

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Elektrické stanice zvn a vvn

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan TUPÝ**
Osobní číslo: **E13N0017K**
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Elektrické stanice zvn a vvn**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Provedte základní rozbor funkce elektrické stanice a jejích elementů.
2. Zdůvodněte různá řešení schémat.
3. Popište způsob výpočtu zkratových poměrů a vliv jejich velikosti na řešení rozvodného zařízení.
4. Zdůvodněte výběr měřených veličin pro vlastní funkci rozvodného zařízení a pro přenos do řídicího centra.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Jiřina Mertlová, CSc.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **16. května 2016**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

Abstrakt

Cílem diplomové práce je popis elektrických stanic zvlášť vysokého a velmi vysokého napětí provozovaných v elektrizační přenosové soustavě.

V úvodní části práce se zabývám elektrizační soustavou ČR a dvěma jejími hlavními částmi, které sestávají z přenosové a distribuční soustavy.

Následně se věnuji popisu funkce současné bezobslužné elektrické stanice a rozboru jednotlivých elementů. Tato část pojednává o řešení různých druhů používaných schémat a o vhodnosti volby u určitých typů rozveden.

V další části jsem se zaměřil na problematiku zkratových proudů a důležitost jejich výpočtu pro návrh a dimenzování elektrického zařízení.

V závěrečné části mé práce jsem shrnul základní měřené veličiny, které je nezbytné sledovat a přenášet do řídicího dispečerského centra z důvodů spolehlivé funkce rozvodného zařízení a tím i celé přenosové soustavy.

Klíčová slova

elektrická stanice, přenosová soustava, velmi vysoké napětí, elektrické schéma, vypínač, přípojnice, odbočky, zkratový proud

Abstract

The thesis aims to describe electric substations, especially high and very high voltage substations operating in the electric power transmission grid.

The first part of the thesis deals with the electrical grid of the Czech Republic and its two major parts consisting of the electric power transmission and distribution systems.

Subsequently, the function of the current unattended electric substation as well as the analysis of the individual elements are described. This part concerns solving different kinds of used diagrams and the appropriateness of the choice for certain types of distribution centres.

The next part focuses on the issue of short-circuit currents and the importance of their calculation for the design and dimensioning of the electrical equipment.

The final part of the thesis sums up the basic measured quantities which are necessary to monitor and transmit to the system control centre in order to make the functioning of the distribution facility - and thus the whole transmission grid - reliable.

Keywords

electrical substation, electric power transmission grid, very high voltage, circuit diagram, circuit breaker, connecting bus-bar, current dividers, short-circuit current

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....
podpis

V Českých Budějovicích dne 19.5.2016

Bc. Jan Tupý

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiřině Mertlové, CSc. a panu Jaroslavu Hánovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

OBSAH

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
ÚVOD	11
1 ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVA	12
1.1 PŘENOSOVÁ SOUSTAVA	13
1.2 DISTRIBUČNÍ SOUSTAVA	14
2 ELEKTRICKÉ STANICE ZVN A VVN	15
2.1 HLAVNÍ ČÁSTI ELEKTRICKÝCH STANIC ZVN A VVN	15
2.1.1 Transformátory	16
2.1.2 Přípojnice	17
2.1.3 Odbočky	18
2.2 PROVEDENÍ ELEKTRICKÝCH ROZVODNÝCH ZAŘÍZENÍ	19
2.3 PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ ROZVODEN	21
2.3.1 Vypínač	21
2.3.2 Odpojovače	23
2.3.3 Příkladový transformátor	25
2.3.4 Bleskojistky	26
3 SCHÉMATA ELEKTRICKÝCH ROZVODNÝCH ZAŘÍZENÍ.....	29
3.1 JEDNODUCHÝ SYSTÉM PŘÍPOJNIC	30
3.2 DVOJITÝ SYSTÉM PŘÍPOJNIC	30
3.3 TROJITÝ SYSTÉM PŘÍPOJNIC	31
3.4 POMOCNÝ SYSTÉM PŘÍPOJNIC	32
3.5 SCHÉMA SE DVĚMA VYPÍNAČI NA JEDNU ODBOČKU	33
3.6 ROZVODNY BEZ PŘÍPOJNIC.....	34
3.7 SPECIÁLNÍ ŘEŠENÍ SCHÉMAT ROZVODEN	35
3.8 SCHÉMA DVOU HLAVNÍCH A JEDNÉ POMOCNÉ PŘÍPOJNICE (2H+P)	36
4 ROZVODNY V ELEKTRICKÉ STANICI V PŘEŠTICÍCH.....	38
4.1 R400 kV	38
4.2 R220 kV	38
4.3 R110kV	39
5 ZKRATOVÉ POMĚRY V ROZVODNÝCH ZAŘÍZENÍCH	40
5.1 SLOŽKY ZKRATOVÉHO PROUDU	40

5.2 CHARAKTERISTIKY ZKRATOVÉHO PROUDU.....	41
6 MĚŘENÉ VELIČINY DŮLEŽITÉ PRO FUNKCI STANICE.....	51
6.1 PROVOZNÍ SITUACE	51
6.2 ŘÍZENÍ PROVOZU ELEKTRICKÉ STANICE.....	52
6.3 SLEDOVANÉ VELIČINY	53
ZÁVĚR	55
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	56

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

I_k''	rázový zkratový proud
I	elektrický proud
i_0	proud naprázdno
I_a	stejnoseměrná složka zkratového proudu
I_{Ke}	ekvivalentní oteplovací proud
I_p	nárazový zkratový proud
OZ	opětné zapojení
P	činný výkon
p	převod transformátoru
P_0, P_{Fe}	ztráty v železe (naprázdno)
P_{cu}, P_k	ztráty ve vinutí
PTN	přístrojový transformátor napětí
PTP	přístrojový transformátor proudu
Q	jalový výkon
$Q1, Q2$	přípojnicový odpojovač
QE	zemnicí odpojovač
QM	výkonový vypínač
R110 kV	rozvodna 110 kV
R220 kV	rozvodna 220 kV
R400 kV	rozvodna 400 kV
SF_6	fluorid sírový
S_n	zdánlivý výkon
U	elektrické napětí
u_k	napětí nakrátko
vn	vyšoké napětí
vvn	velmi vysoké napětí
W1, W2	hlavní přípojnice
W5	pomocná přípojnice
zvn	zvlášť vysoké napětí
δf	odchylka frekvence
δU	odchylka napětí

ÚVOD

Tato diplomová práce je zaměřena na elektrické stanice zvláště vysokého a velmi vysokého napětí.

Elektrické stanice jsou důležitým prvkem elektrizační soustavy, která spojuje výrobní s přenosovou a distribuční soustavou. Jejich úkolem je energii vyrobenou v elektrárnách odebírat a pomocí transformátorů upravovat velikost napětí na odpovídající úroveň a dále rozdělovat blíže ke koncovým spotřebitelům a v případě potřeby realizovat konfiguraci sítě tak, aby nebyla ohrožena dodávka, neboť elektrická energie se nedá účinně skladovat a vyrobené množství se musí také ihned spotřebovat.

1 ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVA

Elektrická energie patří k činitelům, jež svým vlivem výrazně ovlivňují technický rozvoj průmyslu i životní úroveň obyvatel. Její spotřeba má stále vzrůstající charakter. Při omezování možností využívání primárních zdrojů pro výrobu elektrické energie je potřeba efektivně pracovat i s vyrobenou elektrickou energií a hledat účinnější způsoby jejího využívání ve všech oblastech spotřeby.

Umožnění všestranného využití elektrické energie je podmíněno vybudováním dostatku zdrojů elektrické energie i vybudováním optimální sítě přenosových zařízení tj. elektrických stanic a elektrických vedení.

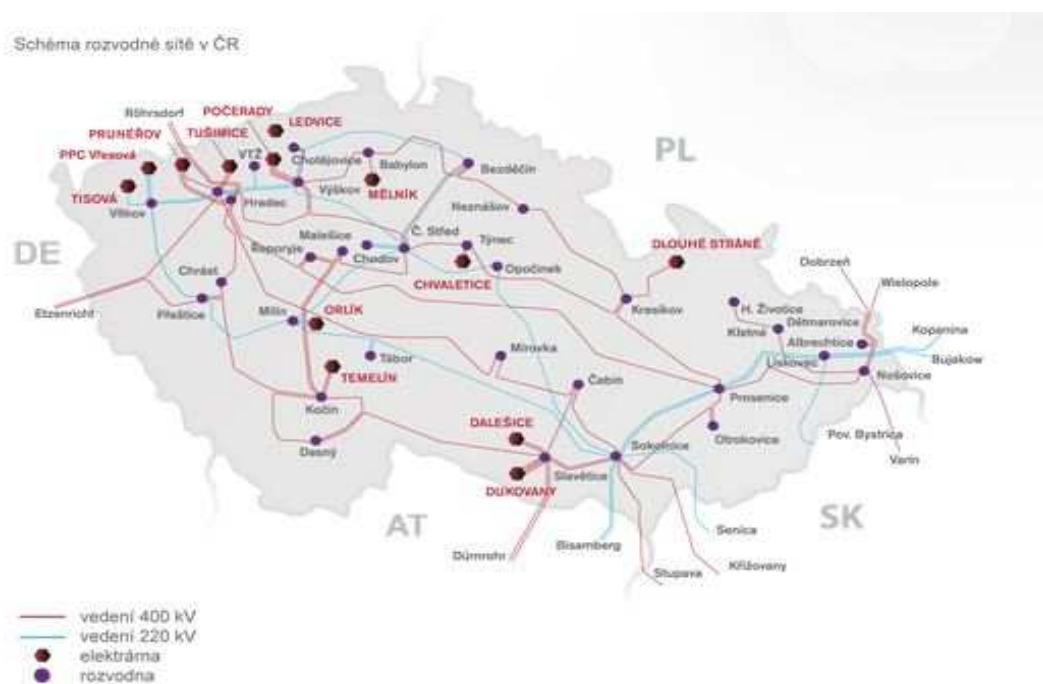
Spojovacím elementem mezi výrobou, přenosem a distribucí elektřiny jsou elektrické stanice. Jejich úkolem je pomocí transformátorů upravovat velikost napětí vyrobené energie a dále ji předávat do příslušných soustav. Ve specifických případech mohou stanice provádět přeměnu střídavého napětí na stejnosměrné a naopak. Důležitou funkcí elektrických stanic v elektrizační soustavě je také sběr a předávání dat, realizace konfigurace sítě a rychlé řešení poruchových stavů.

V začátcích průmyslového využívání elektrické energie nebylo rozvodných ani přenosových soustav zapotřebí. Elektřina byla zpravidla vyráběna lokálně pro vlastní spotřebu. Rozvodné systémy začaly vznikat v prvním desetiletí minulého století společně s prvními veřejnými elektrárnami.

Impuls k výstavbě elektrizační soustavy, byl vydán těsně po první světové válce v roce 1919. Začala se rozvíjet síť na v té době nejvyšším provozovaném napětí 110 kV. Po druhé světové válce se vedl mezi uznávanými odborníky spor o tom, zda vystavět podle vzoru východního bloku síť s nejvyšším provozovaným napětím 220 kV a nebo podle západu začít stavět síť o napětí 400 kV. Přednost dostala síť 220 kV, která jak se brzy ukázalo, přestala dostačovat přenášeným výkonům a tak se zhruba po deseti letech počalo s výstavbou 400 kV sítě, jež byla prakticky dokončena v 80. letech minulého století. Výstavba sítí 220 kV, byla sice ukončena počátkem 70. let minulého století, ale dodnes se tyto sítě provozují.

