



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická
Katedra elektroenergetiky

Koncepce řešení vlastní spotřeby ve stanicích přenosové soustavy

Auxiliary Design Concept in Transmission System Substations

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Obor: Elektroenergetika

Vedoucí práce: Ing. Jan Špetlík, Ph.D.

Bc. Václav Sládek

Praha 2014

Zadání!

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci *Koncepce řešení vlastní spotřeby ve stanicích přenosové soustavy* vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Špetlíka, Ph.D. a uvedl v ní všechny použité literární a jiné odborné zdroje.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 10. května 2014

vlastnoruční podpis autora

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Janu Špetlíkovi, Ph.D. za cenné připomínky a odborné rady, kterými přispěl k vypracování této diplomové práce. Dále děkuji projektantovi Jiřímu Hladíkovi, z oddělení sekundární techniky ze společnosti Energo Ekoprojekt Turnov, za poskytnuté informace a také celé své rodině za důležitou podporu při studiu.

Abstrakt

Úkolem této diplomové práce je navrhnout koncepcce připojení vlastní spotřeby ve stanici přenosové soustavy Verněřov a koncepcce porovnat. Dalším úkolem je navrhnout transformátor vlastní spotřeby a diesegenerátor.

V první části diplomové práce jsou teoretické podklady o stanicích přenosové soustavy a způsob řešení vlastní spotřeby podle norem provozovatele přenosové soustavy. Další teoretická část je věnována výpočtu zkratových proudů a jejich vlivu na připojení vlastní spotřeby. V poslední teoretické části jsou uvedeny způsoby návrhu transformátoru a nouzového zdroje vlastní spotřeby.

Ze zadaných údajů je vypočtena velikost ekvivalentního oteplovacího a dynamického zkratového proudu, které jsou důležité pro dimenzování připojení vlastní spotřeby. Jmenovité napětí 10,5 kV, které je typické pro připojení vlastní spotřeby, porovnám s připojením o jmenovitém napětí 35 kV. Připojení o vyšším jmenovitém napětí má mnohem menší nároky ohledně dimenzování. Silové namáhání tuhých vodičů i podpěrného systému je menší.

Poslední částí diplomové práce je výkonové dimenzování transformátoru vlastní spotřeby a dieselgenerátoru. Oba zdroje jsou ověřeny na úbytky napětí, protože musí splňovat normou stanovené požadavky.

KLÍČOVÁ SLOVA: vlastní spotřeba; zkratové proudy; dimenzování připojení

Abstract

The target of the diploma thesis is auxiliary design concept in transmission system substation Verněřov and these conceptual solutions to compare. The next target is to design the transformer of auxiliary and the dieselgenerator.

In the first part of the diploma thesis there are theoretical principles about transmission system substations and method of solution auxiliary accordance with the standards of the transmission system operator. Next theoretical part contains calculation of short circuit currents and their effect on the connection of auxiliary. Last theoretical part contains different method design of transformer and emergency source of auxiliary.

From the input data is calculated the value of thermal equivalent short circuit current and making current which are important to design connection of auxiliary. The nominal voltage 10,5 kV, which is typical to connection of auxiliary, compare with connection of nominal voltage 35 kV. The connection of higher nominal voltage has much more lower demands to design. The conductor stress and the forces on the substructures are lower.

The last part of diploma thesis contains power design of transformer and dieselgenerator. Both sources are checked to voltage drops, because they must meet standards set requirements.

KEY WORDS: Auxiliary; Short circuit currents; Design of connection

OBSAH

1.	Úvod	9
2.	Stanice přenosové soustavy	11
2.1	System přípojnic	12
2.1.1	Jednoduchý systém přípojnic	13
2.1.2	Dvojitý systém přípojnic	14
2.2	Provedení zařízení nn	15
2.3	Provedení zařízení vn	16
2.4	Autotransformátor	19
3.	Zásady řešení VS dle PPS	20
3.1	Kategorie zařízení VS	20
3.1.1	Střídavé sítě VS	21
3.1.2	Stejnosemné sítě VS	23
3.2	Způsob spolupráce a provoz VS	23
3.3	Požadavky na zařízení	25
3.3.1	Požadavky na zařízení v terciáru autotransformátoru	25
4.	Zásady dimenzování	27
4.1	Dimenzování dle dovolené provozní teploty	27
4.1.1	Charakteristika vodiče	28
4.1.2	Charakteristika provozu	28
4.1.3	Charakteristika prostředí	29
4.1.4	Charakteristika uložení	29
4.2	Dimenzování průřezu vodiče z hlediska hospodárnosti	31
4.3	Dimenzování podle mechanické pevnosti	32
4.4	Dimenzování podle úbytku napětí	33
5.	Zkratové proudy	34
5.1	Tlumivka pro omezení proudu	34

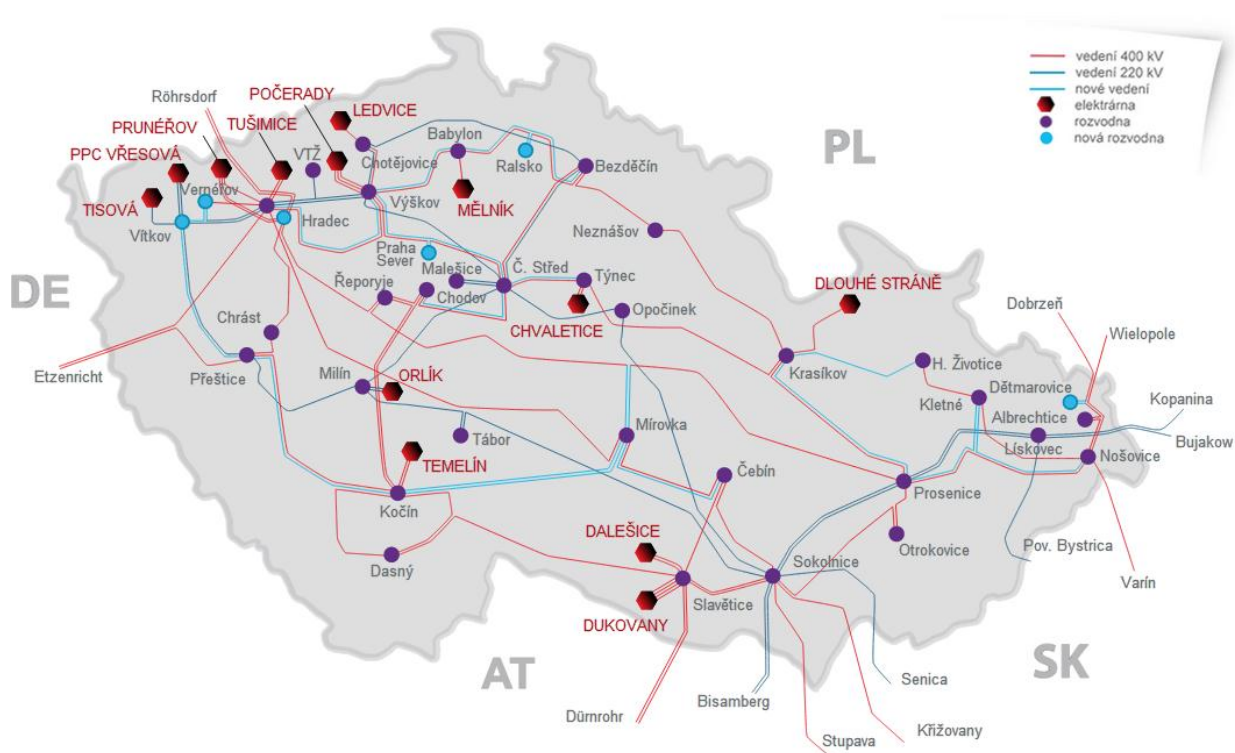
5.1.1	Konstrukce vzduchové cívky	34
5.2	Dimenzování podle tepelných účinků zkratových proudů	35
5.3	Dimenzování podle dynamických účinků zkratových proudů	37
5.3.1	Výpočet namáhání tuhých vodičů	39
5.3.2	Síly působící na podpěry vodiče	41
5.3.3	Výpočet vlastního kmitočtu.....	42
5.4	Určení hodnot zkratových proudů	43
6.	Dimenzování zdroje	46
6.1	Transformátor VS	46
6.1.1	Úbytky napětí při samonajíždění VS	46
6.1.2	Úbytek napětí při spouštění největšího spotřebiče VS	47
6.2	Dieselgenerátor (DG)	48
7.	Rozvodna Vernéřov - praktická část.....	53
7.1	Kontrola zkratových proudů	54
7.2	Dimenzování připojení VS.....	60
7.3	Návrh transformátoru vlastní spotřeby	65
7.3.1	Úbytky napětí při samonajíždění VS přes transformátor	65
7.3.2	Úbytky napětí při spouštění největšího spotřebiče přes transformátor	66
7.4	Návrh dieselgenerátoru	67
7.4.1	Úbytky napětí při spouštění přes DG	68
8.	Závěr	70
9.	Přílohy	74
9.1	Příloha 1 – Zásady řešení VS dle PPS	74
9.2	Příloha 2 – Zásady dimenzování	75
9.3	Příloha 3 – Zkratové proudy	79

1. Úvod

Do počátku 20. století nebylo rozvodných ani přenosových soustav potřeba, protože se elektřina vyráběla lokálně v místě spotřeby. První rozvodné systémy a elektrárny začali vznikat v počátcích minulého století. Můžeme říci, že současná podoba přenosové soustavy byla dokončena v 80. letech minulého století.

