

## 1 Funkce číslicových ochran

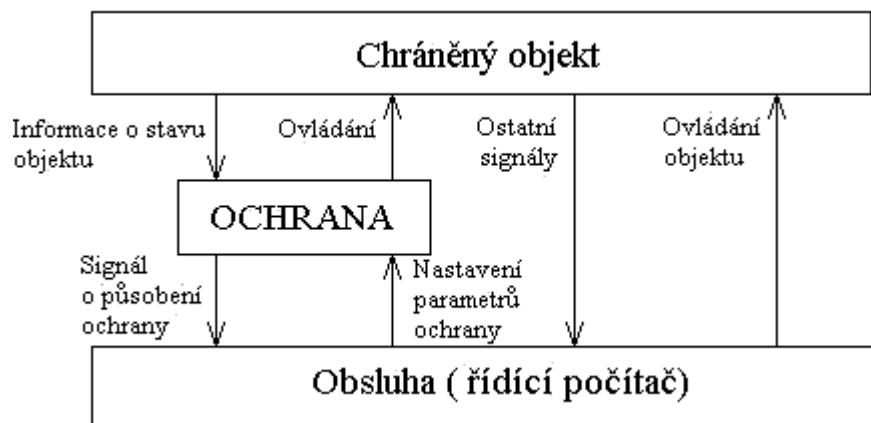
**Elektrizační soustava** (dále jen ES) se skládá ze složitých a cenově nákladných zařízení. Velmi důležitým požadavkem je, aby byl zajištěn spolehlivý a bezporuchový chod celé soustavy. Pro dosažení tohoto cíle se instalují v elektrizační soustavě elektrické ochrany.

**Ochrana** je zařízení, které kontroluje chod a zajišťuje provozní bezpečnost a spolehlivost určité části energetické soustavy ( alternátoru, transformátoru, vedení atd.). Pomocí přístrojových transformátorů proudů (dále jen PTP) a napětí (dále jen PTN), popřípadě dalších čidel, získává informace o jednotlivých veličinách chráněného objektu. Tyto informace jsou ochranou zpracovány a ta musí rozlišit, zda se chráněný objekt nachází v normálním stavu, nebo zda jde o poruchu. V případě poruchy zamezuje ochrana havárii chráněného zařízení (vypnutím, odbuzením...) a zároveň také vysílá signál pro obsluhu. Obsluha může nastavovat parametry ochrany, např. měnit její citlivost nebo časové zpoždění.

Úkolem ochrany je omezit následky vzniklých poruch, nebo jím předcházet.

**Chráněný objekt** je určitý prvek elektrizační soustavy, pod kterým musíme chápat, jak jednotlivá zařízení ( generátory, motory, transformátory, vedení atd.), tak i množinu celého systému těchto zařízení ( elektrárna). Okamžitou funkci chráněného objektu lze určit pomocí stavových veličin.

**Stavová veličina** je to fyzikální veličina, která charakterizuje současné chování chráněného objektu. Může to být proud, napětí, teplota, frekvence atd.



Obr.1.1 Schéma vazby ochrany a chráněného objektu.

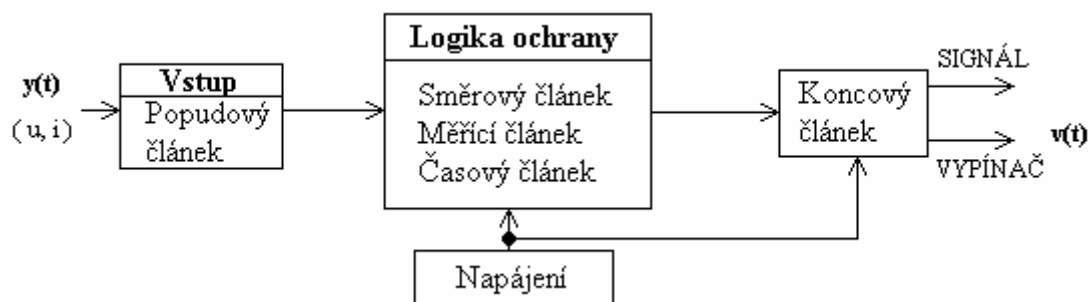
*Informace o stavu objektu*- proudy, napětí z PTP, PTN, nebo jiné veličiny z jiných čidel

*Ovládání*- vypínače, odbuzovače a jiná zařízení, kterými působíme na chráněný objekt

*Ostatní signály*- jiná doplňková měření atd.