1.1 PŘENOSOVÁ SOUSTAVA

Přenosová soustava 400 kV a 220 kV, nazývána jako „páteřní“ viz obr. 1, slouží k rozvedení výkonu z největších elektrárenských bloků do celého území České republiky a zároveň je součástí mezinárodního propojení Evropy. Napájí elektrinou distribuční soustavy, které ji dále rozvádějí až ke konečným spotřebitelům. Přeshraničními linkami je přenosová soustava ČR napojena na soustavy všech okolních států a tím synchronně spolupracuje s celou evropskou elektroenergetickou soustavou. [4]

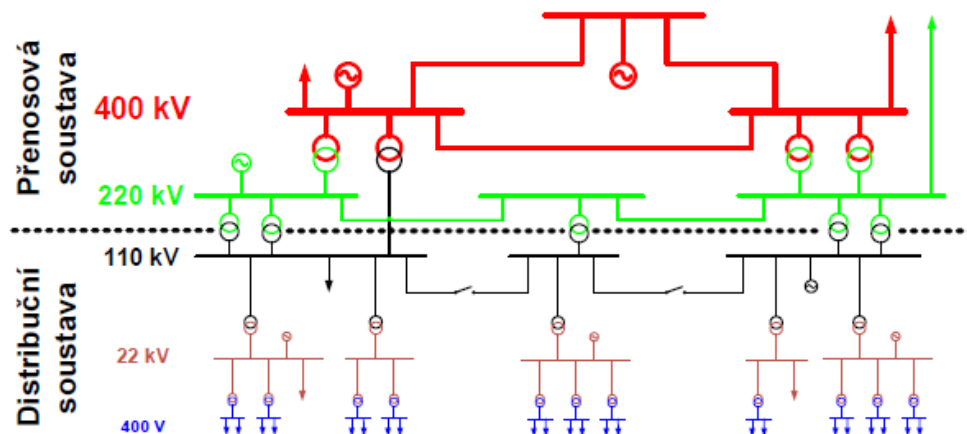


Obr. 1 Přenosová soustava ČR [4]

K přenosu elektrické energie na velké vzdálenosti se využívá velmi vysokého napětí z důvodu snížení přenosových ztrát, které vznikají průchodem elektrického proudu. Z Ohmova zákona lze odvodit, že zvyšováním napětí se snižuje protékající proud a tedy i tyto ztráty. V České republice je nejvyšší použitá napěťová hladina 400 kV.

1.2 DISTRIBUČNÍ SOUSTAVA

Distribuční soustava slouží a je zodpovědná za dodávku elektrické energie k jednotlivým zákazníkům, kteří jsou připojeni podle velikosti odběru na příslušné napěťové hladině. Je tvořena sítěmi vvn 110 kV, na kterých jsou připojeni největší odběratelé a sítěmi nižších napěťových úrovní viz obr. 2. Přenáší výkon na kratší vzdálenosti a jsou do ní připojeni výrobci menších výkonů.



Obr. 2 Elektrizací soustava [2]

2 ELEKTRICKÉ STANICE ZVN A VVN

Jedná se o elektrické stanice, které jsou provozovány na úrovni nejvyššího napětí 400 kV používaného v české přenosové soustavě, jejíž páteřní síť prochází celou republikou od západu k východu a jsou do ní připojeny největší výrobní elektrárenské zdroje dodávající elektrický výkon. Její hlavní funkcí je udržení výkonové bilance mezi výrobou a spotřebou elektrické energie.

Elektrárenské zdroje jsou připojeny do elektrické sítě přes blokové transformátory a elektrické stanice výroben, kde se vyrobená energie transformuje z napětí vhodného pro výrobu, jehož velikost závisí na výkonu elektrárny na napětí vhodné pro přenos elektrické energie na větší vzdálenosti. Vždy se snažíme respektovat přirozený výkon vedení, aby byly co nejmenší ztráty přenášené energie. Elektrické stanice zvn a vvn jsou hlavní spojovací uzly přenosové soustavy a transformují elektrickou energii této sítě ze 400 kV na 110 kV, které je vhodné jako napětí k distribuci elektrické energie blíže k zákazníkům, neboť největší odběratelé elektrické energie jsou napojeni na napěťové úrovni 110 kV.

2.1 HLAVNÍ ČÁSTI ELEKTRICKÝCH STANIC ZVN A VVN

Elektrická stanice je souborem několika částí. Ať už se jedná o části, které přímo nesouvisí s elektrickou energií jako je pozemek, budovy, komunikace, oplocení a částí tzv. hlavních, které mají přímou vazbu s elektrickou energií. Tyto části vzájemně tvoří jeden celek, který nazýváme elektrická stanice. Mezi hlavní části elektrické stanice se řadí rozvodny, transformátory a příslušná zařízení potřebná k funkci elektrické stanice. Rozvodny jsou na napěťových úrovních 400, 220 a 110 kV. V těchto rozvodnách se soustřeďuje veškerý elektrický výkon a dochází zde ke spínání a přepínání, rozvádění a měření. Transformátory jsou netočivé elektrické stroje, které rozvodny galvanicky oddělují a přeměňují velikost střídavého napětí. Transformátory představují ve schématu prvky s řádově vyšší impedancí. Zařízení, které je potřebné k funkci elektrické stanice je např. řídicí systém, který byl ještě před několika lety plně realizován nepřetržitou obsluhou přímo v elektrické stanici. V současné době jsou elektrické stanice provozovány jako bezobslužné, jsou plně řízeny z příslušných dispečinků přenosové a distribuční soustavy. V rozvodně 400 kV se na pozemku setkáme také s domky ochrany, kde jsou soustředěny

elektrické ochrany sloužící k zabezpečení bezpečného provozu elektrického zařízení zvn.

2.1.1 Transformátory

Transformátor tvoří ve výrobě a přenosu elektrické energie důležitý prvek, který zvyšuje napětí výrobního bloku na vhodnou velikost, potřebnou pro vyvedení výkonu z elektrárny a jeho přenos v elektrizační soustavě. Hraje vždy klíčovou roli pro spolehlivý přenos a distribuci energie.

V přenosové soustavě používáme transformátory spojovací, které spojují dvě různé elektrické sítě o rozdílném napětí. Při spojování soustav vvn využíváme třífázových i jednofázových transformátorů.

Mezi důležité parametry transformátorů patří:

- **Jmenovitý výkon** – udáváme jeho zdánlivý výkon S_n (MVA)
- **Převod transformátoru** – vyjadřujeme jako poměr závitů vstupní (vyšší) napěťové strany k výstupní (nižší) napěťové straně.

$$p = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (-)$$

- **Ztráty transformátoru** – rozlišujeme tyto druhy ztrát:
 - **ztráty v železe** – vznikají stálou změnou magnetického toku a závisí při konstantní frekvenci na velikosti napětí. Označujeme je P_0 nebo P_{Fe} a nazýváme je také jako ztráty naprázdno.
 - **ztráty ve vinutí** – vznikají průchodem proudu vinutím a jsou pro jednu fázi rovny součinu RI^2 . Označujeme je P_{cu} nebo P_k .
- **Napětí nakrátko** – jedná se u transformátorů o důležitý údaj. Definujeme ho jako napětí vstupní strany při spojené výstupní straně nakrátko. Označujeme indexem u_k a udáváme v procentech.

- **Proud naprázdno** – je proud procházející transformátorem při rozpojené výstupní straně a při jmenovitém napětí na vstupní straně. Označujeme i_0 a udáváme také v procentech.
- **Spojení fází transformátoru** – vinutí fází v trojfázové soustavě můžeme uspořádat do hvězdy (Y, y), trojúhelníku (D, d) a lomené hvězdy (Z, z). Při označování má strana s vyšším napětím symbol velkého písmena a strana nižšího napětí symbol malého písmena.

Pro transformaci zvn/vvn se používá transformátor se spojením:

- **Spojení Yy** – vstupní i výstupní vinutí spojeno do hvězdy. Je vhodné v sítích, kde jsou fáze souměrně zatíženy. Při vyvedení uzlu poskytuje jak napětí fázové, tak napětí sdružené.
- **Spojení Yyd** – obsahuje třetí vinutí spojené do trojúhelníka, které kompenzuje nesymetrie. Je řešeno na úrovni vn a pokud je využito tak například pro napájení vlastní spotřeby elektrické stanice. [1]

2.1.2 Přípojnice

Na přípojnicových vodičích se soustřeďuje veškerý elektrický výkon v rozvodně, z tohoto důvodu musí být přípojnice navrženy na maximální proudové zatížení rozvodny. Elektrický výkon se následně rozděluje do jednotlivých odboček. Průřez i uspořádání přípojníc (vzdálenost fází, uložení vodičů) je dáno jednak provozním stavem a jednak poruchovým stavem, to znamená, že musejí být odolné proti tepelným a dynamickým účinkům zkratového proudu.

- **Přípojnice z lanových vodičů** – jejich použití se hojně využívalo ve starších typech rozveden, které byly budovány v době kdy nebyl problém s větší zastavěnou plochou rozvodny. Jejich použití je spojeno s horizontálním typem přípojnicových a vývodových odpojovačů. Tento odpojovač má v každém pólu pouze dva navzájem v opačném smyslu otočné izolátory, z nichž každý nese jeden pohyblivý kontakt, spojený s pevným svorníkem převodní hlavicí a ukončený

vlastními kontakty. Nevýhodou tohoto uspořádání je, že tah přívodního vodiče na svorník se přenáší jako ohyb na patní ložiskové uložení a velmi ho namáhá. Při průchodu zkratového proudu i při dostatečně pevném izolátoru může dojít k jeho celkovému vychýlení do té míry, že dojde k axiálnímu vysmeknutí kontaktů ze styku. Moderní řešení pro velké zkratové proudy však s touto možností počítají a vlastní kontakty řeší zámkem, který axiální vysmeknutí znemožní.

- **Přípojnice z trubkových vodičů** – jsou používány v nově budovaných a rekonstruovaných rozvodnách, kde je požadavek na co nejmenší zastavěnou plochu. Z tohoto důvodu je vhodné použití odpojovačů pantografového typu. Tento odpojovač se skládá z pohyblivého kontaktu tvaru pantografu opatřeného nástavcem s vlastními kontakty, vytvářející styková místa. Je umístěn na jediné izolátorové podpěře. Pevný kontakt bývá upevněn přímo na přípojnici, nebo na tyčovém izolátoru zavěšeném na portálovém stožáru a spojen s přípojnicí. Tento typ odpojovače díky své konstrukci se svislou přímkovou odpojovací dráhou umožňuje zmenšení záborové půdorysné plochy rozvodny.

2.1.3 Odbočky

Odbočka je část rozvodny, kde se elektrická energie z přípojnic rozděluje do dalších částí rozvodny a následně do vývodových linek nebo do odboček pro měření vlastní spotřeby. Jednotlivé odbočky musí být možné v případě poruchy nebo revize zálohovat a zajistit tak nepřerušenu dodávku elektrické energie.

Základní vybavení odbočky:

- **Vypínač** – slouží k zapínání a vypínání odbočky buď bez zatížení, nebo pod zatížením. Vypínač musí být schopný vypínat i poruchové stavy. Z tohoto důvodu musí být jejich kontakty a zhášecí komory dimenzovány na maximální zkratové proudy.
- **Přípojnicový odpojovač** – zajišťuje viditelné oddělení odbočky od přípojnicového systému. Jeho konstrukce neumožňuje odpojovat elektrický obvod pod zatížením.

- **Vývodový odpojovač** – zajišťuje viditelné oddělení vedení, kabelového nebo venkovního od rozvodny a také neumožňuje odpojovat obvod pod zatížením.
- **Zemnicí odpojovač** – umožňuje připojit vedení linky nebo úseku, který se opravuje na nulový potenciál země. Často je umístěn v jedné konstrukci s vývodovým odpojovačem.
- **Měřicí transformátory proudu a napětí** – slouží pro měření napětí a proudu tekoucího v odbočce. V současné době jsou konstruovány jako kombinované v jednom přístroji.
- **Elektrické ochrany** – jejich úkolem je v případě nestandardních stavů zajistit co nejrychlejší vypnutí vedení.

2.2 PROVEDENÍ ELEKTRICKÝCH ROZVODNÝCH ZAŘÍZENÍ

Elektrická rozvodná zařízení zvn a vvn tvořící důležitou součást řetězce přenosu elektrické energie mezi zdrojem a zákazníkem rozdělujeme do dvou základních konstrukcí:

- Venkovní rozvodny se vzduchovou izolací
- Zapouzdřené plynem izolované vnitřní a venkovní rozvodny

Obě provedení mají své výhody i nevýhody. V místech kde nejsou přísná prostorová omezení a požadavky životního prostředí, nehrozí nadměrné znečištění zařízení vlivem prachu či popílku si můžeme dovolit ekonomicky výhodnější venkovní provedení se vzduchovou izolací, které je přímo vystaveno vlivům klimatu a prostředí viz *obr. 3*.