Přenosová soustava je tvořena hlavně vedením 400 kV a 220 kV, kde výstavba vedení nižšího napětí byla ukončena v 70. letech. Do přenosové soustavy dále zahrnujeme 41 rozveden se 71 transformátory pro napěťovou hladinu 400 kV i 220 kV. Přenosová soustava slouží k přenosu elektřiny z elektráren po celé České republice i do sousedních států. Z přenosové soustavy je elektřina transformována do soustav distribučních a dále putuje až k samotnému spotřebiteli. O tématu spojeném s distribuční soustavou a způsobem projekce na hladině nízkého napětí jsem psal v mé bakalářské práci. Proto jsem se rozhodl v diplomové práci (DP) zajímat o stanice v přenosové soustavě. Speciálně o problémy spojené s vlastní spotřebou v těchto stanicích.

Hned na úvod jsem vložil obrázek 1, kde vidíme přenosovou soustavu České republiky včetně rozveden. Modře znázorněné vedení a rozvodny jsou otázkou budoucnosti v horizontu deseti let. Pro spolehlivý chod celé elektrizační soustavy je plánování rozvoje přenosové soustavy jednou z důležitých činností, kterou má na starost podle energetického zákona provozovatel přenosové soustavy (PPS). Jedna z plánovaných nových rozveden 400 kV je rozvodna Verněřov na severozápadě České republiky. Její výstavba je plánována v rozmezí let 2015 - 2017.



Obrázek 1: Interaktivní mapa rozvoje přenosové soustavy ČR v desetiletém výhledu

V diplomové práci se věnuji teorii ohledně řešení celých rozvodů, kde se ale speciálně zaměřuji na řešení připojení vlastní spotřeby a způsob provozu vlastní spotřeby. Důležitou částí je problematika dimenzování, zejména s ohledem na účinky zkratových proudů.

Vlastní spotřeba bude vyvedená z terciárního vinutí autotransformátoru s převodem napětí 400/110 kV. Vlastní spotřeba má napěťovou hladinu 10,5 kV. Mým cílem je dimenzovat připojení vlastní spotřeby, které je spojeno s velkými účinky zkratových dynamických proudů. Toto celé řešení porovnám s variantou, kde napěťová hladina připojení vlastní spotřeby bude 35 kV. Dále navrhnu transformátor vlastní spotřeby a dieselgenerátor. [1]

2. Stanice přenosové soustavy

Elektrické stanice přenosové soustavy se dělí dle různých hledisek. V mé DP je uvažována transformovna, což je dělení podle účelu a jak už napovídá název této kapitoly, jedná se o elektrickou stanici v přenosové soustavě, což je dělení podle umístění elektrické stanice.

Rozvodné zařízení v elektrické stanici plní důležitý úkol, kterým je rozvádět elektrickou energii. Zahrnuje všechny přístroje potřebné k rozvodu elektrické energie. Jsou seřazené a zapojené podle schématu a dimenzovány podle těchto základních veličin:

- Největší provozní napětí příslušné ke jmenovité hodnotě napětí
- Jmenovitý proud
- Zkratová odolnost (tepelné a dynamické účinky zkratového proudu)

Rozvodné zařízení se skládá z přípojnic a odboček, kde jsou přípojnice holé, tuhé nebo lanové vodiče. Přípojnicový systém je tvořen souborem několika přípojnic. Energie k přípojnici je přivedena i odvedena pomocí odbočky. Každá odbočka je soubor propojených přístrojů, které slouží ke spínání, měření a ochraně vývodu i přívodu elektrické energie. Odbočky slouží i ke spínání přípojnic, vývodu k měřícím transformátorům, k bleskojistkám nebo napájení vlastní spotřeby. Každá odbočka obsahuje něco ze základního zařízení:

- Spínač, který má vypínací a zapínací funkci. Podle důležitosti to může být vypínač, odpínač či odpojovač.
- Přípojnicový odpojovač, který slouží k viditelnému oddělení odbočky od přípojnicového systému.
- Vývodový odpojovač, který slouží také k viditelnému oddělení venkovního nebo kabelového vedení od rozvodny. Bývá vybaven zemnicími noži.
- Měřící transformátory proudu a napětí. Instalace záleží na charakteru, důležitosti a požadavku na měření odbočky.
- Elektrické ochrany.

Schéma rozvodných zařízení se volí co nejjednodušší a přehledné podle požadavků provozu, s ohledem na bezpečnost a hospodárnost. Bezpečností se rozumí bezpečnost před úrazem¹ a bezpečnost provozní². Ohledně hospodárnosti musí být schéma zapojení co nejméně náročné na materiál a zastavěný prostor. Obecně vzato se doporučuje rozvodnu řešit takovým způsobem, aby součet nákladů na pořízení a nákladů vyvolaných nefunkčností rozvodny byl minimální.

2.1 Systém přípojníc

Moje DP řeší pouze část vlastní spotřeby, kde se také nacházejí systémy přípojníc. Proto se nebudu soustředit na přípojnice v zařízení zvn (zvláště vysoké napětí) a vvn (velmi vysoké napětí), ale pouze vn (vysoké napětí) a nn (nízké napětí), které se provádí z holých plochých tyčí a nejčastěji z vodičů profilových. Průřez, vzdálenost a uložení přípojníc se volí s ohledem na požadavky dimenzování. Dimenzování jsou věnovány kapitoly 4, 5.2 a 5.3.

Dalším velmi důležitým požadavkem na způsob zapojení je stupeň důležitosti zapojených zařízení. Dodávka elektrické energie se dělí do skupin podle důležitosti:

- První stupeň důležitosti:
Zde jsou zapojeny zařízení (spotřebiče), které musí být napájeny za každých okolností, protože jejich nefunkčností může dojít k ohrožení lidských životů a k velkým hospodářským ztrátám. Zařízení musí být napájeno ze dvou nezávislých zdrojů. Každý zdroj musí být schopen bez problémů napájet všechna zařízení zapojená v prvním stupni důležitosti.
- Druhý stupeň důležitosti:
Dodávka elektrické energie musí být také zajištěna v poruchových stavech. Zde je ovšem povolen výpadek elektrického proudu trvajících několik sekund nebo jednotek minut. Způsob napájení je proveden zálohováním.
- Třetí stupeň důležitosti:
Při poruchovém stavu nemusí být zajištěna dodávka elektrické energie. Napájení zařízení zapojeného v třetím stupni důležitosti je z jednoho zdroje s absencí zálohování.

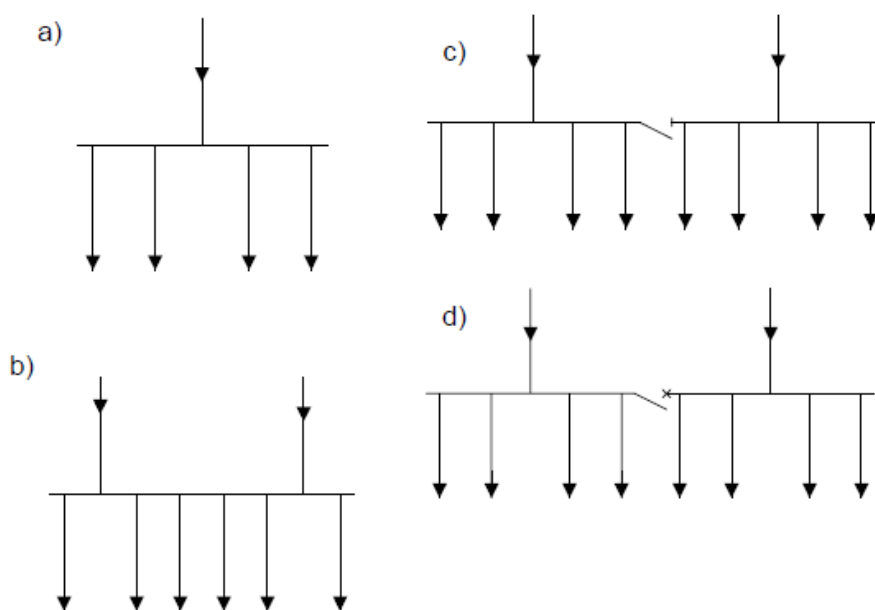
¹ Jedná se o souhrn opatření zajišťující ochranu osob před úrazem elektrickým proudem.

