtu nastavení transformátorů	127
8. Chránění asynchronních motorů	133
8.1. Tepelný model	134
8.2. Ochrana rozběhu	143
8.3. Ochrana proti opakovaným startům	145
8.4. Zkratová ochrana	146
8.5. Zemní ochrana	147
8.6. Ochrana proti nesymetrii	149
8.7. Podpětňová ochrana	150
8.8. Podproudová ochrana	151
8.9. Tepelná ochrana	151
8.10. Diferenciální ochrana	152
8.11. Ochran asynchronních motorů z pohledu ČSN	153
9. Chránění synchronních motorů	157
10. Chránění turbogenerátorů malých a středních výkonů	161

10.1. Ochrana generátorů při zkratech	162
10.2. Zemní spojení statorového vinutí generátorů	168
10.3. Zemní spojení rotorového vinutí generátoru	173
10.4. Ochrana při ztrátě podbuzení a ztrátě buzení	174
10.5. Napětová ochrana	178
10.6. Tepelné přetížení statoru	178
10.7. Nesymetrické zatížení generátoru	181
10.8. Frekvenční ochrany generátoru	183
10.9. Motorický chod generátoru	185
10.10. Fázování generátoru	186
10.11. Chránění turboalternátorů a synchronních kompenzátorů z pohledu ČSN	187
11. Zálohování	189
12. Logické ochrany	193
13. Fázování a kruhování energetických systémů	195
14. Havarijní záblesková ochrana	199
15. Požadavky na přístrojové transformátory	201
16. Rogowského cívka a napětový dělič	217
17. Vícetransformátorové oblasti 110 kV	221
18. Provozování elektrických zařízení v organizacích podléhajících vrchnímu dozoru státní báňské správy České republiky	247
19. Označování ochran pomocí ANSI kódu	259
20. Označování funkcí ochran podle PNE 18 4310	279
21. Zjednodušení výpočtů	281
22. Tabulky kabelů	285
23. Literatura	299
Obsah	303