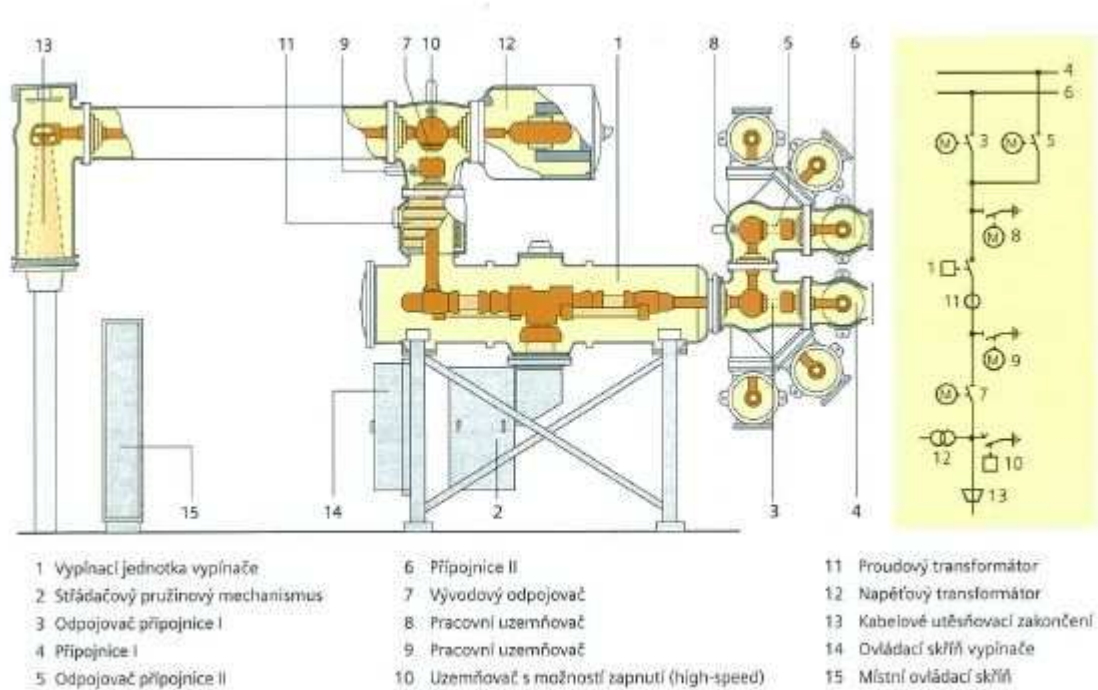


Obr. 3 Venkovní rozvodna 400 kV

Elektrické rozvodné zařízení vvn a zvn jsou v naší republice převážně prováděny jako venkovní, které jsou oproti zapouzdřeným ekonomicky výhodnější. Naproti tomu ve velkých městech a průmyslových oblastech, si nemůžeme vždy dovolit budovat stanice venkovní, ekonomicky výhodnější. Musíme splnit požadavek na minimální zastavěnou plochu rozvodny a přivedení výkonu co nejbližší spotřebě. Tento požadavek vede k budování dražších, zapouzdřených, plynem izolovaných rozvodů. Zapouzdřené rozvodny lze provádět jak v provedení vnitřním, tak v provedení venkovním. Kompaktní konstrukce a malé rozměry umožňují instalaci přímo v centrech spotřeby. Kovové uzemněné zapouzdření zajišťuje odolnost vůči znečištění a také ochranu před úrazem elektrickým proudem.

V hustě zabydlených aglomeracích velkých měst je obtížné najít dostatečně velký prostor pro stavbu rozvodny zvn a vvn venkovního typu izolované vzduchem při atmosférickém tlaku. Hraje zde roli jednak již zastavěný prostor a také značně vysoká cena pozemku za metr čtvereční. Z těchto důvodů musíme vždy zhodnotit náklady, zdali se nevyplatí investovat do rozvodny zapouzdřeného typu s izolací fluoridem sírovým. Investice do technologie této rozvodny bývá až desetinásobně vyšší než výstavba venkovní rozvodny, ale vynaložené prostředky se nám vrátí v podobě menších nákladů na zastavěný prostor. Samozřejmě má i další výhody v podobě vysoké spolehlivosti, bezpečnosti a životnosti. Požadavky na údržbu zařízení jsou značně nižší než u klasických venkovních rozvodů. Odpadá zde také nutnost používání kompresorů. Modulární provedení přístrojů a

spojovacích vodičů nám umožňuje snadné rozšíření a přestavbu celé rozvodny viz obr. 4.



Obr. 4 Zapouzdřená rozvodna 400 kV [7]

2.3 PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ ROZVODEN

2.3.1 Vypínač

Nejdůležitější veličiny určující typ vypínače jsou:

- nejvyšší napětí soustavy [kV]
- jmenovitý proud [kA]
- jmenovitý vypínací proud [kA]
- jmenovitý dynamický proud [kA]
- vypínací doba [ms]

- zapínací doba [ms]
- jmenovitý tlak plynu SF₆ [MPa]
- druh pohonu

Trend dnešní doby je takový, že v rekonstruovaných a nově vybudovaných elektrických stanicích vvn a zvn používáme výhradně vypínače kde je zhášecí médium fluorid sírový SF₆.

Pro své výborné izolační a zhášecí vlastnosti a pro velkou chemickou stálost je SF₆ jedním z nejvhodnějších plynů pro použití při zhášení elektrického oblouku ve spínací technice. Přesto však vykazuje některé vlastnosti, které působí obtíže při technologickém navrhování konstrukčních částí zhášecích komor vypínačů. Zplodiny jeho rozkladu mohou narušit jak klasické elektrovedné materiály, tak i materiály izolační.

- **Vypínače s fluoridem sírovým** – viz obr. 5 se vyvíjely postupně v souladu se znalostmi charakteristik zhášecího plynu. Z tohoto důvodu se až do začátku sedmdesátých let minulého století vyvíjely tzv. dvoutlaké vypínače, u nichž je tlakový rozdíl udržován vhodným kompresorovým soustrojím, např. s tlakem ve zhášedle 2 MPa, vně zhášedla 0,4 MPa. Provozní potíže s nuceným přehříváním stlačeného plynu SF₆ a velká složitost vedly konstruktéry k řešení, při němž potřebný tlakový rozdíl pro proudění plynu vzniká pohybem pístu spojeného s kontaktním ústrojím. Tento druh konstrukce vypínače, nazývaný též jednotlaký v současné době převládá. Provozní vlastnosti vypínačů s SF₆ jsou v podstatě dány v předprovozních etapách. Je nutné věnovat podstatně větší pozornost čistotě plynu, dodržet dovolený stupeň vlhkosti plynu, postupovat pečlivě při volbě vhodného materiálu, věnovat maximální pozornost obrábění těsnících ploch vzhledem k možnému úniku plynů, dodržovat přesně technologii výroby a zachovávat čistotu při montáži. Z dodržení všech těchto kritérií plyne pak pro provozovatele zapouzdřeného vypínače SF₆ mnoho výhod z jeho vynikajících provozních vlastností, které se odrážejí nejzřetelněji v minimálních nárocích na údržbu. [6]



Obr. 5 Vypínač 400 kVs fluoridem sírovým SF₆

2.3.2 Odpojovače

Podle účelu je možné odpojovače rozdělit do tří skupin:

- Přípojnicové
- Vývodové
- Zemnící

Podle provedení rozeznáváme odpojovače:

- Horizontální
- Pantografové

Použití určitého typu závisí na způsobu řešení rozvodny.

- **Horizontální odpojovač** – konstrukce tohoto typu odpojovače je tvořena dvěma otočnými rameny, která jsou umístěna na podpěrných izolátorech. V některých případech je provedení se zemnicími noži viz obr. 6. Připojování proudové dráhy je řešeno v horizontálním směru, díky tomu je tento typ konstrukce odpojovače náročnější na půdorysnou plochu.



Obr. 6 Horizontální odpojovač se zemnicím nožem

- **Pantografový odpojovač** - tento druh odpojovače viz obr. 7 je konstruován tak, že připojování proudové dráhy probíhá ve svislém směru, což je výhodné z hlediska úspory půdorysné plochy pod odpojovačem. Tohoto využíváme především u nově budovaných nebo rekonstruovaných rozvodnách, kde je kladem velký důraz na co nejmenší půdorysný rozměr rozvodny.



Obr. 7 Pantografový odpojovač 400 kV

2.3.3 Přístrojový transformátor

Požadavky na měření elektrických veličin chráněného objektu jsou značně náročné. Běžně se vyskytují proudy řádu jednotek kA a napětí řádu stovek kV. Proto se ochrana nezapojuje do obvodů přímo, ale přes přístrojové transformátory proudu a napětí.

Vlastnosti přístrojových transformátorů můžeme shrnout v těchto bodech:

- Transformují jmenovité proudy a napětí objektu na jednotné velikosti určené normou tj. 100 V, 5A nebo 1A pro vstup ochran.
- Izolují obvody zvn a vvn od obvodů ochrany. Tak je zajištěna bezpečnost obsluhy i ochrany.
- Umožňují umístit ochrany z dosahu rušivých magnetických a elektrických polí objektu.
- Dovolují soustředit ochrany v prostorech kde je přehledně umístěno řízení.

- **Přístrojový transformátor proudu** – musí zaručit konstantní poměr výstupního a vstupního proudu. Vstupní vinutí je zapojeno do série s obvody chráněného objektu. Hlavním znakem PTP je, že jeho vstupní proud je dán vstupním obvodem, ve kterém je zapojen. Nikdy nesmí dojít k rozpojení výstupního proudového obvodu. Výstupní napětí by vzrostlo a mohlo by ohrozit ochranu i samotný PTP.
- **Přístrojový transformátor napětí** – tyto transformátory jsou v principu podobné silovým transformátorům. Rozdíly mezi nimi jsou pouze v konstrukci a výpočtu. PTN je vypočítán tak, aby zajistil určitý výkon při zadané maximální dovolené úhlové a převodové chybě. Konstrukce přístrojových transformátorů napětí se liší od silových transformátorů především menšími požadavky na chlazení. Ideální přístrojový transformátor by měl mít výstupní napětí úměrné vstupnímu podle převodu a se shodnou fází.

2.3.4 Bleskojistky

Jsou elektrické přístroje, které mají za úkol chránit elektrické zařízení před účinky atmosférických a provozních přepětí.

- **Jiskřiště** – jsou podle okolností různě konstrukčně uspořádána. Jejich účel je zredukován na to, aby se případná přepětí, vzniklá atmosférickým působením, svedla k zemi v místě, kde jejich následky napáchají co nejméně škod. Bývají to jiskřiště kulová, tyčová, růžková. Jejich společnou nevýhodou je, že každé jejich zapálení má za následek zkrat na postižené fázi, zapůsobení ochrany a alespoň krátkodobý výpadek dodávky elektrické energie.
- **Ventilové bleskojistky** (s napěťově závislým rezistorem) – skládají se ze soustavy jiskřišť a ze soustavy nelineárních, napěťově závislých rezistorových bloků. Tyto části bývají umístěny v dutině porcelánového izolátoru. Přiložení napěťové vlny ke svorkám bleskojistky, z nichž jedna je uzemněna a druhá připojena k fázovému vodiči soustavy, vyvolá při dosažení zapalovacího napětí bleskojistky přeskok na přesně nastavených jiskřištích. Nastává tím situace, kdy

napětí rázové vlny se objeví na blocích napětově závislých rezistorů, jimiž začne procházet výbojový proud. Jeho velikost, daná velikostí a průběhem napětově vlny, dosáhne svého vrcholu, začne se zmenšovat, až zanikne téměř na nulu v okamžiku, kdy se napětí na svorkách bleskojistky sníží na zhasací hodnotu. Přepětová vlna je tím omezena, vyvolaný následný proud při své malé velikosti, kdy odpor napětově závislých bloků dosáhne opět vysoké hodnoty, nestačí udržet na jiskřistých oblouk, který hasne a bleskojistka se opět vrací do svého původního stavu. [6]

Výzbroj každé energetické soustavy je z hlediska napětového dimenzování navrhována pro určitou napětovou hladinu, danou velikostí jmenovitého provozovacího napětí. Přepětí je napětím, které v libovolném okamžiku svou velikostí převyšuje amplitudu nejvyššího provozovacího napětí soustavy. Z hlediska vzniku můžeme přepětí rozdělit na provozní a atmosférická.