² Zařízení musí být přehledné, jednoduché a hlavně spolehlivé a musí být zajištěno proti chybným manipulacím.

2.1.1 Jednoduchý systém přípojnic

Jednoduchým systémem přípojnic jsou připojeny spotřebiče třetího stupně důležitosti. Není tedy požadavek na nepřerušovaný provoz při revizi nebo opravě. Pokud požadujeme zajištěné napájení, je možné podélnou přípojnici rozdělit na sekce. Podélný spínač je sepnut v případě výpadku jedné z přívodních odboček. Pokud není přípustná paralelní spolupráce dvou zdrojů, musí být podélný spínač blokován proti oběma zapnutým přívodním vypínačům. Na obrázku 2 jsou znázorněna nejpoužívanější schémata zapojení:

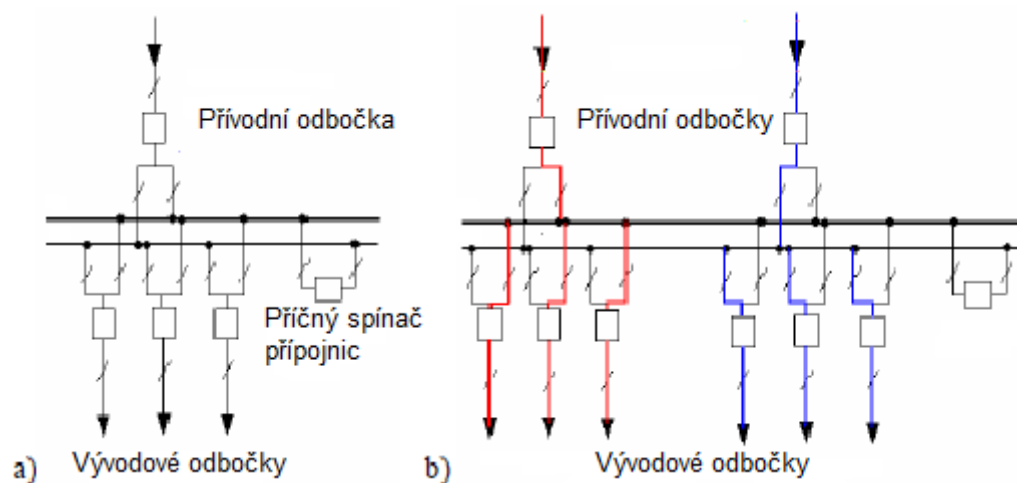
- a) Napájení z jednoho zdroje bez rezervy.
- b) Nedělený systém přípojnic se dvěma zdroji. Při poruše dochází k okamžité rezervě s ohledem na výkonové dimenzování zdroje. Revize zdroje je možná bez přerušení.
- c) Podélně dělený systém s odpojovačem. Při poruše dochází k rezervě až po sepnutí odpojovače, který nelze spínat při zatížení. Revize je možná u části zařízení.
- d) Podélně dělený systém s vypínačem. Stejné vlastnosti jako schéma c), ale rezervu je možné připojit i při zatížení.



Obrázek 2: Různé druhy jednoduchého systému přípojnic

2.1.2 Dvojitý systém přípojnic

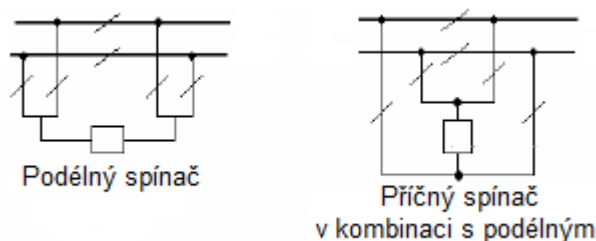
Tento systém přípojnic se používá k napájení spotřebičů, u kterých není přípustný ani krátkodobý výpadek elektřiny. Dále je provoz odboček rozdělen do dvou skupin. Důvod rozdělení odboček je např. z důvodu současného napájení ze dvou nespolupracujících zdrojů, oddělení spotřebičů stálého příkonu od spotřebičů, jejichž příkon kolísá atd. Systém musí být vybaven příčným spínačem, aby se přepojení odboček na druhý systém mohlo uskutečnit bez přerušení provozu. Obrázek 3a) znázorňuje schéma dvojitého systému přípojnic s jedním zdrojem a obrázek 3b) se dvěma zdroji.



Obrázek 3: Dvojitý systém přípojnic s jedním a se dvěma zdroji

V jednoduchém systému lze přípojnice podélně dělit do sekcí. U dvojitého systému to lze také. Podélné dělení lze zabezpečit odpojovači v přípojnici mezi sekcemi³, nebo podélným spínačem, který je vybaven vypínačem. Při použití spínače s vypínačem mohou být obě sekce v napěťovém stavu. Na obrázku 4 jsou tři různé kombinace zapojení spínání přípojnic. [2] [3]

³ Při absenci vypínače je nutné, aby jedna sekce byla v beznapěťovém stavu.



Obrázek 4: Různé kombinace zapojení spínání přípojnic u dvojitého systému

2.2 Provedení zařízení nn

Teorie o provedení zařízení na napěťové hladině nn je pro mou DP velmi důležitá, protože nejvyšší hodnota napětí za transformátorem vlastní spotřeby je 400 V.

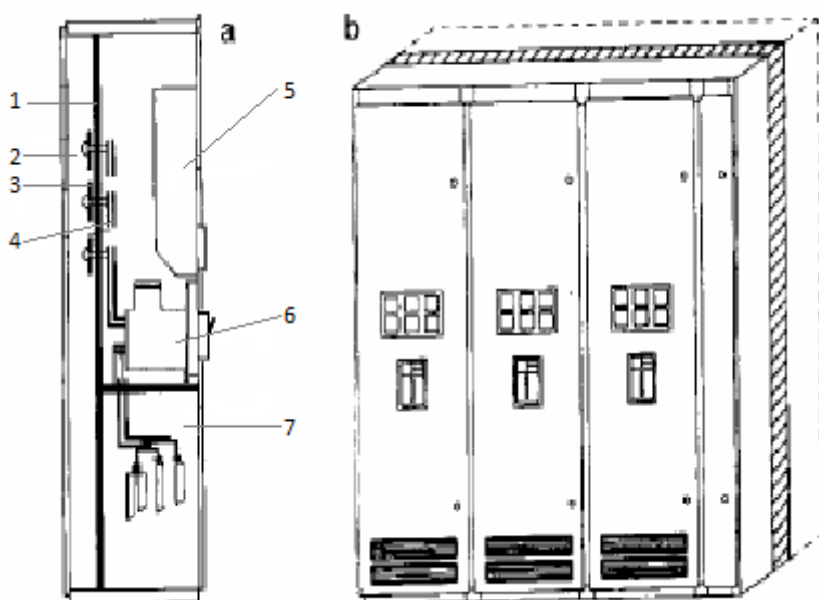
Ohledně konstrukčního provedení je zapotřebí dbát na následující požadavky:

- Bezpečnost během pracovního i poruchového stavu z hlediska izolačních vlastností, oteplení při trvalém i přechodném zatížení, zkratovou odolnost dynamickou i tepelnou, spínací schopnost použitých spínacích součástí.
- Funkčnost jednotlivých součástí (silové, měřicí, řídicí a blokovací obvody) a jejich minimální vzájemné ovlivňování.
- Snadnou obsluhu a zároveň ochranu před úrazem jak při normálním, tak poruchovém provozu.
- Omezení nepříznivých vlivů okolí (voda, oheň, prach).
- Při poruše jednoho zařízení zamezit poškození dalších částí.

Rozvodná zařízení na napěťové hladině nn jsou ve velké většině budovány jako rozvodny, ve kterých se nacházejí rozváděče. Jedná se o konstrukční jednotku elektrického zařízení, která obvykle obsahuje větší množství vestavěných přístrojů (přípojnice, spínací přístroje, ochrany, měřicí přístroje atd.). Vnitřní spoje jsou v rozváděči často vyhotoveny už ve výrobním závodě a rozváděč je takto dopraven na místo určení. Rozváděče se v oblasti nn používají k mnoha účelům, kde jedním z nich je použití ve vlastní spotřebě.