*Nastavení parametrů ochrany*- nastavení citlivosti, doby působení (např. u nezávislé proudové ochrany) a ostatních parametrů

## 1.1 Ochrany v energetice a průmyslu (4)



Obr.1.2 Příklad složení ochrany.

Do ochrany je přiváděn naměřený výstup z chráněného objektu  $y(t)$ , z tohoto signálu ochrana zjišťuje stav chráněného objektu  $x(t)$  a vyhodnotí následně vektor  $v(t)$ , kterým zpětně působí na chráněný objekt.

### Základní členy ochran

Ochrana je složena z těchto základních členů (nemusí obsahovat všechny):

vstupní člen, časový člen, popudový člen, měřicí člen, logika ochrany, koncový člen, napájecí člen, filtry souměrných složek proudu a napětí.

### Technické data ochrany:

**Vstup ochrany  $y(t)$**  je vektor totožný s měřeným výstupem chráněného objektu. Ze vstupu  $y(t)$  ochrana určuje o jaký stav chráněného objektu se jedná.

**Výstup ochrany  $v(t)$**  je soubor veličin, kterými působí ochrana na chráněný objekt, je funkcí vstupu objektu  $y(t)$  a parametrů ochrany  $n$ .

**Parametr ochrany  $n$**  je soubor konstant, kterými lze měnit algoritmus ochrany - nastavovat ochranu.

**Algoritmus ochrany** je definován proměnnými  $v(t)$ ,  $y(t)$ ,  $n$  a relací  $F$ , kde  $F$  je vektorová funkce proměnné  $y(t)$ .

**Rovnice ochrany** je algebraický zápis algoritmu ochrany

$$v(t) = F[y(t), n] \quad (1.1)$$

**Citlivost ochrany** je velikost měřené veličiny (vstupu ochrany  $y(t)$ ), na kterou je ochrana nařízena a při které působí.

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

**Přídržný poměr ochrany** je poměr velikosti stavové veličiny při návratu ochrany (odpadnutí) k velikosti stavové veličiny při rozběhu (náběhu) ochrany.

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

**Doba působení ochrany** je časový úsek mezi vznikem poruchy a signálem na výstupu ochrany  $v(t)$ .

**Absolutní chyba** je definována jako rozdíl mezi naměřenou a skutečnou hodnotou

$$\Delta a = N_{nam} - S_{sk}, \quad (1.2)$$

$N_{nam}$  naměřená hodnota,

$S_{sk}$  skutečná hodnota.

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

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

**Jmenovité hodnoty ochrany:**

- jmenovitý proud  $I_n$  znamená jmenovitý proud vstupních obvodů ochrany (1A nebo 5A).
- jmenovité napětí  $U_n$  udává jmenovité napětí vstupních obvodů ochrany (např. 100V).
- jmenovité napájecí napětí  $U_{pn}$  je nejčastěji stejnosměrné, ale používá se také střídavé

**Základní ochrana** je hlavní a nejdůležitější ochrana, která je určena pro všechny nebo nejzávažnější druhy poruch, které by mohly ohrozit ochráněný objekt.

**Záložní ochrana** nahrazuje funkci základní ochrany v případě jejího selhání, doba jejího působení je vždy delší než doba působení základní ochrany.

**Primární ochrana** pracuje bez přístrojových transformátorů, tzn. proud a napětí mají stejnou hodnotu jako v objektu.

**Sekundární ochrana** je připojena k objektu přes přístrojové transformátory.

## 1.2 Rozdělení ochran

### a) podle chráněného objektu

generátoru  
motoru  
transformátoru  
přípojnic  
vedení  
speciální

### b) podle druhu zkratové poruchy

zkratové  
proti přetížení  
podpět'ové  
nadpět'ové  
podfrekvenční  
nadfrekvenční  
při zemním spojení  
při zpětném toku výkonu  
při ztrátě buzení  
při nesouměrnosti

### c) podle doby působení

mžikové - ochrana působí ihned po vzniku poruchy, její rychlost je omezena pouze dobou zpracování informace uvnitř ochrany

- časově závislé - doba působení ochrany je definována jako funkce některé stavové ;  
veličiny
- časově nezávislé - doba působení ochrany je konstantní ( předem nastavená )

#### ***d) podle konstrukce***

elektromechanické ochrany - jsou sestaveny z klasických elektrických relé

tranzistorové ochrany - jsou sestaveny z polovodičových prvků ( diod, tranzistorů ).