- **Provozní přepětí** – jde o přepětí, vznikající při zkratu a vypínání zkratů v sítích vvn. Uvažujeme-li o zjednodušení, že k přerušení obvodu dojde při vypínání přesně v proudové nule, objeví se mezi vzdalujícími se kontakty napětí, skládající se ze dvou složek. Je to jednak složka napětí s průmyslovým kmitočtem a také složka přechodná s kmitočtem rovným vlastnímu kmitočtu vypínaného obvodu, která se však vlivem odporů v obvodu rychle utlumí. Přesto však v maximu první půlperiody přechodné složky může vzniknout mezi kontakty vypínacího přístroje a tím i v celém obvodu přepětí, teoreticky rovné dvojnásobku maximální hodnoty fázového napětí. Také při vypínání kondenzátorových baterií nebo vedení naprázdno vznikají přepětí, jež jsou pro izolaci sítí velmi nebezpečná svou dlouhou dobou trvání a velkou amplitudou.
- **Atmosférická přepětí** – probíhají mezi mrakem nabitým statickým nábojem a zemí. Zatímco u přepětí provozních existují nejrůznější napětové překmity různé velikosti, charakteru, doby trvání a průběhu, dá se doba trvání a tvar atmosférických přepětí s úspěchem definovat. V případě napětově vlny indukované do vedení, nebo v případě přímého úderu blesku do vedení vznikne v něm tzv. putovní vlna, která se šíří vedením na obě strany. Narazí-li tato vlna na otevřený konec vedení, odrazí se zpět s dvojnásobnou amplitudou, která

může za příznivých podmínek dosáhnout hodnoty až 2 MV. Pokud není vlna cestou svedena na některém napěťově slabém místě venkovního vedení bez následků k zemi, jsou touto napěťovou hodnotou velmi ohrožena veškerá energetická zařízení k postiženému úseku připojená. Zmíněná slabá místa představují v energetické síti bleskojistky, jimiž jsou vybavovány sítě nízkého, vysokého i velmi vysokého napětí.

3 SCHÉMATA ELEKTRICKÝCH ROZVODNÝCH ZAŘÍZENÍ

Schémata elektrických stanic vvn a zvn navrhujeme tak, aby splňovala několik důležitých požadavků. Snažíme se především minimalizovat finanční rozpočet celé stavby, proto je důležité, aby spotřeba materiálu a zastavěné plochy byla co nejmenší. Jinými slovy jde nám především o hospodárnost. Co se týče následného provozu elektrické stanice, měla by být optimálním způsobem zapojení do elektrizační soustavy. Schéma musí být co nejjednodušší a hlavně přehledné. To oceníme především při vyhledávání poruch, neboť čím je složitější schéma, tím hůře se identifikuje případná závada.

Co se týče zkratového výkonu, jde nám především o to, abychom v každé části rozvodného zařízení měli tento výkon co nejmenší. Potom si můžeme dovolit zmenšit typovou velikost a zařízení dimenzovat úměrně velikosti zkratového proudu.

Dalším důležitým hlediskem je bezpečnost a spolehlivost elektrického zařízení, které musí vyhovovat z hlediska bezpečnosti před úrazem elektrickým proudem. Zařízení by také mělo být co možná nejspolehlivější. Z praxe je ověřeno, že čím vyšší napětíovou hladinu použijeme, tím nižší je výskyt poruch převážně přechodného charakteru.

Volba schématu elektrické stanice závisí na stupni důležitosti napájených spotřebičů. Podle důležitosti dodávky elektrické energie rozdělujeme napájené spotřebiče do tří skupin. Pro hladinu napětí zvn a vvn nás zajímají první dvě skupiny. Nejvyšší důležitost pro nás má skupina první kde dodávka elektrické energie musí být zajištěna za všech okolností, neboť při jejím přerušení mohou být ohroženy lidské životy a způsobeny velké národohospodářské ztráty. Tudíž je zde požadavek na zajištění dodávky elektrické energie ze dvou na sobě nezávislých zdrojů. Každý z těchto zdrojů musí mít výkonovou rezervu takovou, aby sám zabezpečil dodávku pro všechny spotřebiče v prvním stupni důležitosti.

Ve druhé skupině jsou požadavky pro dodávku elektrické energie takové, že má být podle možnosti zajištěna. Neboť jejím přerušením dojde ke značnému omezení nebo přímo k zastavení výroby, nejsou zde však jako v první skupině ohroženy lidské životy. Náhradní napájení je provedeno zálohováním.

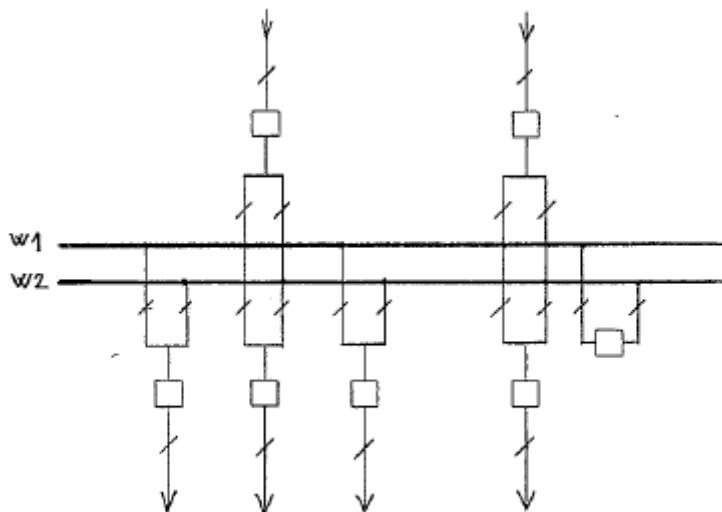
Se třetí skupinou důležitosti se u elektrických stanic zvn a vvn nesetkáváme.

3.1 JEDNODUCHÝ SYSTÉM PŘÍPOJNIC

S klasickým jednoduchým systémem přípojnic se u elektrických stanic zvn a vvn neseškává, protože se jedná pouze o jednu přípojnic, má toto uspořádání velmi omezené možnosti. V případě poruchy přípojnice a během údržbových nebo revizních prací by došlo z důvodu nemožnosti napájení z jiného zdroje k odstavení celé stanice, což si na této napěťové úrovni nemůžeme dovolit. Jednoduchý systém přípojnic má své uplatnění na nižších napěťových úrovních.

3.2 DVOJITÝ SYSTÉM PŘÍPOJNIC

Jedná se o nejpoužívanější systém u napětí vvn a zvn viz *obr. 8* a používá se tam, kde se vyžaduje vysoká spolehlivost dodávky elektrické energie a kde není přípustné ani krátkodobé přerušení dodávky nebo tam, kde je nutno provoz odboček dělit do dvou skupin z důvodů, že je to vhodné kvůli omezení zkratových proudů, neboť můžeme přípojnice rozdělit na dvě paralelní větve a díky tomu omezit zkratový proud. Případně lze odseparovat skupiny spotřebičů citlivých na kolísání napětí. Také neméně důležité je oddělení sítí venkovních, které mají převážně indukční charakter a sítí kabelových s charakterem kapacitním.



Obr. 8 Dvojitý systém přípojnic

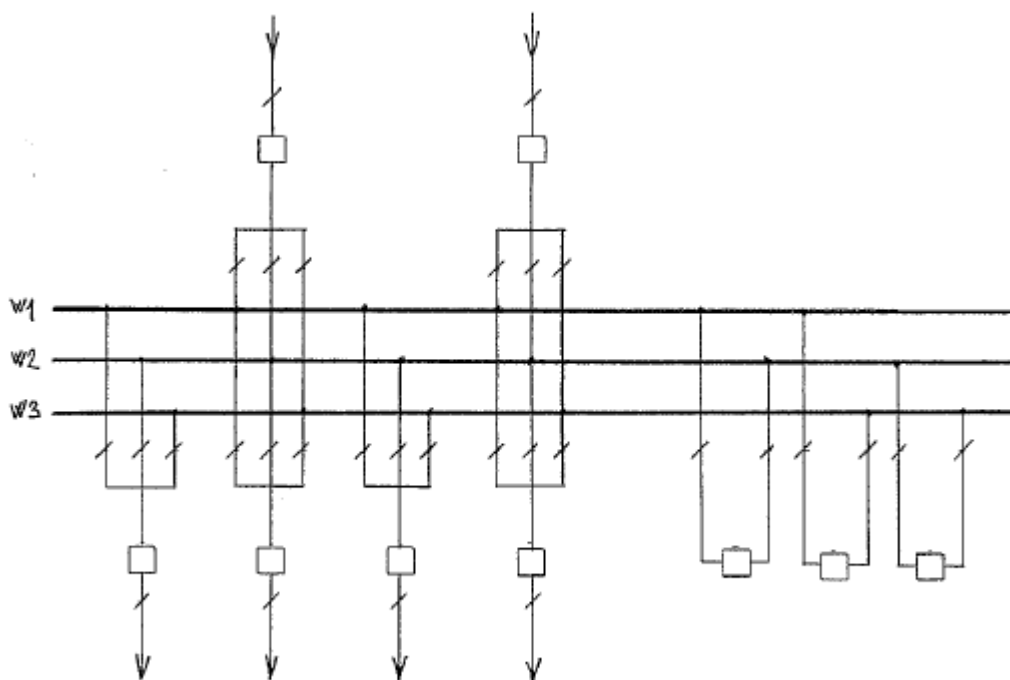
Provozní požadavky leckdy vyžadují dělit spotřebiče na více skupin, tohoto lze dosáhnout obdobně jako u jednoduchého systému podélným dělením přípojnic.

Při vybavení pouze odpojovači je nutné, aby při podélném spojování byla jedna sekce v beznapěťovém stavu. V druhém případě podélný spínač s vypínačem slouží pro manipulaci, při které mohou být obě sekce přípojnicových systémů pod napětím. Odpojovače mezi sekcemi slouží pro trvalé nebo dlouhodobé sepnutí úseků. Podélný spínač může být řešen v kombinaci s příčným spínačem.

V tomto kombinovaném spínači je příčné spínání využíváno pouze záložně a obě sekce jsou vybaveny základními příčnými spínači.

3.3 TROJITÝ SYSTÉM PŘÍPOJNIC

Tento systém viz obr. 9 je používán u největších elektrických stanic v rozvodnách 110 kV, kde je velké množství odboček a vyžaduje to důležitost provozu. Trojitý systém provozujeme tak, že první a druhá přípojnice slouží jako pracovní a jsou na ně připojeny odbočky, třetí přípojnice slouží jako záložní.



Obr. 9 Trojitý systém přípojnic

V západočeském regionu je trojitý systém přípojnic používán například v rozvodnách Chrást a Přeštice. Je to zejména tam, kde potřebujeme rozdělit zdroje k omezení velkých zkratových nebo provozních proudů a také v případě potřeby provozovat odděleně sítě jiného napětí. Trojitý systém se u napětí 400 kV nevyskytuje. Největší zastoupení má u 110 kV a ve vysokém napětí.

Pro zvýšení spolehlivosti je možné stejně jako u jednoduchého a dvojitého systému přípojnic dělit podélně spínačem přípojnic. Na *obr. 10* je zachycen systém v rozvodně Přeštice.