Obrázek 5 znázorňuje stavebnicový skříňový rozváděč. V pohledu b) je čárkováním šrafovaním vyznačen prostor přípojnic, který může být společný pro větší počet rozváděčů. Na řezu rozváděče, znázorněném na obrázku 5a), je vidět vnitřní rozdělení na jednotlivé sekce:

- 1 Přepážka oddělující prostor přípojnic od prostoru vypínače a kabelového připojení je určena k zabránění šíření elektrického oblouku z prostoru přípojnic
- 2 Prostor přípojnic
- 3 Hlavní přípojnice
- 4 Přípojnice odbočky jsou také odděleny přepážkou od hlavní přípojnice
- 5 Skříň měření a ochran
- 6 Vypínač
- 7 Prostor kabelového připojení

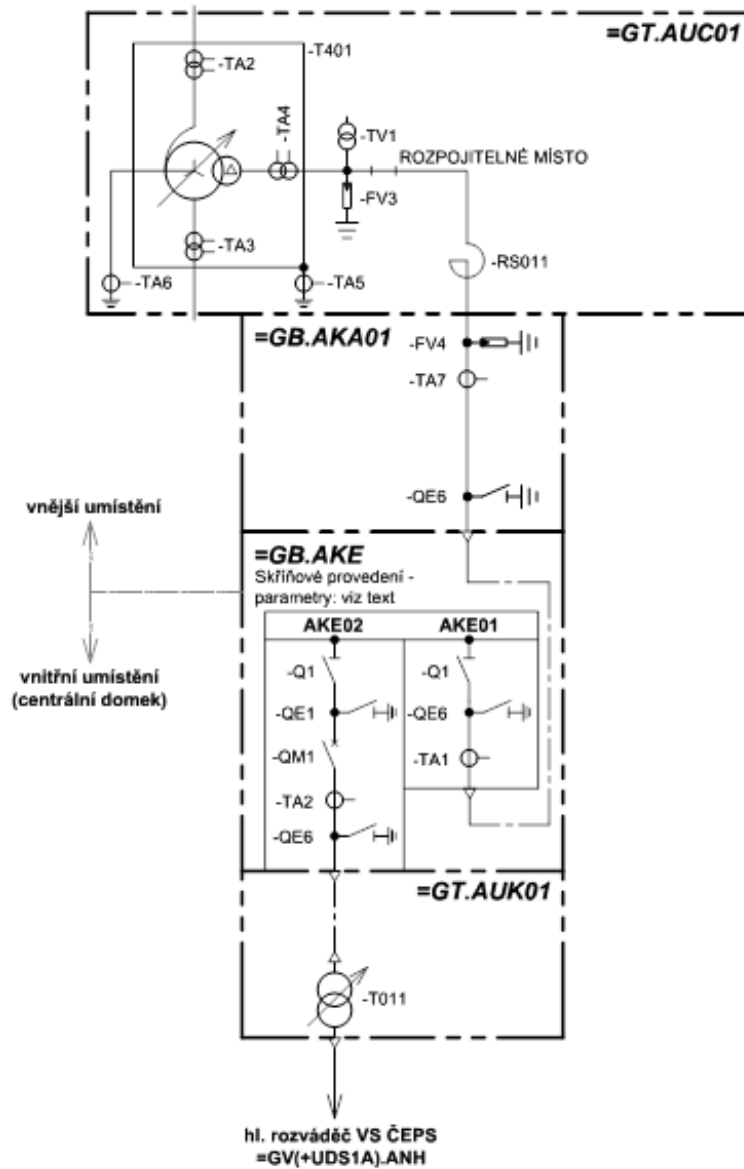


Obrázek 5: Skříňový rozvaděč, a) řez, b) čelní pohled

2.3 Provedení zařízení vn

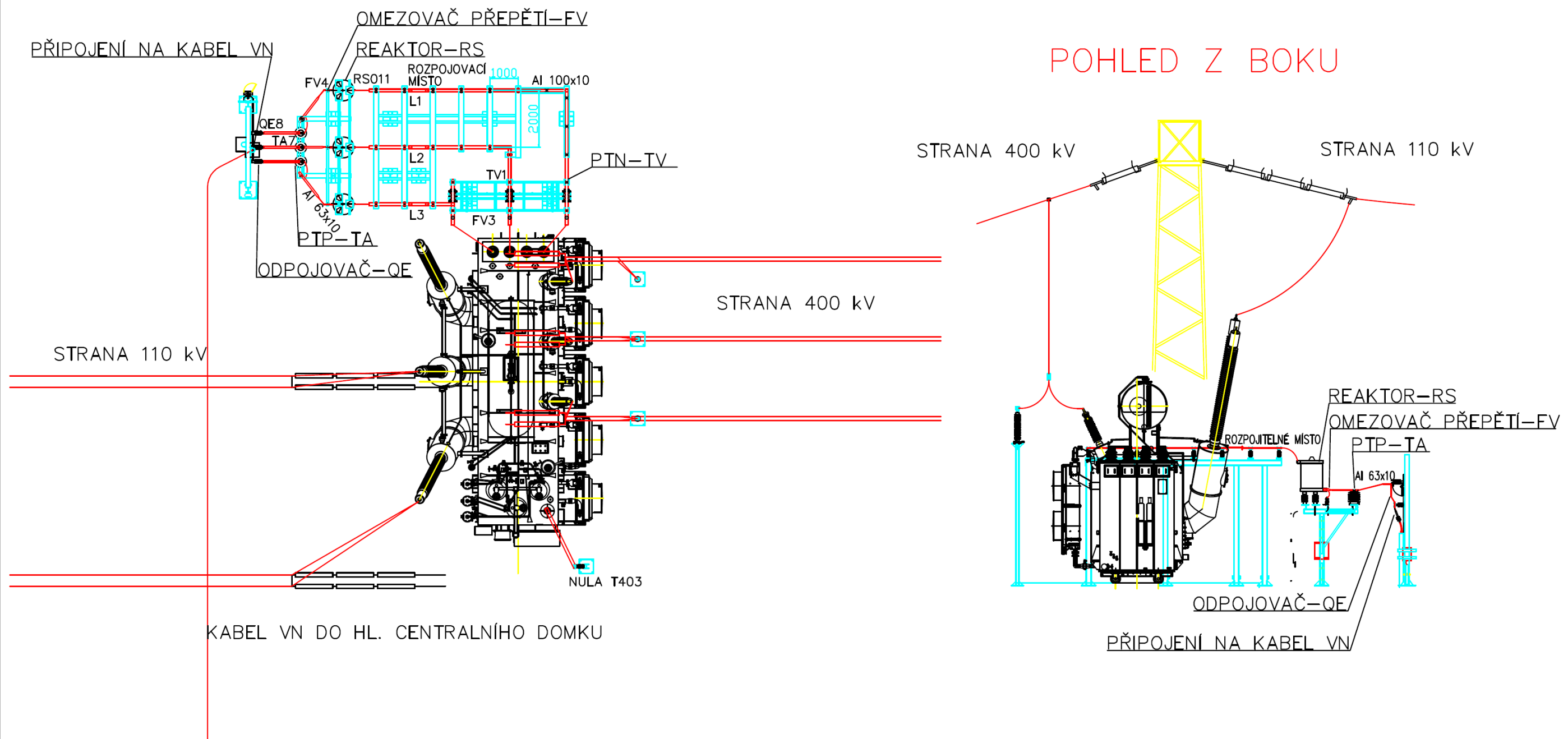
V této části DP bych se mohl rozepsat o různých typech a provedeních skříňí rozváděčů používaných na napěťové hladině vn. V mé DP ale řeším silové připojení vlastní spotřeby. Nejobtížnější částí ohledně dimenzování je vyvedení od terciárního vinutí autotransformátoru ke svorkám reaktoru. Za reaktorem velikost zkratových proudů velmi klesne a přívod do hlavního centrálního domku vlastní spotřeby je zpravidla řešen kabelem. Příklad tohoto připojení vlastní spotřeby zobrazuje obrázek 6 z normy TN-25 poskytnutou PPS. Dále uvádím obrázek 7, na kterém je znázorněno

připojení terciárního vinutí autotransfornátoru 400/110/10,5 kV k reaktoru v rozvodně Sokolnice nacházející se na jihovýchodě České Republiky viz obrázek 1. [3] [4]



Obrázek 6: Typové schéma vývodu terciárního vinutí (vývod 10 kV, bez kompenzace)