číslíkové digitální ochrany - jsou sestaveny z číslicových obvodů. Měřené veličiny jsou vyhodnocovány číselně porovnáváním diskrétních hodnot

### **Druhy ochran**

#### ***Proudová ochrana***

Proudová ochrana měří velikost proudu. Při zkratu nebo přetížení se zvětší proud a nadproudová ochrana působí.

Proudové ochrany jsou používány hlavně pro svou jednoduchost. Jejich funkce není tak selektivní jako funkce ochran distančních a rozdílových. Používají se u méně důležitých zařízení a nebo jako záložní ochrany.

Nejčastěji se používají jako zkratové ochrany, nebo jako ochrany proti přetížení.

#### ***Napěťová ochrana***

Napěťová ochrana působí při vzrůstu nebo poklesu napětí. Klasické napěťové ochrany mají podobnou konstrukci jako ochrany proudové, liší se pouze impedancí měřicího článku (vstupním odporem).

#### ***Distanční (impedanční) ochrana***

Distanční ochrana využívá principu měření impedance zkratové smyčky. Ochrana měří velikost proudu a napětí v místě připojení ochrany.

Distanční ochrana se nazývá proto, že zjišťuje impedanční vzdálenost (distanci) zkratu, měří směr polohy zkratu.

#### ***Rozdílová ochrana***

Rozdílová ochrana určuje poruchu z rozdílu průchozích proudů objektu.

V normálním provozním stavu platí :

$$\Delta i_r = \left| \sum i_{VST} - \sum i_{VYS} \right| = 0 \quad (1.3)$$

Při poruše uvnitř chráněného objektu:

$$\Delta i_r = \left| \sum i_{VST} - \sum i_{VYS} \right| > 0 \quad (1.4)$$

Rozdílové ochrany rozeznáváme podélné a příčné, podle jejich použití. Příčná rozdílová ochrana porovnává vstupy dvou objektů, zatímco podélná vstup s výstupem jednoho objektu.

**Srovnávací ochrana**

Srovnávací ochrana porovnává fázi vstupního a výstupního proudu chráněného objektu. Při normálním provozu nebo vnějším zkratu je fázový úhel proudů shodný. Dojde-li ke zkratu uvnitř chráněného objektu, obrátí se směr proudu a potom ochrana reaguje.

**Wattová a jalová ochrana**

Wattové a jalové ochrany používáme k omezování velikosti činného nebo jalového výkonu, popř. jejich směru. Používají se především jako ochrany strojů- nesouměrnost, ztráta buzení, zpětný tok výkonu, popř. jako zemní ochrana.

**Frekvenční ochrana**

Frekvenční ochrany na základní harmonickou se používají ke sledování frekvence sítě buď jako nadfrekvenční, nebo podfrekvenční. Podfrekvenční ochrany se užívají především k odpojování méně důležitých zátěží při přetížení sítě. Ochrany citlivé na harmonické mohou být použity především jako zemní.

**Ochrana při nesouměrnosti**

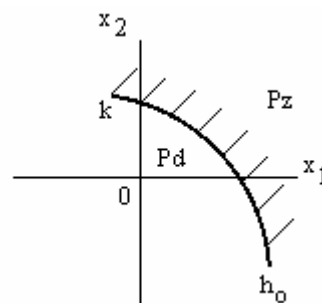
Nesouměrnost způsobuje vznik zpětné složky proudu  $i_2$  ve stroji. Základem ochrany při nesouměrnosti je vstupní filtr zpětné složky.

**Vlnová ochrana**

Odstraňuje nedostatky distanční ochrany . Pracuje s přechodnou složkou měřené veličiny.

**Poruchové stavy**

Porucha je definována jako stav, který je nebezpečný pro chráněný objekt. Množina stavů chráněného objektu tvoří stavový prostor  $P$  chráněného objektu. V množině stavů lze rozlišit stavy dovolené  $P_d$ , které odpovídají normálnímu provozu a stavy zakázané  $P_z$ , které mohou chráněný objekt poškodit. Množina  $h_o$  nám pak tvoří charakteristiku ochrany, tj. hranici prostorů  $P_d$  a  $P_z$ .



Obr. 1.3 Stavový prostor chráněného objektu

V energetických soustavách jsou nebezpečné zejména tyto stavy.