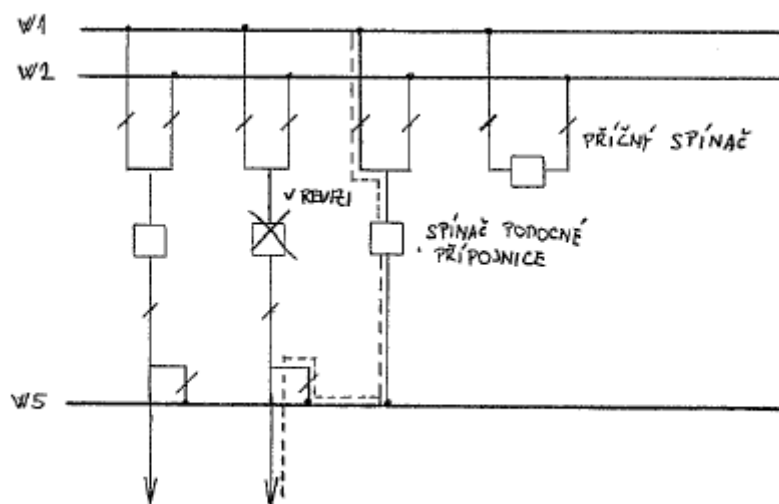


Obr. 10 Trojitý systém přípojnic 110 kV podélně dělený

3.4 POMOCNÝ SYSTÉM PŘÍPOJNIC

V případě, kdy nelze připustit odstavení odbočky po celou dobu údržby vypínače nebo zařízení k němu příslušných (elektrické ochrany, měřicí transformátory, ovládací signalizační a měřicí obvody) v beznapěťovém stavu, volí se zapojení s pomocným

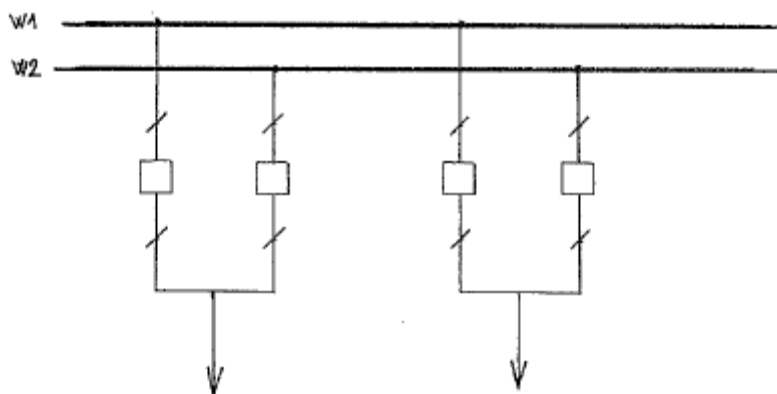
systémem přípojnic. To pak slouží pro záložní převedení výkonu této odbočky. Náhradní výzbroj zajišťuje vypnutí, ochranu, signalizaci a měření v odbočce spínače pomocné přípojnice. Přípojnicové odpojovače v odbočce spínače zajišťují možnost volby připojení na hlavní systémy přípojnic podle původního zapojení odbočky. Na pomocný přípojnicový systém je možné připojit jen jednu odbočku viz obr. 11, protože máme pouze jeden spínač pomocné přípojnice. Pomocný systém přípojnic a výzbroj odbočky se spínačem pomocné přípojnice se dimenzuje stejně jako nejsilnější odbočka.



Obr. 11 Pomocná přípojnice

3.5 SCHÉMA SE DVĚMA VYPÍNAČI NA JEDNU ODBOČKU

Je poměrně hodně používané. Přes své větší pořizovací náklady nám přináší výhody v tom, že se nemusí přepínat z jednoho systému na druhý, při normálním provozu je vždy zapojena na jednu přípojnicí část vývodů a další část vývodů je připojena na druhou přípojnicí viz obr. 12. Paralelní provoz nemá smysl, neboť nepřinese žádné výhody. Dosáhli bychom jenom vysokých zkratových proudů a obě přípojnice bychom spojovali přes vývodové odpojovače a to nechceme.



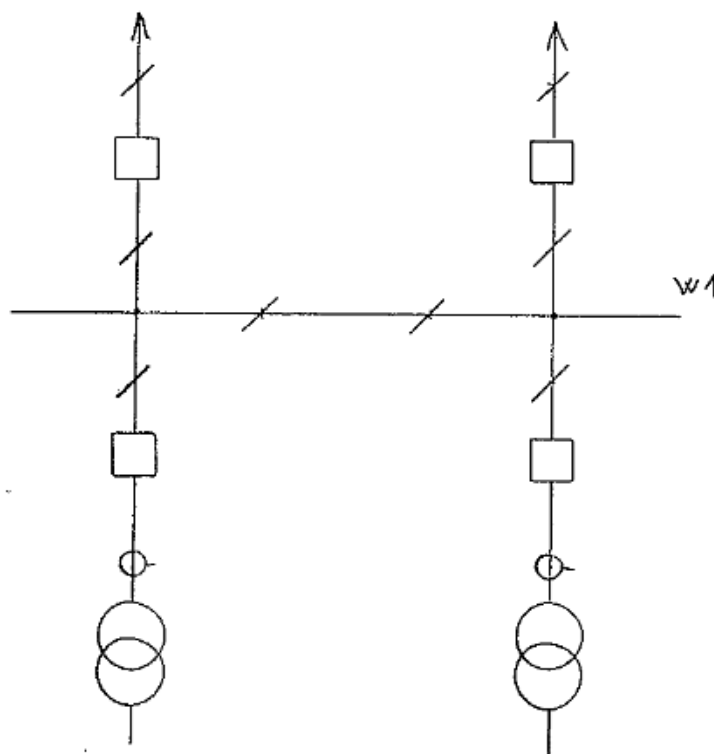
Obr. 12 Dva vypínače na jednu odbočku

3.6 ROZVODNY BEZ PŘÍPOJNIC

U menších koncových distribučních stanic v napěťové úrovni vvn se setkáme s jednoduchým systémem, pouze jako schéma typu H viz obr. 13, kde topologii tvoří dvě podélné napájecí přívodní linky 110 kV a dvě vývodové pole k transformátorům. Tyto dvě části jsou příčně propojeny větví s odpojovači. Vypínače a měřicí transformátory jsou umístěny v podélných větvích.

Ve schématu se dají nakonfigurovat různá zapojení. Jako například provoz jednoho transformátoru ze dvou linek nebo odstavení jedné linky a přepojením transformátorů do druhé linky.

U elektrických stanic s malou spotřebou je vhodnější provozování pouze jednoho transformátoru z důvodů lepšího využití jmenovitého výkonu. Druhý transformátor můžeme ponechat jako záložní rezervu.



Obr. 13 Speciální systém zapojení typ H

3.7 SPECIÁLNÍ ŘEŠENÍ SCHÉMAT ROZVODEN

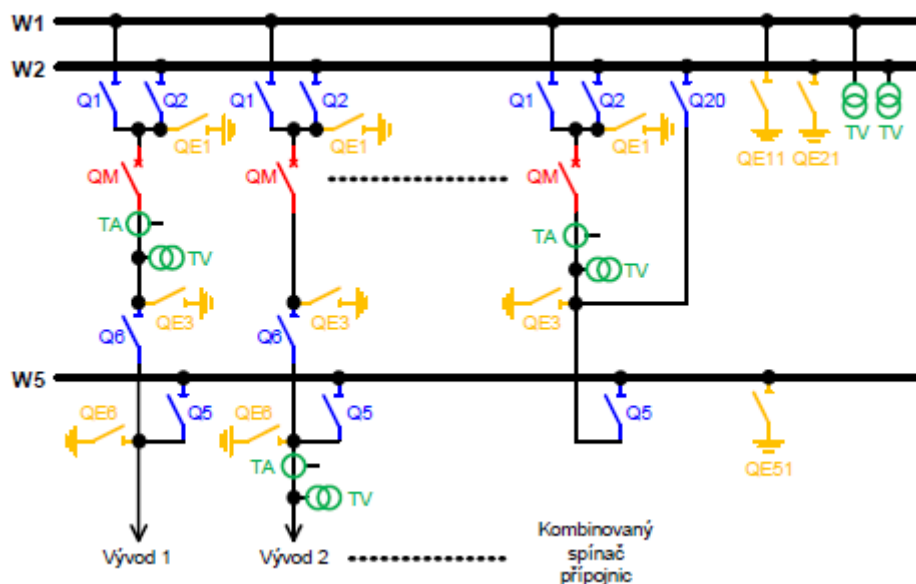
- **Polygonové zapojení** – rozvodny tohoto typu mají přípojnice zapojeny do troj až osmiúhelníků. Schémata se vyznačují velkou variabilitou v topologii zapojení a také vysokou spolehlivostí. Na druhou stranu je velmi obtížné nastavení elektrických ochran, aby správně vyhodnotily poruchový stav a daly rychlý povel k vypnutí. Použití těchto schémat je v dnešní době spíše ojedinělé.
- **Schéma se čtyřmi vypínači na tři odbočky** – stejně jako u polygonového zapojení se jedná spíše o atypické schéma používané v rozvodnách, do kterých přivádíme elektrický výkon z velkých elektráren, neboť se snažíme výkon z jednoho bloku rozdělit do dvou linek vvn. Toto schéma nabízí větší variabilitu v topologii zapojení a v případě vzniklé poruchy je snáze řešitelné přepojení postižené části rozvodny. Tato možnost uspořádání zapojení může značně omezit

následky vzniklé poruchy.

3.8 SCHÉMA DVOU HLAVNÍCH A JEDNÉ POMOCNÉ PŘÍPOJNICE (2H+P)

V předchozích bodech byly uvedeny různé druhy elektrických schémat pouze ve zjednodušené formě, neboť šlo především o naznačení topologie používaných systémů, na *obr. 14* je uvedeno plně vybavené schéma, na kterém vidíme i označení všech prvků. Spínací prvky označujeme velkým písmenem Q. V případě, zda se jedná o vypínač, označujeme (QM), odpojovač (Q1, Q2), zemnicí nůž (QE). Ve schématu jsou také uvedeny možné způsoby umístění měřicích transformátorů, buď před, nebo za vývodový odpojovač.

Přípojnice označené W1, W2 nazýváme hlavní a zajišťují připojení vývodů. V normálním provozu jsou jednotlivé vývody připojeny vždy na jednu z hlavních přípojníc (například vývod 1 je připojen na W1, vývod 2 připojen na W2). Rozdělení připojení vývodů na hlavní přípojnice provádíme tak, aby byl minimálně zatížen spínač přípojníc a byla zajištěna spolehlivost provozu při výpadku jedné přípojnice.



Obr. 14 Systém přípojníc 2h+p v elektrických stanicích 400/110 kV [2]

Dvojitý systém přípojníc umožňuje odstavovat jednu z přípojníc pro revize bez nutnosti vypínání vývodů. Rozvodny s vysokým počtem vývodů jsou navíc vybaveny podélným spínačem přípojníc, který v případě nutnosti dokáže rozdělit každou přípojnici na dvě poloviny.

Pomocná přípojnice W5 slouží ve spojení s kombinovaným spínačem přípojníc pro náhradní provoz všech vývodů. Při náhradním provozu je kombinovaný spínač přípojníc použit jako spínač pomocné a hlavní přípojnice a přebírá funkci odstavených prvků pro vývod v náhradním provozu. Při náhradním provozu přes pomocnou přípojnici je nutno přepojit zbývající vývody pouze na jednu hlavní přípojnici, protože kombinovaný spínač přípojníc je použit pro náhradní provoz a nelze ho tedy využít jako spínač hlavních přípojníc.

4 ROZVODNY V ELEKTRICKÉ STANICI V PŘEŠTICÍCH

4.1 R400 kV

Je řešena systémem dvou hlavních a jedné pomocné přípojnice (2h+p). Přípojnice jsou provedeny z tuhých trubkových profilů. Používáme výkonové vypínače se samostatným pohonem pro každý pól a zhášecím médiem fluoridem sírovým SF₆. Z důvodů menšího půdorysného záběru zastavěné plochy jsou zde osazeny přípojnicové a vývodové odpojovače pantografového typu, kde probíhá připojení proudové dráhy ve svislém směru. Taktéž měřicí transformátory proudu a napětí jsou kombinované, sloučené v jednom přístroji. Ochrany jsou umístěny v samostatných domcích. Každá linka disponuje dvěma distančními ochranami a systémem jednofázového opětného zapojení (OZ), který je vhodnější pro stabilitu elektrárenských zdrojů. Výjimku tvoří přeshraniční linka V442 Etzenricht, tam je použita ochrana distanční a srovnávací. Rozvodna je vybavena jedním transformátorem 400/110 kV o výkonu 350 MVA. Z transformátoru je vyvedeno terciální vinutí o napětí 10 kV používané pro vlastní spotřebu elektrické stanice. Rozvodna patří do přenosové soustavy a je provozována jako bezobslužná, řízená dálkově centrálním dispečinkem z Prahy.