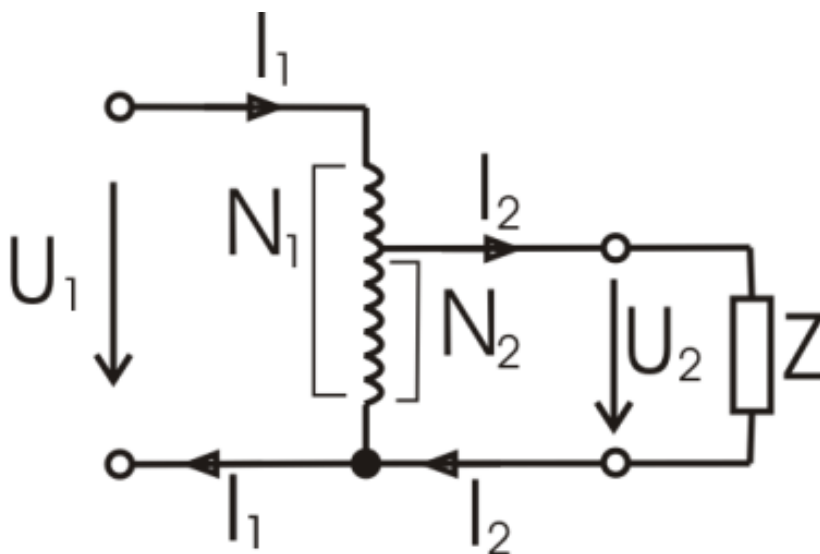
TRAFOSTANICE SOKOLNICE – DISPOZICE T403



Obrázek 7: Příklad připojení VS v rozvodně Sokolnice

2.4 Autotransformátor

Jedná se o speciální typ regulačního transformátoru s jednou cívkou pro primární i sekundární vinutí. Zjednodušené schéma znázorňuje obrázek 8, kde je vidět hlavní nevýhoda autotransformátoru, kterou je absence galvanického oddělení vinutí. Autotransformátory jsou využívány v přenosových soustavách k propojení různých napěťových hladin, např. 400 kV a 110 kV. Použití autotransformátoru je z důvodu regulace napětí na straně nižšího napětí. Autotransformátory jsou vyráběny na míru pro danou aplikaci a jsou řešeny jako tři trojvinuťové jednofázové transformátory, nebo jeden trojvinuťový trojfázový transformátor. Vinutí autotransformátoru jsou zapojená do hvězdy a terciární vinutí je spojeno do trojúhelníku. Podle údajů z webových stránek PPS je počet transformátorů 400/220 kV roven čtyřem oproti 46 transformátorům 400/110 kV. Úkoly DP řeším v rozvodně Verněřov, kde bude vlastní spotřeba napájena z terciárního vinutí autotransformátoru 400/110 kV a s výhledem do budoucna je v rozvodně plánovaný paralelní provoz dvou autotransformátorů 400/110 kV. [1] [5] [6]



Obrázek 8: Zjednodušené schéma funkce autotransformátoru

3. Zásady řešení VS dle PPS

Vlastní spotřeba (VS) je potřebná pro bezpečný provoz elektrické stanice. VS obsahuje zdroje energie a příslušné systémy rozvodů (transformátory, rozváděče, dieselgenerátory, UPS, usměrňovače, akumulátorové baterie atd.). Pro lepší orientaci uvedu typové schéma celé VS znázorněné na obrázku 23 v příloze.

V úvodu uvádím úkoly mé DP a pro jejich správné vyřešení je nezbytné znát zásady řešení a způsob provozu VS.

3.1 Kategorie zařízení VS

Pro zajištění bezpečného a hlavně správného provozu VS jsou zařízení dělena do čtyř skupin podle důležitosti jejich provozu.

- Zařízení nejvyššího významu:
Zařízení musí být trvale napájena. Nesmí u nich dojít ani ke krátkému přerušení napájení. Jsou to např. systémy ochran, různá monitorovací zařízení, telekomunikační systémy, systémy na dálkové ovládání atd.
- Důležitá zařízení:
U těchto zařízení může dojít ke krátkodobému výpadku, který trvá řádově několik milisekund nebo sekund. Jsou to např. chladicí systémy tlumivek, transformátorů, nouzové osvětlení atd.
- Normální zařízení:
Zde připouštíme přerušení napájení dlouhé několik minut. Obnovení provozu těchto zařízení se provádí automatickým, nebo i ručním přepnutím zdroje. Do této kategorie patří např. elektrické pohony vypínačů a odpojovačů, pohony kompresorů pro stlačený vzduch, usměrňovače akumulátorových baterií, osvětlení atd.
- Zařízení nižšího významu:
Zařízení, u kterých nevádí jejich nefunkčnost po dobu několika hodin i dnů.

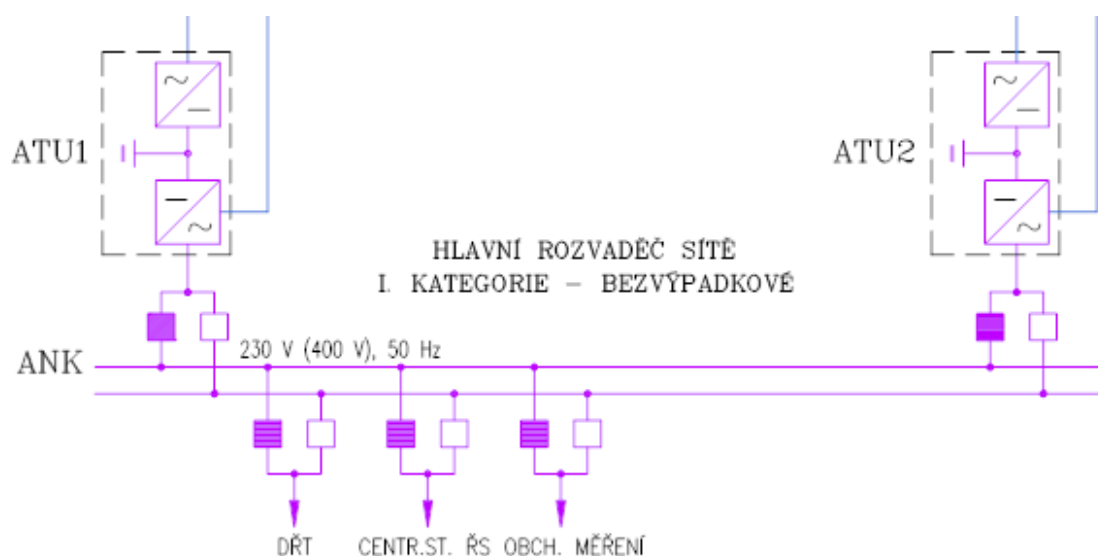
Zařízení s ohledem na důležitost jejich provozu jsou rozdělena do tří kategorií a jsou připojena na střídavou nebo stejnosměrnou napájecí síť VS.

3.1.1 Střídavé síť VS

Střídavá síť I. kategorie – bezvýpadková

Na tuto síť jsou napojeny zařízení nejvyššího významu, nesmí tedy dojít ani ke krátkému výpadku. Síť je jednofázová, výjimečně trojfázová (230 V/400 V, 50 Hz, TN-S), napájená ze dvou redundantně zapojených zdrojů nepřerušovaného napětí (UPS). Rozváděč této sítě má dva systémy přípojníc a pro každý vývod dva spínací prvky.

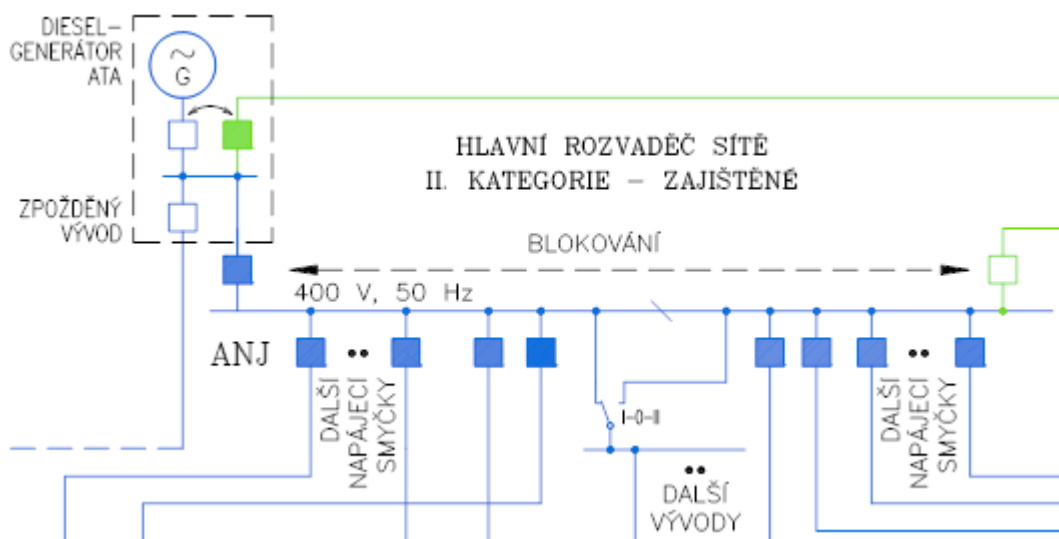
Přívody od UPS mají také dva spínací prvky a obě UPS pracují paralelně v redundantním provozu do jedné přípojnice.