**Zkrat** je vzájemné spojení dvou nebo více fází, popř. fáze s uzlem. Způsobuje elektrické poškození dielektrik a izolátorů, tepelné poškození vodičů a mechanické poškození zařízení vlivem působení dynamických sil při zkratu. Míra poškození závisí na velikosti proudu a době působení zkratu.

**Přetížení** se dá definovat jako průchod příliš velké energie zařízením, způsobuje tepelné poškození, urychluje stárnutí izolace. Míra poškození závisí na velikosti proudu a době trvání přetížení.

**Přepětí** způsobuje poškození a stárnutí izolace, zvyšuje nebezpečí následného zkratu. Vznik přepětí- poruchou regulace napětí, překompenzováním nebo kapacitní zátěží.

**Podpětí** má za následek především proudové přetěžování, odebírá-li připojené zařízení konstantní výkon. Vznik podpětí- nedostatečná kompenzace, přetížení nebo porucha regulace napětí.

**Snížení frekvence** vzniká zpravidla nedostatkem činného výkonu v ES nebo špatně seřízenou regulací otáček turbín. Při nedostatku výkonu je nutné snížit spotřebu.

**Zvýšení frekvence** bývá způsobeno poruchou regulace výkonu.

**Nesouměrnost proudu** je nebezpečná u točivých strojů, kde následkem nesouměrnosti proudu vznikají přídavné vířivé ztráty a dochází k zahřívání rotoru. Vznik nesouměrnosti proudu- přerušením vodiče, nesouměrností zátěže.

**Nesouměrnost napětí** má za následek nesouměrnost proudu.

**Zemní spojení** je galvanické spojení jedné fáze se zemí v síti, kde je izolovaný nebo kompenzovaný uzel. Je nebezpečné především pro velkou pravděpodobnost následného zkratu (vznik přepětí, které namáhá izolaci).

**Zpětný tok výkonu** je porucha nebezpečná pro točivé stroje. Zpětný výkon může poškodit připojené mechanické stroje, např. přenosem energie z generátoru do turbíny nebo z motoru do sítě. Zpětný tok výkonu je způsoben špatnou energetickou bilancí sítě.

### 1.3 Základní požadavky na funkci ochran

Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení musí plnit tyto činnosti:

- rychle a spolehlivě určit poruchu nebo překročení meze normálního provozu chráněného objektu
- vypnout je v čase, který musí být stanoven tak, aby se zabránilo vzniku škod nebo omezil jejich rozsah na stroji nebo zařízení a zajistila se ochrana osob před účinky elektrické energie
- zajistit, aby se porucha nerozšířila na ostatní prvky elektrizační soustavy a neohrozila její chod a napájení spotřebitelů

#### **Oblast chránění ochrany**

Rozsah oblasti chráněné ochranou musí být navržen tak, aby nevznikl nechráněný úsek elektrizační soustavy a aby se sousední oblasti chráněných úseků překrývaly.

#### **Výpočtové veličiny pro nastavení ochran**

Pro správné nastavení ochran musí být stanoveny výpočtem nebo měřením hodnoty poruchových veličin (proud, napětí, impedance apod.) při všech pravděpodobně možných provozních stavech a zapojeních sítě.

**Citlivost ochran**

Citlivost ochrany je mírou její schopnosti rozlišit stav, při kterém má působit, od stavu, při kterém nemá působit.

**Požadavky na systémy ochran**

Spolehlivou činnost ochran zajistíme

- analýzou provozních stavů (poruch. i bezpor.)
- selektivitou systému ochrany
- zálohováním ochran
- výpočtem nebo změřením potřebných parametrů
- jednotlivých prvků chráněného zařízení
- konstrukčním provedením ochran, technickým řešením
- možností kontrolovat činnost ochran - trvalá automat.kontrola důležitých obvodů ochrany  
- periodická provozní kontrola

Opatření pro chránění důležitých částí ES- použití ochran s automatickou kontrolou

Požadavky na přístrojové transformátory - připojení dle ČSN 33 3265

- parametry přístř. transformátorů musí odpovídat požadavkům daným výrobcem ochrany,
- jištění sek.obvodů PTN dle ČSN 33 3265.

Požadavky na napájení pomocným napětím- blokování při poklesu nebo ztrátě pomocného napětí

- dva nezávislé zdroje pro stanice zvn, vvn.

Požadavky na vypínače- vypínače zvn, vvn vybaveny dvěma vypínacími cívkami.