4.2 R220 kV

Zde je použit systém dvou hlavních přípojnic (2h). Dříve byl ve schématu umístěný by-pass, od toho se však v minulých letech upustilo. Výkonové vypínače taktéž se samostatným pohonem pro každý pól a zhášecím médiem fluoridem sírovým SF₆. Rozvodna je historicky staršího provedení postavená v dobách, kdy nebyl kladen požadavek na co nejmenší zastavěný prostor, můžeme si zde proto dovolit použít přípojnice z lanových vodičů a odpojovače horizontálního typu. Přístrojové transformátory proudu (PTP) a napětí (PTN) jsou provedeny jako samostatné přístroje, umístěné před vývodovým odpojovačem v případě PTP. V případě PTN je umístění předsunuto do linky až za vývodový odpojovač. Jediný transformátor 220/110 kV je o výkonu 200 MVA s vyvedeným terciálem 10 kV pro vlastní spotřebu viz *obr. 15*. Rozvodna patří také do přenosové soustavy.



Obr. 15 Transformátor 220/110 kV, 200 MVA

4.3 R110kV

Rozvodna je v současné době v rekonstrukci a je řešena jako systém třech hlavních přípojníc (3h) podélně dělených s přípojnícemi z tuhých trubkových vodičů. Vypínače mají společný pohon a zhášecí médium plyn SF₆. Odpojovače jsou zde pantografového i horizontálního typu. Přístrojové transformátory proudu a napětí jsou kombinované. Jsou zde osazeny dva transformátory 110/22 kV. Rozvodna patří do distribuční soustavy, prozatím je provozována s trvalou obsluhou, která bude ukončena po rekonstrukci a rozvodna přejde do dálkového řízení z dispečinku v Kladně.

5 ZKRATOVÉ POMĚRY V ROZVODNÝCH ZAŘÍZENÍCH

V elektrizační soustavě patří mezi nejpočetnější poruchy zkraty. Zkrat je definován jako vodivé spojení dvou nebo více částí elektrického obvodu, jehož následkem je, že rozdíl elektrických potenciálů mezi těmito vodivými částmi je roven nule, nebo se nule blíží. Při vzniku zkratu se celková impedance postižené části elektrické soustavy několikanásobně zmenší a dojde k značnému nárůstu zkratového proudu a v konečném důsledku nastane snížení napětí a velmi často nastane v místě zkratu výboj elektrického oblouku. Proud i délka oblouku se po dobu trvání zkratu mění a tím se také mění odpor oblouku. U výpočtu zkratových proudů z důvodů dimenzování elektrického rozvodného zařízení přechodný odpor oblouku zanedbáváme. Nastane-li postižení zkratem všech tří fází, jedná se o souměrný trojfázový zkrat. Dvofázový zemní zkrat, dvofázový zkrat a jednofázový zkrat patří do kategorie nesouměrných zkratů. U venkovních vedení se trojfázový zkrat vyskytuje výjimečně, naproti tomu u kabelových sítí se jedná o poměrně častý druh zkratu. [8]

5.1 SLOŽKY ZKRATOVÉHO PROUDU

Během doby trvání zkratu prochází obvodem zkratový proud, jehož velikost a časový průběh jsou dány napětím zdroje, impedancí poškozené části vedení a okamžikem vzniku zkratu. Zkratový proud má složku aperiodickou (stejnoseměrnou). Periodická složka vyjadřuje ustálený zkratový proud s konstantní amplitudou, která je určena velikostí napětí a celkovou impedancí mezi místem vzniku zkratu a společným bodem určeným z náhradního schématu soustavy, ve kterém jsou zdroje i spotřebiče nahrazeny impedancemi. Počáteční hodnota zkratového proudu je závislá na okamžiku vzniku zkratu a na úhlu impedance zkratového obvodu.

Podle okamžiku vzniku zkratu se odvíjí, zda se jedná o souměrný nebo nesouměrný průběh zkratového proudu. Nesouměrný průběh zkratového proudu se skládá ze složky střídavé a stejnosměrné.

- **Stejnoseměrná (aperiodická) složka zkratového proudu I_a** – její počáteční hodnota je závislá na velikosti proudu před zkratem a na velikosti úhlů. Rychlost

doznívání je určena časovou konstantou T .

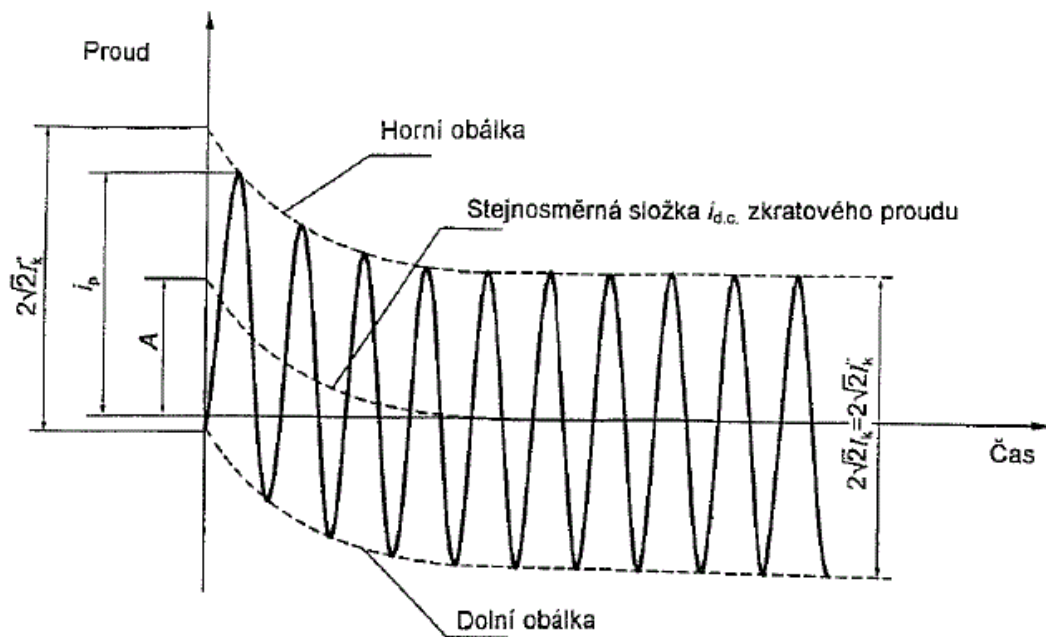
- **Počáteční rázový zkratový proud I_{kr}''** – je efektivní hodnota střídavé složky zkratového proudu v okamžiku vzniku zkratu. Kde vliv alternátorů, synchronních a asynchronních motorů na velikost tohoto proudu zahrnujeme tak, že v náhradním schématu prezentujeme stroje rázovou reaktancí podélnou X_d'' a zavádíme násobnou konstantu c , která respektuje poměr sdruženého napětí za podélnou rázovou reaktancí alternátoru a jmenovitého napětí.
- **Nárazový zkratový proud I_p** – je největší možná vrcholová hodnota zkratového proudu sestávajícího z obou složek. Tento proud způsobuje mechanické síly, které při nevhodném dimenzování způsobují značné mechanické deformování elektrického zařízení. Nazýváme ho také dynamickým zkratovým proudem.
- **Ekvivalentní oteplovací proud I_{ke}** – je efektivní hodnota fiktivního proudu sinusového průběhu s konstantní amplitudou, který za dobu zkratu vyvine stejné množství tepla jako předpokládaný zkratový proud s největší možnou stejnosměrnou složkou. Velikost tohoto proudu nás zajímá pro posouzení tepelných účinků zkratů na zařízení. Zvláště důležitý je pro dimenzování kabelových vedení.

5.2 CHARAKTERISTIKY ZKRATOVÉHO PROUDU

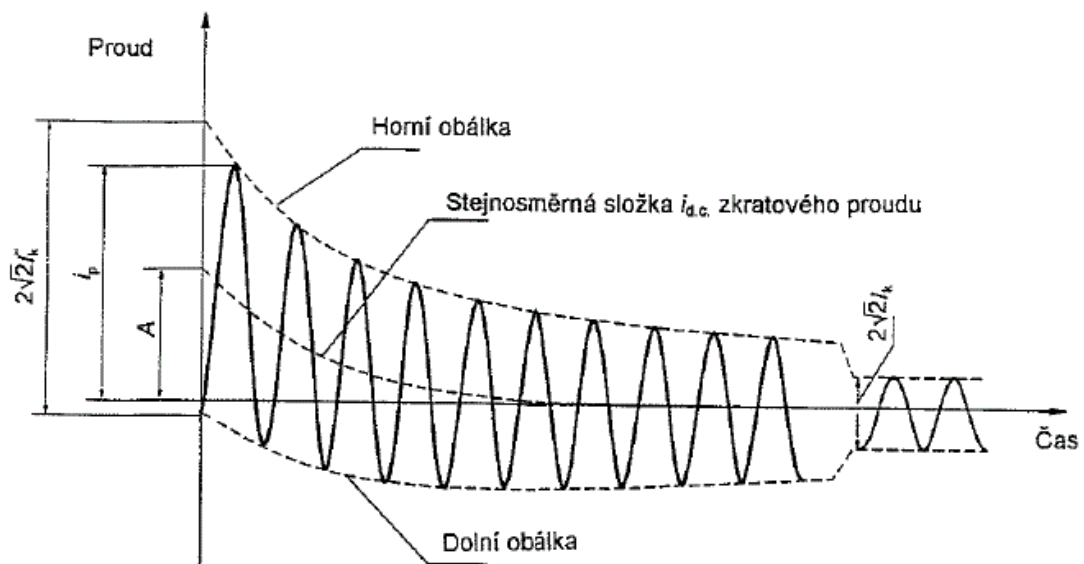
Při vzniku zkratu ve trojfázovém střídavém obvodu se vyvine zkratový proud s aperiodickou složkou, jejíž velikost je závislá na počáteční hodnotě střídavého zkratového proudu, na hodnotě proudu procházejícího obvodem před zkratem a také na okamžiku vzniku zkratu vzhledem ke střídavému průběhu napětí v místě zkratu.

Jestliže je místo vzniku zkratu dostatečně vzdáleno od zdrojů zkratového proudu, kterými jsou synchronní stroje a pokud je zanedbatelný příspěvek od asynchronních motorů na počátečním zkratovém proudu, potom se efektivní hodnota souměrné střídavé složky zkratového proudu s časem nemění. Můžeme tedy předpokládat, že se průběh zkratu blíží průběhu zkratu s ideálním napěťovým zdrojem a hovoříme o elektricky

vzdáleném zkratu viz obr. 16.



Obr. 16 Průběh zkratového proudu elektricky vzdáleného zkratu s konstantní střídavou složkou [5]



Obr. 17 Zkratový proud elektricky blízkého zkratu s klesající střídavou složkou [5]

I_k'' ... počáteční souměrný rázový zkratový proud

I_p ... nárazový zkratový proud

I_k ... ustálený zkratový proud

I_{dc} ... stejnosměrná složka zkratového proudu

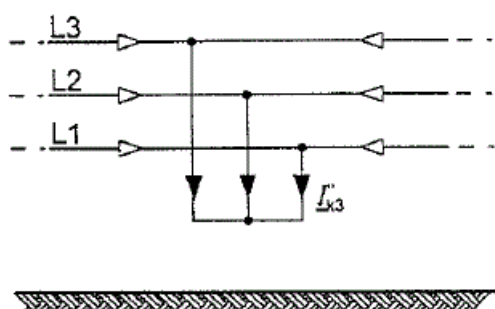
A ... počáteční hodnota stejnosměrné složky I_{dc}

Pokud však příspěvek minimálně jednoho synchronního stroje k počátečnímu zkratovému proudu I_k'' překračuje dvojnásobek jmenovitého proudu stroje, nebo není-li příspěvek asynchronních motorů zanedbatelný z počátečního rázového zkratového proudu, hovoříme o elektricky blízkém zkratu viz obr. 17.