Obrázek 9: Střídavé síť I. kategorie – bezvýpadková

Střídavá síť II. kategorie – zajištěná

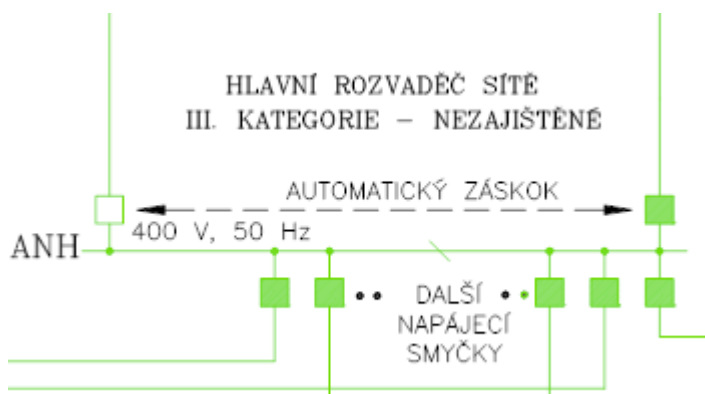
Zde jsou zapojena důležitá zařízení. Výpadek se přípouští jen na několik sekund. Síť je trojfázová (400 V, 50 Hz, TN-C, TN-S, výjimečně TN-C-S). Síť je napájena z rozváděče nezajištěné VS, ale je zálohovaná nouzovým zdrojem (dieselgenerátor). Rozváděč sítě II. kategorie má jeden systém přípojníc s podélným dělením, kdy jsou přípojnice provozovány trvale sepnuté a rozpínají se pouze při revizi. Z této sítě může být napájeno zařízení provozovatele distribuční soustavy (PDS).



Obrázek 10: Střídavá síť II. kategorie – zajištěná

Střídavá síť III. kategorie – nezajištěná

Tato síť může přijít o napájení po dobu několika minut i hodin. Nyní se dostávám do kategorie sítí, kterou jsou pro téma mé DP mnohem zajímavější. Sítě této kategorie mají napěťové hladiny 35 kV (50 Hz, IT), 10 kV (50 Hz, IT) a síť 0,4 kV (50 Hz, TN-C, TN-S, výjimečně TN-C-S). Sítě 35 kV a 10 kV jsou napájeny z terciárního vinutí autotransformátoru zvn/vvn. Síť 0,4 kV je napájena z transformátoru VS vn/nn. Transformátor VS je napájen ze sítě 35 kV nebo 10 kV a záložním zdrojem je buď druhý transformátor VS (taktéž napájen ze sítě 35 kV, nebo 10 kV), nebo vývod z rozváděče 0,4 kV ve vlastnictví PDS. Rezervním zdrojem může být i transformátor napájený z distribuční sítě PDS. Rozváděč má stejný způsob řešení přípojníc jako rozváděč sítě II. kategorie.

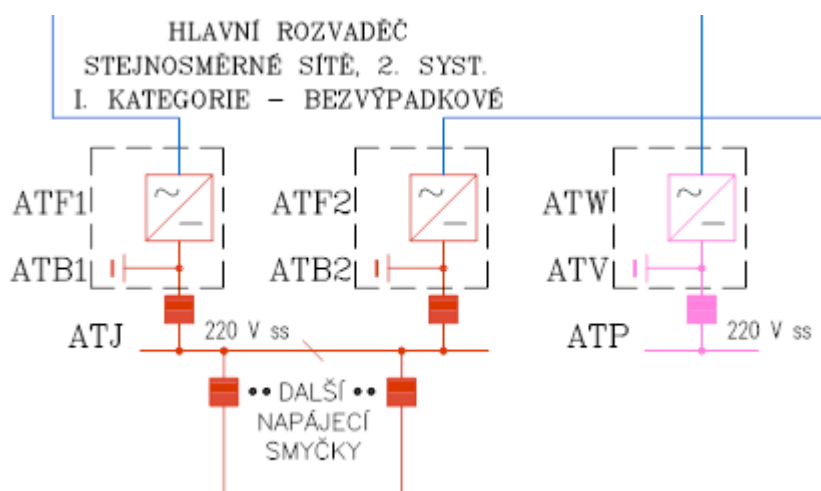


Obrázek 11: Střídavá síť III. kategorie – nezajištěná

3.1.2 Stejnosemné síť VS

Stejnosemnná síť I. kategorie – bezvýpadková

Jelikož je síť v kategorii bezvýpadková, nesmí dojít ani ke krátké ztrátě napájení. Tato síť je tvořena dvěma oddělenými systémy. Napěťová hladina je 220 V= (IT). Síť je napájena z akumulátorových baterií, které jsou trvale dobíjeny usměrňovačem. První systém je decentralizovaný a je tvořen baterií, usměrňovačem a rozváděčem. Druhý systém je opět podélně dělený a je provozován v sepnutém stavu. Napájení je řešeno dvěma bateriemi s usměrňovačem, které jsou zapojeny každá na jednu přípojnicí.



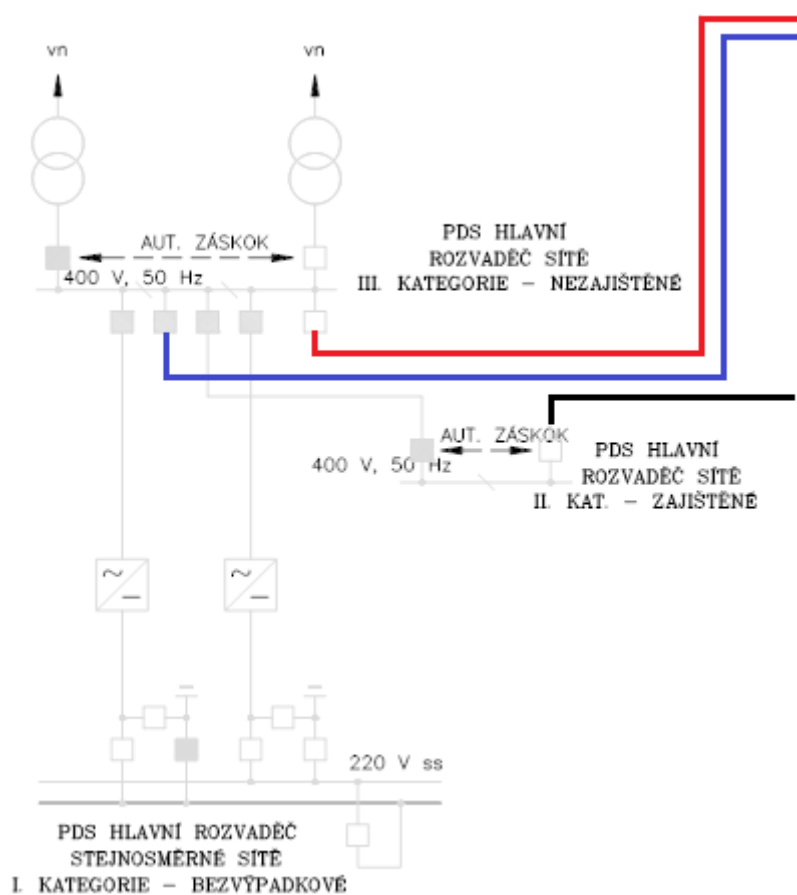
Obrázek 12: Stejnosemnná síť I. kategorie – bezvýpadková

3.2 Způsob spolupráce a provoz VS

Způsob spolupráce je založen na oboustranně výhodné spolupráci mezi PPS a PDS pro zajištění napájení VS stanice. V majetku PPS bude hlavní zdroj (terciár autotransformátoru zvn/vvn) a nouzový zdroj (dieselgenerátor). V majetku PDS bude záložní zdroj v síti vn.

Základním provozním stavem je napájení VS z hlavního zdroje a při případné poruše dojde automaticky k přepnutí napájení VS na záložní zdroj, což je přívod od PDS. Při poruše hlavního i záložního zdroje naskakuje zdroj nouzový (dieselgenerátor startuje za cca 1 min). Síť III. kategorie ztrácí napájení. Při obnovení napájení probíhá opět automatické naběhnutí záložního nebo hlavního zdroje. Přepínání jednotlivých zdrojů nesmí být mžikové, ale s časovou rezervou (minimálně 1s), aby nedošlo ke spojení dvou nesynchronních napětí. Připojení PDS k dieselgenerátoru je znázorněno černě na obrázku 13.

Záložní zdroj, o kterém jsem psal výše, je kabelové propojení mezi PPS a PDS. Kabel, který napájí PPS, je trvale zapnutý v rozváděči PDS a zások je uskutečněn v rozváděči PPS (označeno modře v obrázku 13). Tento kabel musí být dimenzován na celou spotřebu VS PPS. Napájecí transformátory PDS musí být na toto zatížení dimenzovány. To samé platí i opačně pro kabel pro PDS od PPS. Hlavní zdroj musí být dimenzován i na zatížení způsobené zálohováním PDS (v obrázku 13 označeno červeně).