**Selektivita ochran**

Selektivita je schopnost ochrany vybrat ze sítě ten prvek, který je postižen poruchou, provést jeho odpojení pomocí nejbližších vypínačů od ostatní ES tak, aby nepoškozená část zůstala nadále v provozu.

Selektivní působení ochran dosahujeme:

- časovým odstupňováním vypínacích časů, podstata spočívá v tom, že ochrany jsou zpožděny, a to tak, že z každé dvojice ochran má delší zpoždění ta, která je dále od místa poruchy ve směru ke zdroji napájení. Tento způsob se uplatňuje zejména u nadproudových ochran s časově nezávislou charakteristikou a u ochran distančních.
- nastavením úrovně charakteristické veličiny. Podstata spočívá v různém nastavení hodnot charakteristické veličiny. Použití u mžikových ochran.
- zpracováním více charakteristických veličin současně. Například použitím distanční ochrany s komparátorem se třemi a více vstupy.
- zpracováním informací z více míst. Například logické ochrany.
- principem působení a konstrukcí vlastní ochrany. Ochrany jsou specializované na určitý druh poruchy a jejich působení se omezuje na ohraničenou část nebo prvek ES. Např. ochrany srovnávací nebo rozdílové reagují pouze na změnu veličiny proudu (velikost

a směr) a jen v úseku vymezeném transformátory proudu. Pro ostatní poruchy a stavy, které se odehrávají mimo vymezený úsek, je tato ochrana stabilizovaná, a proto nepůsobí

- přijímáním a vysíláním uvolňovacích nebo blokovacích impulsů. Selektivita ochran a spolehlivost jejich působení se zvyšuje využitím vzájemné vazby ochran, zejména u distančních ochran pro chránění přenosových vedení.
- kombinací více způsobů výše uvedených

### Rychlost působení ochrany

Rychlost vybavení ochrany je dána dobou od vzniku poruchy do vypnutí vypínače. Její volba je dána druhem poruchy (chceme-li působení mžikové či zpožděné). Požadujeme co nejrychlejší vypnutí zkratů, které svými dynamickými a tepelnými účinky mohou způsobit poškození zařízení.

*Stanovení vypínacího času:*

- vypínací čas ochrany navrhujeme na základě popisu chráněného objektu a velikosti vypínané veličiny
- vypínací čas ochrany musí splnit požadavky selektivity ochran v daném systému

### Citlivost a přesnost ochran

Ochrany musí okamžitě reagovat na vzniklou poruchu v chráněném objektu, která se projeví změnou sledovaných hodnot (proudu, napětí, nebo hodnot odvozených).

Citlivost je velikost měřené veličiny, na kterou je ochrana nařízena. Překročí-li měřená veličina tuto hodnotu, jedná se o poruchu a ochrana má působit.

Přesnost ochrany  $p$  je poměrná chyba citlivosti ochrany:

$$p = \frac{x - x_s}{x_r} \quad (1.5)$$

$x$ ...nastavení citlivosti ochrany

$x_s$ ...skutečná citlivost ochrany

$x_r$ ...rozsah nastavitelnosti citlivosti

Ochrana musí být naopak necitlivá (stabilní) při přechodných stavech v ES nebo poruchách v jiných objektech, které nespádají do její oblasti chránění. Tato necitlivost může být zajištěna blokováním ochrany, nebo použitím filtrů atd.

### Spolehlivost ochran

Spolehlivost ochrany je schopnost plnit požadovanou funkci po stanovenou dobu při zachování provozních parametrů ochrany. Spolehlivost funkce znamená, že ochrana nesmí při poruše selhat a naopak, že nesmí samovolně působit neobjeví-li se porucha. Spolehlivost ochrany ovlivňuje její jednoduchost, kvalita, správná a pečlivá montáž, pravidelná kontrola funkce atd.



## Zálohování ochran

Pro chránění zvláště důležitých částí ES se doporučuje použít dvě hlavní ochrany.

V případě selhání hlavní ochrany zajistí vypnutí poruch záložní ochrana. U záložní ochrany se připouští nižší kvalita chránění ( delší doba působení, nižší selektivita apod.), než jakou poskytuje základní ochrana.

### 1.4 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 se 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 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 zkraty (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 ochran je podmíněn dobou, kdy byl vytvořen (ve kterém roce), finančním krytím (kvalitou použitých ochran, kvalitou výpočtu), kvalitou informací o daném problému a v neposlední řadě tím, kdo výpočet prováděl.