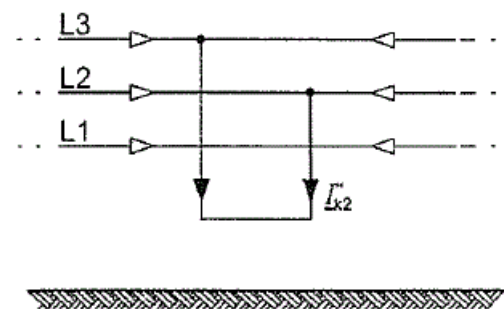
5.3 DRUHY ZKRATŮ

- Souměrné
- Nesouměrné

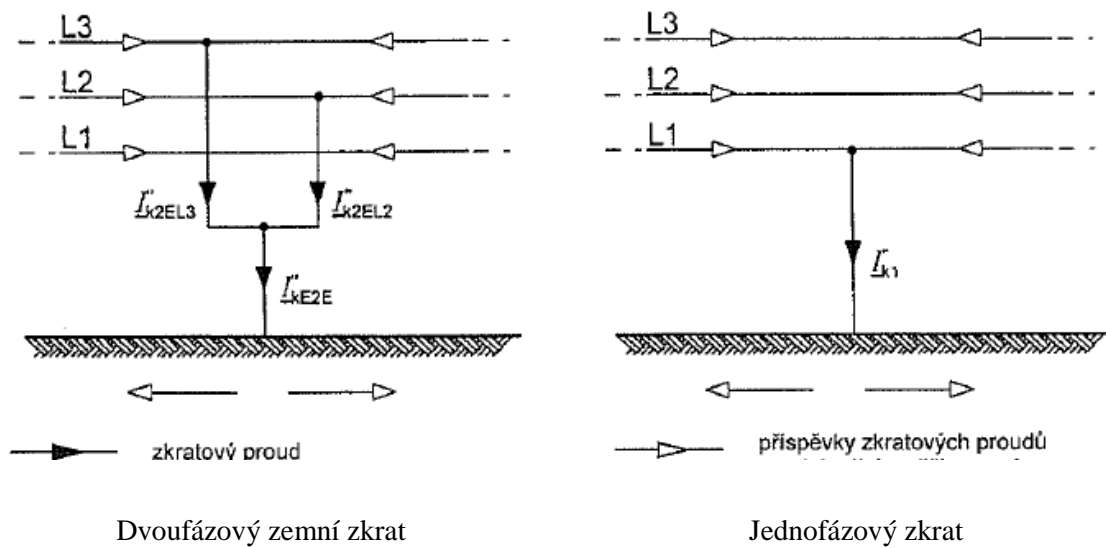
Mezi souměrné zkraty patří zkrat trojfázový, ostatní druhy zkratů se řadí mezi zkraty nesouměrné viz obr 18.



Souměrný trojfázový zkrat



Dvoufázový zkrat



Obr. 18 Druhy elektrických zkratů [5]

5.4 DIMENZOVÁNÍ ZAŘÍZENÍ NA ÚČINKY ZKRATOVÝCH PROUDŮ

Účelem správného návrhu elektrického zařízení je také odolnost na silové a tepelné namáhání zkratovými proudy. Dynamické síly vznikají elektromagnetickým působením proudů ve vodičích a jsou jím přímo úměrné. První amplituda zkratového proudu tzv. nárazový (dynamický) zkratový proud způsobuje největší silový ráz. Je důležité kontrolovat holé profilové a pevně uložené vodiče na mechanické namáhání dynamických účinků zkratových proudů.

- **Silové účinky zkratového proudu**

Odolnost vodičů na silové účinky zkratových proudů lze vyjádřit vztahem:

$$F = \frac{k_1 k_2 I_{km}^2 l}{\alpha} \quad (\text{N})$$

kde: k_1 ... respektuje tvar vodiče

k_2 ... respektuje uspořádání vodičů

l ... délka vodiče (m)

a ... vzdálenost vodičů (m)

F ... tzv. ohybová síla způsobující ohybové namáhání σ

$$\sigma = \frac{F \cdot l}{W_0} \quad \text{musí být splněna podmínka: } \sigma \leq \sigma_{dovol}$$

$$W_0 \cong \frac{F \cdot l}{\sigma_{dovol}}$$

kde: W_0 ... je průřezová plocha kolmá na směr F

σ_{dovol} ... namáhání odvozené z meze průtažnosti

Silovým účinkům musí odolávat jednak vodiče, ale také všechny konstrukční prvky včetně izolátorů.

- **Tepelné účinky zkratového proudu** – jsou dány působením časově proměnného zkratového proudu po dobu trvání zkratu t_k na vodič. Vyjadřují se pomocí tzv. ekvivalentního oteplovacího zkratového proudu I_{ke} , což je konstantní proud, který způsobí ve stejném čase stejné oteplení vodiče jako proměnný zkratový proud.

$$I_{ke} = k_e I_k'' \quad (\text{kA})$$

kde: k_e ... konstanta závislá na době zkratu – norma ČSN 38 04 11

Správné dimenzování musí vyhovět této podmínce:

$$S \text{ (mm}^2\text{)} \geq \frac{I_{ke} \text{ (A)} \sqrt{t_k}}{K}$$

kde: K ... je materiálová konstanta

t_k ... doba trvání zkratu

5.5 DŮVODY PRO VÝPOČET ZKRATOVÝCH PROUDŮ

Velikost zkratového proudu potřebujeme znát z důvodů dimenzování elektrického

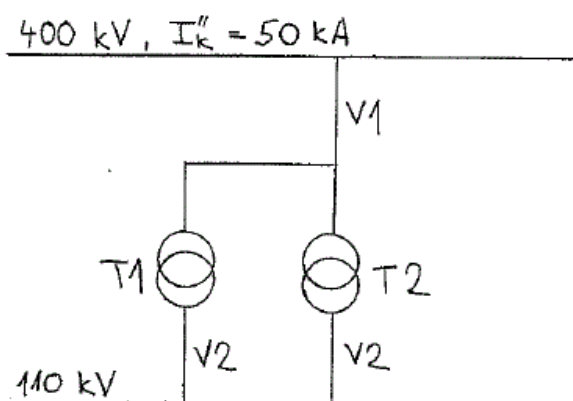
zařízení. Snažíme se vždy dimenzovat na největší možný zkratový proud, na trojfázový zkrat, i když tento zkrat se v sítích vvn vyskytuje pouze v 1 % případů.

Z hlediska dimenzování elektrického zařízení zjišťujeme maximální hodnotu zkratového proudu.

Z hlediska nastavení elektrických ochran nás zajímá minimální zkratový proud, tak aby došlo ke spolehlivému vypnutí poškozené části vedení.

Příklad výpočtu trojfázového zkratového proudu:

vypočítejte rázový zkratový proud I_k'' na přípojnicích 110 kV rozvodny v transformovně 400/110 kV, viz obr. 19.



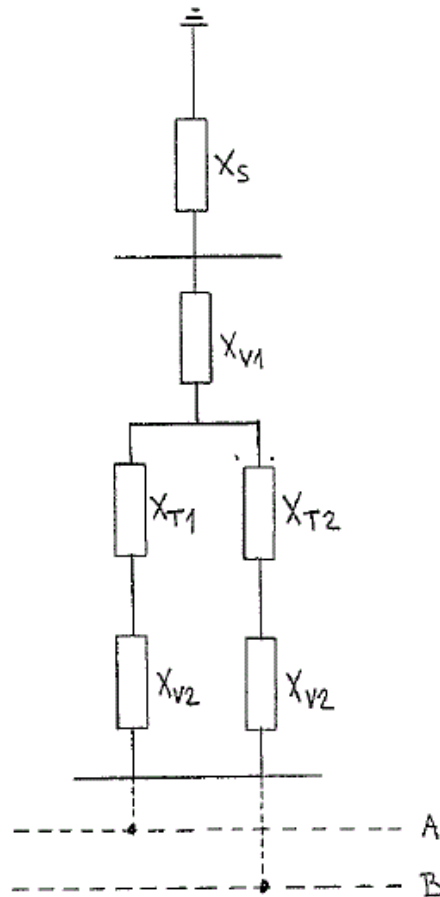
Obr. 19 Zjednodušené schéma rozvodny

Parametry prvků jsou:

$$X_{V1} = 0,3 \Omega / \text{km}, l = 30 \text{ m}, X_{V2} = 0,35 \Omega / \text{km}, l = 20 \text{ m}$$

$$S_{nT} = S_{nT1} = S_{nT2} = 350 \text{ MVA}, u_k = 10 \%$$

Zjednodušené schéma rozvodny jsme překreslili na schéma náhradní zjednodušené viz obr. 20.



Obr. 20 Náhradní zjednodušené schéma rozvodny

Výsledky budeme počítat pro **případ A** – připojení obou transformátorů na jeden přípojniový systém a pro **případ B** – připojení každého transformátoru na jiný přípojniový systém.

$$X_s = c \frac{U_n}{\sqrt{3} l_k'} \frac{1}{p^2} = 1,1 \frac{400}{\sqrt{3} 50} \frac{110^2}{400^2} = 0,38 \Omega$$

$$X_{v1} = X_k l \frac{1}{p^2} = 0,3 \cdot 0,03 \frac{110^2}{400^2} = 0,00068 \Omega$$

$$X_{V2} = X_k l = 0,35 \cdot 0,02 = 0,007 \Omega$$

$$X_T = X_{T1} = X_{T2} = \frac{u_k}{100} \frac{U_n^2}{S_{nT}} = \frac{10}{100} \frac{110^2}{350} = 3,46 \Omega$$

a) s pojmenovanými veličinami:

Výpočet X_c

$$\text{Případ A: } X_c = X_s + X_{V1} + \left(\frac{1}{X_{T1} + X_{V2}} + \frac{1}{X_{T2} + X_{V2}} \right)^{-1}$$

$$X_c = 0,38 + 0,00068 + \left(\frac{1}{3,46+0,007} + \frac{1}{3,46+0,007} \right)^{-1}$$

$$X_c = 2,11 \Omega$$

$$\text{Případ B: } X_c = X_s + X_{V1} + X_T + X_{V2} = 0,38 + 0,00068 + 3,46 + 0,007$$

$$X_c = 3,85 \Omega$$

$$\text{Výpočet } I_k'' = \frac{U_{vyp}}{X_c} = \frac{c U_n}{\sqrt{3} X_c}$$

$$\text{Případ A: } I_k'' = \frac{1,1 \cdot 110}{\sqrt{3} \cdot 2,11} = 33,11 \text{ kA}$$

$$\text{Případ B: } I_k'' = \frac{1,1 \cdot 110}{\sqrt{3} \cdot 3,85} = 18,15 \text{ kA}$$

b) s poměrnými jednotkami:

Pro odlišení vyjádříme znak reaktance s malým písmenem a také určíme vztažný výkon $S_v = 350 \text{ MVA}$

Uvažujeme výpočet s fiktivním převodem $p = 1$

$$x_s = \frac{c \cdot S_v}{\sqrt{3} \cdot I_k'' \cdot U_n} \frac{1}{p^2} = \frac{1,1 \cdot 350}{\sqrt{3} \cdot 50 \cdot 400} \frac{1}{1^2} = 0,011$$

$$x_{v1} = X(\Omega) \frac{S_v}{U_n^2} \frac{1}{p^2} = 0,3 \cdot 0,03 \cdot \frac{350}{400^2} \frac{1}{1^2} = 0,0000197$$

$$x_T = \frac{u_k}{100} \frac{S_v}{S_n} \frac{1}{p^2} = \frac{10}{100} \frac{350}{350} \frac{1}{1^2} = 0,1$$

$$x_{v2} = X(\Omega) \frac{S_v}{U_{2n}^2} = 0,35 \cdot 0,02 \cdot \frac{350}{110^2} = 0,000203$$

Případ A: $x_c = x_s + x_{v1} + \frac{x_T + x_{v2}}{2}$

$$x_c = 0,011 + 0,0000197 + \frac{0,1 + 0,000203}{2} = 0,06112$$

Případ B: $x_c = x_s + x_{v1} + x_T + x_{v2}$

$$x_c = 0,011 + 0,0000197 + 0,1 + 0,000203 = 0,111$$

Výpočet $I_k'' = \frac{1}{x_c} c \frac{S_v}{\sqrt{3} U_{2n}}$

Případ A: $I_k'' = \frac{1}{0,061} 1,1 \frac{350}{\sqrt{3} 110} = 33,12 \text{ kA}$

Případ B: $I_k'' = \frac{1}{0,111} 1,1 \frac{350}{\sqrt{3} 110} = 18,21 \text{ kA}$

Z uvedeného příkladu výpočtu plyne toto zjištění:

- Výpočet s pojmenovanými i poměrnými hodnotami vede ke stejným výsledkům, malé rozdíly nastanou pouze vlivem zaokrouhlování.