Obrázek 13: Způsob propojení vlastní spotřeby PDS a vlastní spotřeby PPS

3.3 Požadavky na zařízení

Rozváděče a přípojnicové systémy musí vyhovovat zkratovým poměrům. Pokud bude za terciárním vinutím zapojen reaktor, jsou při zdánlivém výkonu autotransformátoru zvn/vvn 350 MVA a transformátoru VS vn/nn zdánlivého výkonu 630 – 1000 kVA, požadavky na zařízení rozváděče III. kategorie na napěťové hladině 0,4 kV následující:

- Jmenovitý proud: 1600 A
- Krátkodobý oteplovací proud: 40 kA
- Dynamický proud: 84 kA
- Doporučený rozsah pasu Cu: 100x10 mm

Požadavky na zařízení rozváděče II. kategorie na napěťové hladině 0,4 kV při velikosti dieselgenerátoru 250 – 450 kVA jsou:

- Jmenovitý proud: 800 A
- Krátkodobý oteplovací proud: 40 kA
- Dynamický proud: 84 kA
- Doporučený rozsah pasu Cu: 40x10 mm

3.3.1 Požadavky na zařízení v terciáru autotransformátoru

Ke svorkám terciárního vinutí autotransformátoru musí být připojen svodič přepětí pro ochranu terciárního vinutí a PTN (přístrojový transformátor napětí) venkovního provedení pro měření napětí a sledování zemního spojení. Poté musí následovat na vedení rozpojovací místo pro odpojení reaktoru a VS, které musí umožnit po odpojení provoz silového transformátoru a práci na reaktoru a VS. Na výstupu reaktoru je připojen svodič přepětí, uzemňovač, kabelová koncovka a PTP (přístrojový transformátor proudu), vše ve venkovním provedení. Většinou obvod pokračuje kabelem, který je připojen do vnitřní rozvodny. Vše je vidět jak na obrázku 6, tak i na obrázku 7. Ve vnitřní rozvodně jsou umístěny dva PTP, odpojovač, vypínač a vývodový uzemňovač. Pokud by obvod byl preferován ve venkovní variantě, zařízení musí být venkovního provedení. Transformátor VS vn/nn je nejčastěji olejového provedení s regulací pod zatížením. Z důvodu správné funkce ochrany je jeho zapojení Yy(d). [4]

Dimenzování zařízení (400/110/10kV):

- Jmenovité krátkodobé výdržné napětí 50 Hz 38 kV
- Jmenovité výdržné napětí při atmosférickém impulsu 95 kV
- Nejvyšší napětí⁴ 17,5 kV

V rozvodnách se ovšem veškerá zařízení v obvodu terciárního vinutí autotransformátoru dimenzují na hladinu 25 kV.

Dimenzování zařízení (400/220/35kV):

- Jmenovité krátkodobé výdržné napětí 50 Hz 75 kV
- Jmenovité výdržné napětí při atmosférickém impulsu 180 kV
- Nejvyšší napětí 38,5 kV

⁴ Na tuto napětí musí být dimenzována rozvodna vn ve VS

4. Zásady dimenzování

Ve druhé části DP uvádím, že všechny přístroje potřebné k rozvodu elektrické energie jsou seřazené a zapojené podle schématu a dimenzovány podle určitých základních veličin. Veličinami jsou:

- Provozní teplota, která nesmí být vyšší než dovolená
- Průřez vodičů musí být v hospodárných mezích
- Vodiče musejí odolat mechanickému namáhání
- Úbytek napětí musí splňovat povolené meze
- Vodiče musí odolat tepelným a dynamickým účinkům zkratových proudů

Ovšem prvním a zároveň nejdůležitějším krokem je výpočet zatížení. Pro jeho stanovení je potřebné znát instalovaný výkon spotřebičů a způsob jejich provozu určený tzv. součinitelem náročnosti β , který celkový instalovaný výkon sníží. Při dimenzování VS se součinitel β uvažuje roven 1. Po návrhu s $\beta=1$ je možné po konzultaci vypočtené zatížení určitých zařízení snížit. V této DP budu vždy uvažovat $\beta=1$. Z daného zatížení vypočteme proud pomocí rovnice (1).

4.1 Dimenzování dle dovolené provozní teploty

Nelze připustit, aby oteplení vodičů dosáhlo během provozu velkých teplot jak z hospodářských, tak bezpečnostních důvodů. Vysoká teplota způsobuje rekrystalizaci materiálu, která způsobuje zhoršení mechanických vlastností. Spojení vodičů vlivem teploty zvyšují přechodový odpor a izolace vodičů stárne rychleji a tím ztrácí své izolační vlastnosti. Aby se předešlo těmto problémům, je stanovena nejvyšší dovolená provozní teplota $\vartheta_{DOV}(^{\circ}\text{C})$ a tím i proud, kterým lze daný vodič zatěžovat. Provozní teplota je ovšem ovlivněna několika faktory:

- Charakteristikou daného vodiče nebo kabelu
- Charakteristikou provozu
- Charakteristikou prostředí
- Charakteristikou uložení

4.1.1 Charakteristika vodiče

Ohledně problematiky dovolené provozní teploty je zapotřebí uvést tabulku 1, která znázorňuje tuto teplotu pro jádra vodičů, které jsou vhodné pro připojení terciárního vinutí s reaktorem.

Tabulka 1: Dovolené provozní a maximální teploty vybraných vodičů

Druh vodiče a jeho izolace (°C)	Základní teplota okolního vzduchu (°C)	Nejvyšší dovolená provozní teplota (°C)	Nejvyšší dovolená teplota	
			při proudovém přetížení (°C)	při zkratu (°C)
Holé vodiče, kompaktní nebo slaněné: Cu, Al nebo Al slitiny	30	80	180	200
Holé vodiče, kompaktní nebo slaněné: Ocel	30	80	180	300

4.1.2 Charakteristika provozu

Základní charakteristikou provozu je časový průběh proudu, kterým je vodič zatěžován. Pro výpočet proudu při znalosti instalovaného činného výkonu P (W) a účinníku $\cos \varphi$ nebo zdánlivého výkonu S (VA) využijeme rovnice (1).

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_S \cdot \cos \varphi} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_S} \quad (\text{A}) \quad (1)$$

kde I je vypočtený proud (A)

P je vypočtené zatížení (W)

S je vypočtené zatížení (VA)

$\cos \varphi$ je účinník

U_S je jmenovité sdružené napětí (V)

Vypočtený proud může vodičem procházet různými časovými průběhy, které mají velký vliv na hodnotu provozní teploty. Oproti standardnímu časovému průběhu (trvalý provoz) se jedná o krátkodobý nebo přerušovaný časový průběh proudu. Jelikož v DP není zapotřebí řešit krátkodobý nebo přerušovaný průběh proudu, nebudu se touto problematikou dále zabírat.

4.1.3 Charakteristika prostředí

Okolí, ve kterém se vodič nachází, má zásadní význam pro odvod tepla, které vznikne při průchodu proudu vodičem. Mezi charakteristiky prostředí patří:

- Druh prostředí (vzduch, voda, půda)
- Teplota okolí ϑ_o (°C)
- Tepelný odpor půdy H (°C·m·W⁻¹)

Je zapotřebí rozlišovat u teploty okolí a tepelného odporu půdy hodnoty základní a maximální skutečné. Z hodnot základních se stanoví jmenovité proudové zatížení. Skutečné maximální hodnoty se pak použijí pro přepočítání tohoto proudu na skutečný proud, který vodičem může protékat. Např. je-li teplota okolí vyšší než teplota základní, nastanou horší podmínky pro odvod tepla. Aby tedy nedošlo k překročení dovolené provozní teploty ϑ_{DOV} , je nutné proudovou zatížitelnost snížit. Naopak při nižší teplotě okolí je možné proudovou zatížitelnost bezpečně zvýšit. Obdobný postup ohledně proudového zatížení má i tepelný odpor půdy. Pokud je tepelný odpor půdy vyšší než základní, je vodič méně ochlazován a je nutné jej méně zatížit. Odpor půdy je také velmi proměnnou veličinou závisící na typu půdy, kompaktnosti půdy či vlhkosti. Dalším zajímavým poznatkem je, že tepelný odpor se mění v závislosti na hloubce uložení kabelu, na výšce spodní vody, intenzitě srážek, teplotě a také na tepelných ztrátách vodiče, které okolní půdu ohřívají a vysoušejí. Vlivem vysoušení pak tepelný odpor roste. Pro dimenzování tedy použijeme hodnoty maximální.