K informaci o stávajícím systému chránění patří informace o nastavení ochran 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 přetížít a tudíž nastavení bylo správné. Než navrheme podstatnou změnu v nastavení, je nutné ji důkladně probrat s provozovatelem!

## 1.5 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 upřesnění 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  $S_k''$  max 3 fázový
- nebo  $I_k''$  max 3 fázový
- minimální  $S_k''$  min 3 fázový
- nebo  $I_k''$  min 3 fázový

### Vedení - volná vedení

- typ vodiče (např. AlFe6)
- jeho průřez (např. 95 mm<sup>2</sup>)
- délka vedení -l (km)
- způsob provozování (paralelní chod)

### Vedení - kabelová vedení

- typ kabelu (např. 6 ANKTOPV)
- jeho průřez (např. u jednožilového kabelu 3x 1 x 240 mm<sup>2</sup> )
- 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 -  $P_0$  (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 ( $C^\circ$ ).

### **Uzlové odporníky sítě**

- výrobce odporníku (štítkový údaj)
- typ odporníku (štítkový údaj)
- jmenovité napětí odporníku -  $U_n$  (kV) - (štítkový údaj)
- jmenovitý odpor odporníku -  $R_n$  ( $\Omega$ ) - (štítkový údaj)
- jmenovitý proud odporníku -  $I/sec$  (A/sec) - (štítkový údaj)
- trvale dovolený proud -  $I_\infty$  (A) - (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 -  $S_{nr}$  (MVAr) - (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  $I_s$  ( $\times I_n$ ) - (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 ( $C^\circ$ )

### **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)
- $\cos \varphi$  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)
- je-li u motoru připojena kompenzace, místo připojení (před MTP nebo za MTP) a její velikost (kVAr)
- okolní teplota [ $C^\circ$ ]
- 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)
- $\cos \varphi$  generátoru (štítkový údaj)
- jmenovité otáčky (štítkový údaj)
- typ rotoru
- synchronní reaktance (nenasyčená) -  $x_d$  (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 zemiích 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**

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

### U měřících transformátorů proudu

- 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)
- 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)

## 1.6 Výpočet zkratů

### 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.

**Stejnoseměrná (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 stejnoseměrnou 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.

**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 témže 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 vztažena 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

$$I''_{k3} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{(1)}|} \quad (\text{kA}; -, \text{kV}, \Omega) \quad (1.6)$$

Počáteční rázový zkratový proud  $I''_{k2}$  při dvoufázovém zkratu

$$I''_{k2} = \frac{c \cdot U_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)}|} \quad (\text{kA}; -, \text{kV}, \Omega) \quad (1.7)$$

Počáteční rázový zkratový proud  $I''_{k1}$  při jednofázovém zkratu

$$I''_{k1} = \frac{c \cdot \sqrt{3} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}|} \quad (\text{kA}; -, \text{kV}, \Omega) \quad (1.8)$$

$c$       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

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

### **Určení parametrů prvků soustavy ve fyzikálních jednotkách:**

#### **Náhradní impedance soustavy:**

Sousledná složka

$$Z_{(1)} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_{k3}} \quad (\Omega; -, \text{kV}, \text{MVA}) \quad (1.9)$$

Zpětná složka

$$Z_{(2)} = Z_{(1)} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_{k3}} \quad (\Omega; -, \text{kV}, \text{MVA}) \quad (1.10)$$

Nulová složka

$$Z_{(0)} = c \cdot U_n^2 \cdot \left( \frac{3}{S_{k1}''} - \frac{2}{S_{k3}''} \right) \quad (\Omega; -, \text{kV}, \text{MVA}) \quad (1.11)$$

$U_n$  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

$$X_{(1)} = \frac{x_d \cdot U_{nG}^2}{100 \cdot S_{nG}} \quad (\Omega; \%, \text{kV}, \text{MVA}) \quad (1.12)$$

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

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

$$Z_{(1)} = \frac{U_{nAM}^2}{i_z \cdot S_{nAM}} \quad (\Omega; \text{kV}, -, \text{MVA}) \quad (1.13)$$

Zpětná složka

$$Z_{(2)} = Z_{(1)} = \frac{U_{nAM}^2}{i_z \cdot S_{nAM}} \quad (\Omega; \text{kV}, -, \text{MVA}) \quad (1.14)$$