- U zapojení obou transformátorů do jednoho přípojnicového systému vede k zhruba dvojnásobným zkratovým proudům. Musíme tedy vždy uvážit jaký způsob provozu je pro nás výhodnější z hlediska dimenzování přípojnic a přístrojů v rozvodně. [3]

6 MĚŘENÉ VELIČINY DŮLEŽITÉ PRO FUNKCI STANICE

Elektrické stanice jsou vzhledem k výraznému rozvoji mikroprocesorové techniky a použití moderních přístrojů a zařízení, které nevyžaduje každodenní přítomnost obsluhy, provozovány jako bezobslužné. To vyžaduje řízení ze vzdálených dispečinků, proto je důležité, aby měl dispečer kompletní přehled o všech veličinách potřebných pro provoz stanice. Jedná se o základní signály pro ovládání rozvodny, měření elektrických veličin, které mají přímou souvislost s přenášenou elektrickou energií, a mnoho dalších doplňkových informací z vlastních spotřeb až po zabezpečení objektu.

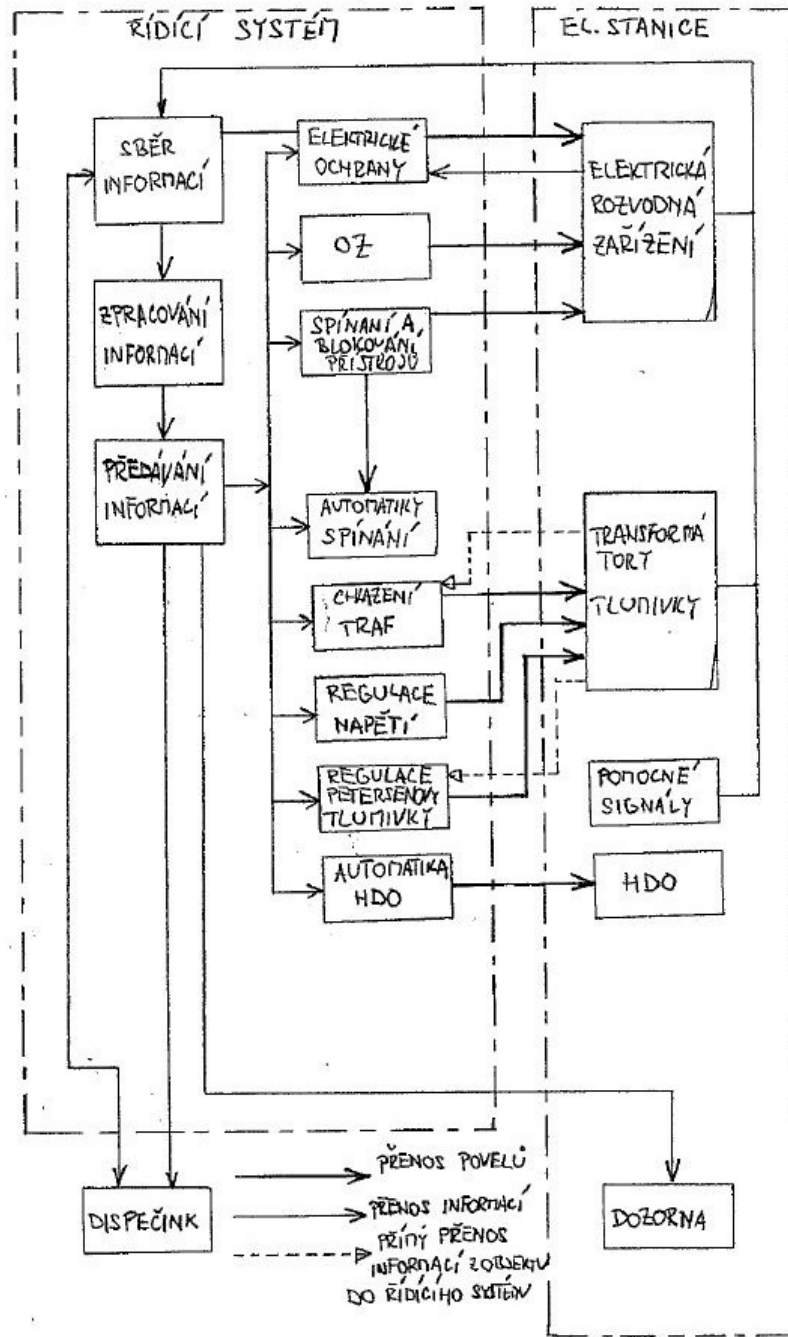
6.1 PROVOZNÍ SITUACE

Řízení provozu elektrické stanice se odehrává ve všech možných situacích, které jsou však svým charakterem zcela odlišné a je potřeba těmto situacím řízení přizpůsobit. Na základě získaných vstupních parametrů z elektrických stanic jsou definovány jednotlivé části řídicích funkcí. Druhy možných provozních situací můžeme rozdělit do čtyř skupin.

- **Normální provozní situace** – vyráběná a dodávaná elektrická energie má dodrženy všechny technické parametry, také jsou splněny podmínky kvality, spolehlivosti a hospodárnosti.
- **Provozní situace mimo normované podmínky** – podmínky normálního provozního stavu nejsou splněny.
- **Havarijní situace** – nastává poruchový přechodný děj vlivem poruchových změn stavu soustavy.
- **Pohavarijní situace** – je stav po uplynutí přechodného jevu havárie. Je potřeba převést elektrizační soustavu na normální provozní situace.

6.2 ŘÍZENÍ PROVOZU ELEKTRICKÉ STANICE

Řízení provozu rozdělujeme do určitých skupin podle toho, k jakým účelům se řízení provádí, viz obr. 21.



Obr. 21 Blokové schéma řídicích funkcí a vazeb

- **Skupina elektrických rozvodných zařízení** – do této skupiny patří transformátory, elektrické ochrany, tlumivky. Zde se uskutečňují základní funkce

normálního provozu i poruchových stavů.

- **Změny konfigurace** – provozní tzn. manipulace s vypínači a odpojovači na příkaz.
- **Sběr dat** – charakterizují provoz stavových veličin, jako jsou stavy vypínačů, pozice regulátorů, měřených veličin (U, I, P, Q, f, teploty vinutí transformátorů, sledování čtvrt hodinového maxima, odečty elektroměrů).
- **Sledování regulačních veličin** – regulace napětí přepínáním odboček transformátoru, o kompenzaci kapacitních proudů tlumivkou.
- **Skupina pomocných a společných zařízení** – jedná se o vlastní spotřebu stanice se zálohováním, pomocné provozy transformátorů (chlazení a využívání odpadního tepla), klimatizaci budov, osvětlení prostorů. Provoz těchto zařízení je převážně automatický, sledujeme pouze důležitá data, které signalizují poruchu nebo možnost vzniku poruchy.
- **Dozorna** – zde jsou umístěny zařízení pro sledování provozních veličin, jako jsou schéma rozvodny, stavy spínacích přístrojů, poruchová hlášení. Stejně jako ovládání spínačů je dnes zobrazováno a prováděno pomocí řídicího terminálu na bázi počítačové techniky. U současných bezobslužných stanic dozorna jako taková je používána k ovládání stanice jen v mimořádných situacích při nefunkčnosti dálkového ovládání z dispečinku. [1]

6.3 SLEDOVANÉ VELIČINY

činný výkon	P
jalový výkon	Q
elektrická práce	A
sdužené napětí	U
proud	I
rozdíl napětí	δU
rozdíl frekvence	δf

Veličiny δU a δf musíme znát v případě spínacích procesů, kdy chceme sepnout napětí ze dvou různých zdrojů, které mohou mít rozdílnou frekvenci a velikost napětí. Abychom mohli sepnout do zokruhované sítě, tak tyto hodnoty musejí být takové, aby se po sepnutí spojily a síť držela pohromadě. V případě, že je snaha ze sítě odebírat více výkonu než se do ní dodává, tak nastává klesání frekvence a to je nežádoucí jev. Z tohoto důvodu musíme reagovat a začít odpojovat některé odběry, jinak by hrozilo rozpadnutí soustavy, protože se rozhodí poměry na odběrech a ve výrobě. Pokud by problém trval déle, hrozil by blackout. Tolerance frekvence sítě je udávána 0,5 Hz. Je nutné dodržovat určité standardy kvality dodávky elektrické energie, neboť některé provozy jsou na parametry dodávané elektřiny velmi citlivé.

ZÁVĚR

Cílem mé práce bylo seznámit veřejnost s funkcí současné bezobslužné elektrické rozvodné stanice.

V průběhu přípravy diplomové práce jsem měl možnost průběžně konzultovat danou problematiku elektrických stanic s pracovníky výcvikového střediska v rozvodně 400/110 kV Přeštice. V této stanici jsem během exkurze viděl rozvodny všech napěťových úrovní, z nichž rozvodna 110 kV byla ještě částečně v rekonstrukci. Veškeré své poznatky jsem následně zúročil v mé diplomové práci.

Spolupráce s odborníky byla pro mne velmi přínosná a na základě této zkušenosti jsem se snažil uvést čtenáře nejen do problematiky provozu elektrických stanic, použitých schémat, výpočtů zkratových proudů z pohledu dimenzování zařízení a nastavení ochran, ale též zdůvodnit výběr měřených veličin pro spolehlivý provoz stanic.

Vypracováním této diplomové práce jsem si výrazně prohloubil odborné znalosti z oblasti elektrických stanic, ať už na úrovni nejvyšších napětí v přenosu, tak i nižších napětí v distribuci.

Závěrem musím konstatovat, že od doby, kdy jsem pracoval jako obsluha elektrické stanice se provoz i elektrické zařízení rozvodů výrazně zmodernizovalo a jednotlivé prvky elektrického zařízení a řídicích systémů jsou v současné době na takové úrovni, že nám dovolují provozovat elektrické stanice jako bezobslužné a plně řízené z příslušných dispečinků.

SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

- [1] MERTLOVÁ, Jiřina a NOHÁČOVÁ, Lucie. *Elektrické stanice a vedení*, 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2008. 170 s. ISBN 978-80-7043-724-7.
- [2] HOLIŠ, René a KONEČNÝ, Milan a GALETKA, Martin a ULLMAN, Ivo. 2014. *Přenosová soustava České Republiky*. [online]. Poslední aktualizace 2014 [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <<http://partnerstvi-energetiky.msek.cz/wp-content/uploads/2013/01/01-Prenosova-soustava-Ceske-republiky.pdf>>.
- [3] MERTLOVÁ, Jiřina a HEJTMÁNKOVÁ, Pavla a TAJTL, Tomáš. *Teorie přenosu a rozvodu elektrické energie*, 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2008. 190 s. ISBN 978-80-7043-307-2.
- [4] ČEPS a.s. 2016. *Technická infrastruktura*. [online]. Poslední aktualizace 2016 [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <<http://www.ceps.cz/CZE/Cinnosti/Technicka-infrastruktura/Stranky/default.aspx>>.
- [5] ČSN EN 60909. *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách*, Praha: Český normalizační institut, 2002. 64s.
- [6] BÁRTA, Karel a VOSTRACKÝ, Zdeněk. *Spínací přístroje velmi vysokého napětí*, 1. vyd. Praha: SNTL – nakladatelství technické literatury, 1983. 448 s.
- [7] Siemens s.r.o. *Průvodce energetikou*, Edice 6.1. Praha, 2012. 455 s.
- [8] GRYM, Rudolf a HOCHMAN, Petr a BERMAN, Jiří a MACHOŇ, Josef a CICHONĚ, Břetislav. *Chránění II*, Ostrava: IRIS, 2004. 305 s. ISBN 80-903540-0-9.