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

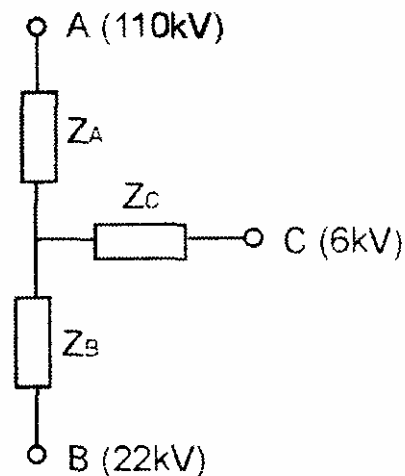
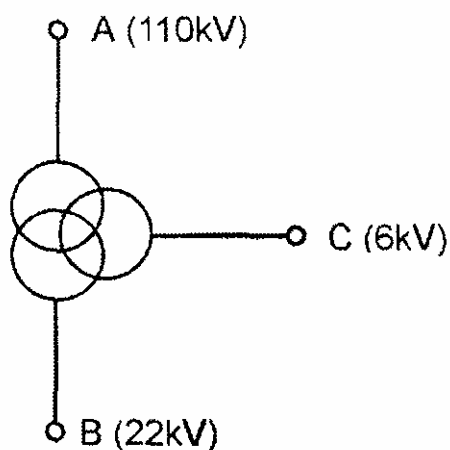
$$Z_{(1)} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} \quad (\Omega; \%, \text{kV}, \text{MVA}) \quad (1.15)$$

Zpětná složka

$$Z_{(2)} = Z_{(1)} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} \quad (\Omega; \%, \text{kV}, \text{MVA}) \quad (1.16)$$

$U_k$	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 třívinitového transformátoru:**

Sousledná složka

$$Z_{(1AB)} = \frac{u_{kAB} \cdot U_{nTA}^2}{100 \cdot S_{nTAB}} \quad (\Omega; \%, \text{kV}, \text{MVA}) \quad (1.17)$$

$$Z_{(1AC)} = \frac{u_{kAC} \cdot U_{nTA}^2}{100 \cdot S_{nTAC}} \quad (\Omega; \%, \text{kV}, \text{MVA}) \quad (1.18)$$

$$Z_{(1BC)} = \frac{u_{kBC} \cdot U_{nTA}^2}{100 \cdot S_{nTBC}} \quad (\Omega; \%, \text{kV}, \text{MVA}) \quad (1.19)$$

$$Z_{(1A)} = \frac{1}{2}(Z_{AB} + Z_{AC} - Z_{BC}) \quad (\Omega) \quad (1.20)$$

$$Z_{(1B)} = \frac{1}{2}(Z_{AB} + Z_{BC} - Z_{AC}) \quad (\Omega) \quad (1.21)$$

$$Z_{(1C)} = \frac{1}{2}(Z_{AC} + Z_{BC} - Z_{AB}) \quad (\Omega) \quad (1.22)$$

$u_{k(AB)}$  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

$$Z_{(2A)} = Z_{(1A)}, Z_{(2B)} = Z_{(1B)}, Z_{(2C)} = Z_{(1C)} \quad (\Omega) \quad (1.24)$$

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

$$R_{(1)} = R_{(2)} = R_{(0)} \quad X_{(1)} = X_{(2)} = X_{(0)} \quad Z_{(1)} = Z_{(2)} = Z_{(0)} \quad (\Omega) \quad (1.25)$$

pro všechny tři složky náhradní impedance platí vztah:

$$Z_{(1)} = Z_{(2)} = Z_{(0)} = \frac{10 \cdot u_R \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_n} \quad (\Omega; \%, \text{kV}, \text{A}) \quad (1.26)$$

$u_R$  impedanční napětí reaktoru

$U_n$  jmenovité sdružené napětí reaktoru

$I_n$  jmenovitý proud reaktoru

**Náhradní rezistence a reaktance vedení:**

Sousledná složka

$$R_{(1)} = R_k \cdot l \quad (\Omega, \Omega/\text{km}, \text{km}) \quad (1.27)$$

$$X_{(1)} = X_k \cdot l \quad (\Omega, \Omega/\text{km}, \text{km}) \quad (1.28)$$

Zpětná složka

$$R_{(2)} = R_{(1)} = R_k \cdot l \quad (\Omega, \Omega/\text{km}, \text{km}) \quad (1.29)$$

$$X_{(2)} = X_{(1)} = X_k \cdot l \quad (\Omega, \Omega/\text{km}, \text{km}) \quad (1.30)$$

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

$$Z_{(2)} = Z_{(1)} \cdot \left( \frac{U_2}{U_1} \right)^2 \quad (\Omega, \Omega, \text{kV}, \text{kV}) \quad (1.31)$$

$Z_2$  impedance přepočtená na napěťovou hladinu  $U_2$  v místě zkratu

$Z_1$  impedance na napěťové hladině  $U_1$

**1.7 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.

**Sít'ové napáječe**

$$x_S = \frac{c \cdot U_n^2}{S_k''} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_k''} \quad (\Omega) \quad (1.32)$$

$U_n$  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**

$$x_T = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{nT}^2}{S_{nT}''} \quad (\Omega) \quad (1.33)$$

$U_{nT}$  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.

$$x_R = \frac{10 \cdot u_{kR} \cdot U_{nR}}{\sqrt{3} \cdot I_{nR}} \quad (\Omega) \quad (1.34)$$

$u_{kR}$  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**

$$x_G = \frac{x_d'' \cdot U_{nG}^2}{100 \cdot S_{nG}} \quad (\Omega) \quad (1.35)$$

$x_d''$  rázová reaktance generátoru

$U_{nG}$  jmenovité napětí generátoru v kV

$S_{nG}$  jmenovitý výkon generátoru v MVA

Synchronní motory

Zkraty v zapojení soustavy v době trvání zkratu se uvažují, pouze když ovlivní velikost ekvivalentního oteplovacího proudu příspěvky synchronních motorů se počítají stejně jako zkratový příspěvek synchronních generátorů.

$$x_{SM} = \frac{x_d'' \cdot U_{nSM}^2}{100 \cdot S_{nSM}} \quad (\Omega) \quad (1.36)$$

### Asynchronní motory

Asynchronní motory v soustavách nn a vn přispívají zkratovým proudem do místa zkratu. V případě trojfázových souměrných zkratů, zkratové proudy asynchronních motorů rychle zanikají.

$$x_{AM} = \frac{U_{nAM}^2}{I_Z \cdot \frac{P_{nAM}}{\eta_{AM} \cdot \cos \varphi_{AM}}} \quad (\Omega) \quad (1.37)$$

Příspěvek zkratových proudů asynchronních motorů k proudu  $I_k''$  je možné zanedbat, pokud platí vztah:

$$\sum I_{rM} \leq 0,001 \cdot I_k'' \quad (\text{kA})$$

$\sum I_{rM}$  součet jmenovitých proudů v sousedství místa zkratu

$I_k''$  zkratový proud v místě zkratu bez vlivů motorů.

Podrobněji rozebírá vliv motorů norma ČSN 33 30 22 (čl. 13).

### Pohony napájené statickým měničem

Pohony napájené statickým měničem jsou při výpočtu zkratových proudů uvažovány obdobným způsobem jako asynchronní motory. Platí jen pro zařízení s rekuperací:

$$x_{SM} = \frac{1}{\frac{I_r}{I_{nm}}} \cdot \frac{U_{nm}}{\sqrt{3} \cdot I_{nm}} \quad (\Omega) \quad (1.38)$$

$U_{nm}$  jmenovité napětí transformátoru statického měniče na straně sítě (pokud není použito transformátoru) v kV

$I_{nm}$  jmenovitý proud transformátoru statického měniče na straně sítě nebo jmenovitý proud statického měniče v A

$$I_r/I_{nm} = 3$$



**Přepočet impedancí, proudů a napětí**

Při výpočtu zkratových proudů v soustavách s různými hladinami napětí je nutné provést přepočet impedancí, proudů a napětí z jedné hladiny do druhé. Při výpočtu v poměrných hodnotách nebo obdobných jednotkových soustavách není žádný přepočet nutný, jsou-li tyto soustavy koherentní. Pokud provádíme výpočet v  $\Omega$ , musíme přepočítat impedance na různých napěťových hladinách podle vztahu:

$$x_2 = x_1 \frac{1}{p^2} (\Omega) \quad (1.39)$$

$$p^2 = \left( \frac{U_{n1}}{U_{n2}} \right)^2 (-) \quad (1.40)$$

- $x_2$  přepočtená impedance na jinou napěťovou hladinu
- $x_1$  původní vypočtená impedance
- $U_{n1}$  napětí hladiny na kterém se nachází původní impedance
- $U_{n2}$  napětí na kterou je původní impedance přepočtena

**Literatura**

(4) Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku, SNTL, Praha 1991