V příloze jsou uvedeny informativní hodnoty měrného tepelného odporu půdy v tabulce 19 a přepočítávací součinitele proudové zatížitelnosti pro půdy s různým tepelným odporem v tabulce 20. Dále jsem do přílohy přiložil tabulku 21, která obsahuje přepočítávací součinitele pro teploty odlišné od 30 °C.

4.1.4 Charakteristika uložení

Posledním faktorem, který ovlivňuje dovolenou provozní teplotu, je charakter uložení. Myslí se tím počet vodičů, jejich seskupení, uložení (v zemi, ve tvárnících, v kabelových kanálech), vodorovné nebo svislé trasy atd. Všechny vyjmenované charakteristiky uložení mají vliv především na odvod vzniklého tepla. Např. uložení více vodičů vedle sebe dochází k jejich vzájemnému ohřívání. Při svislém uložení stoupající teplý vzduch zhoršuje ochlazování vodiče. Kvůli těmto důsledkům je zapotřebí zmenšit

proudové zatížení, což se opět provede pomocí přepočítávacích součinitelů z tabulky 22 v příloze.

Určení zátěžného proudu

Postup při dimenzování z hlediska provozní teploty se provede kontrolou, kdy proud musí být menší než dovolený zátěžný proud I_z (A), který vypočteme podle rovnice (2).

$$I_z = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_i \cdot I_n \text{ (A)} \quad (2)$$

kde I_z je dovolený zátěžný proud (A)

I_n je jmenovité zatížení vodiče (A) pro daný typ, průřez a tyto základní způsoby uložení:

I_{nv} - vodorovná poloha ve vzduchu o základní teplotě 30 °C

I_{nz} - v zemi s měrným tepelným odporem $H = 0,7 \text{ K}\cdot\text{m}\cdot\text{W}^{-1}$, v hloubce 70 cm a s teplotou země 20 °C

k_1, k_2 jsou přepočítávací součinitele z tabulek 20, 21 a 22, na které jsem odkazoval výše v textu

V příloze uvádím tabulku 23, která obsahuje jmenovité zatížení I_{nv} pro holé obdélníkové Al vodiče různých průřezů. Pro vodiče ze slitiny AlMgSi0,5 jsou hodnoty téměř totožné. Ostatní důležité parametry vodiče AlMgSi0,5 zobrazuje tabulka 2. Pro ukázkou jsem uvedl v příloze tabulku 24, kde jsou pro konkrétní kabely uvedeny hodnoty I_{nz} i I_{nv} . I když úkolem DP není návrh kabelových rozvodů, v příloze ještě uvádím obrázek 25, který znázorňuje parametry nehořlavého nízkonapětového kabelu typicky užívaného pro VS. V parametrech kabelu je uvedeno pouze jmenovité zatížení I_{nv} ve vodorovné poloze ve vzduchu. V kabelových propojeních se do průřezu 50 mm² včetně doporučuje používat kabely s Cu jádry a nad tento průřez kabely s Al jádry. Důležitější hodnota ohledně dimenzování je zkratová odolnost, a proto se v parametrech kabelu řídíme zejména zkratovou odolností, nikoliv jmenovitým zatížením.

Tabulka 2: Rozměry a důležité parametry holých obdélníkových vodičů AlMgSi0,5

Rozměr	Šířka a (mm)	Výška b (mm)	Hustota (kg·m ⁻³)	Hmotnost na délku (kg·m ⁻¹)	Moment setvač. průřezu J (m ⁴)	Průřezový modul Z (m ³)
4x20	4	20	2710	0,217	1,067E-10	5,333E-08
4x30	4	30	2710	0,325	1,600E-10	8,000E-08
4x40	4	40	2710	0,434	2,133E-10	1,067E-07
5x20	5	20	2710	0,271	2,083E-10	8,333E-08
5x30	5	30	2710	0,407	3,125E-10	1,250E-07
5x40	5	40	2710	0,542	4,167E-10	1,667E-07
5x60	5	60	2710	0,813	6,250E-10	2,500E-07
5x63	5	63	2710	0,854	6,563E-10	2,625E-07
10x40	10	40	2710	1,084	3,333E-09	6,667E-07
10x60	10	60	2710	1,626	5,000E-09	1,000E-06
10x63	10	63	2710	1,707	5,250E-09	1,050E-06
10x80	10	80	2710	2,168	6,667E-09	1,333E-06
10x100	10	100	2710	2,710	8,333E-09	1,667E-06
10x120	10	120	2710	3,252	1,000E-08	2,000E-06
20x4	20	4	2710	0,217	2,667E-09	2,667E-07
20x5	20	5	2710	0,271	3,333E-09	3,333E-07
30x4	30	4	2710	0,325	9,000E-09	6,000E-07
30x5	30	5	2710	0,407	1,125E-08	7,500E-07
40x4	40	4	2710	0,434	2,133E-08	1,067E-06
40x5	40	5	2710	0,542	2,667E-08	1,333E-06
40x10	40	10	2710	1,084	5,333E-08	2,667E-06
60x5	60	5	2710	0,813	9,000E-08	3,000E-06
60x10	60	10	2710	1,626	1,800E-07	6,000E-06
63x5	63	5	2710	0,854	1,042E-07	3,308E-06
63x10	63	10	2710	1,707	2,084E-07	6,615E-06
80x10	80	10	2710	2,168	4,267E-07	1,067E-05
100x10	100	10	2710	2,710	8,333E-07	1,667E-05
120x10	120	10	2710	3,252	1,440E-06	2,400E-05

4.2 Dimenzování průřezu vodiče z hlediska hospodárnosti

Vodiče a kabely by měly být dimenzovány hospodárně. Tím se myslí, aby nebyly zatěžovány proudem větším než hospodárným a celkové roční náklady na pořízení, provoz a údržbu vodičů byly optimální. Níže uvedený způsob se provádí, pokud je doba plných ztrát T větší než 1000 hodin. Výpočet znázorňuje rovnice (3).

$$S = k \cdot I_Z \cdot \sqrt{T} \quad (\text{mm}^2) \quad (3)$$

kde S je průřez vodiče (mm^2)

k je součinitel závislý na druhu vodiče viz tabulka 3 z ČSN 34 1610

I_Z je vypočtený proud (A)

T je doba plných ztrát (s) vypočtená podle rovnice (4)

$$T = t \cdot \left(0,2 \cdot \frac{A}{P_p \cdot t} + 0,8 \frac{A^2}{P_p^2 \cdot t^2} \right) \quad (\text{s}) \quad (4)$$

kde t je počet provozních hodin zařízení (h)

A je přenesená elektrická energie zařizováním za rok (Wh)

P_p vypočtené zatížení (W)

Tabulka 3: Velikost součinitele k pro určení hospodárného průřezu

Druh vedení	Součinitel k ($\text{mm}^2 \cdot \text{A}^{-1}$)	
	Cu vodiče	Al vodiče
Holé přípojnice	0,006	0,014
Kabely do 25 mm^2 výše do 10 kV	0,007	0,0168
Chráněné vodiče a kabely do 1 kV o průřezu do 16 mm^2	0,006	0,0129
Chráněné vodiče a kabely do 10 mm^2 , 1 kV nebo vodiče v instalačních trubkách	0,0053	0,009

4.3 Dimenzování podle mechanické pevnosti

Vodiče a kabely musejí být dimenzovány i z hlediska mechanického namáhání. Kabelové vedení je mechanicky namáháno zejména při instalaci, tedy při pokládce, při zatahování do trubek apod. Ohledně mechanického namáhání tuhých vodičů se budu věnovat v samostatné kapitole 5.3 níže, která je o účincích dynamických zkratových proudů.

4.4 Dimenzování podle úbytku napětí

Jedná se o kvalitativní ukazatel, který je dán odchylkou napětí na svorkách spotřebičů od jmenovité hodnoty napětí. Proto kabely a vodiče musejí být dimenzovány, aby pro dané zatížení vyhověly dovoleným odchylkám napětí. Dovolené maximální odchylky dle normy TN-25 jsou pro napětí 400 V, 50 Hz $\pm 5\%$ na svorkách spotřebiče. Pro napětí 220 V je tolerance $+5\%$, -10% na svorkách spotřebiče. Pro rozběh asynchronních motorů je hodnota maximální odchylky -15% a pro samonajíždění celé vlastní spotřeby je maximální hodnota -35% . Pro zjištění odchylky v rozvodech s účinnkem $\cos \varphi \geq 0,5$ využijeme rovnice (5). Jednou z možností, jak vyhovět požadavkům na kolísání napětí, je vhodná volba průřezu vodičů. Volbou převodu regulačního transformátoru, jejich rozmístěním, nebo volbou schématu rozvodu také ovlivníme kolísání napětí. [3] [7]

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi = \rho \cdot \frac{l}{S} \cdot I \cdot \cos \varphi + l \cdot X_k \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (\text{V}) \quad (5)$$

kde ΔU je úbytek napětí (V)

R je elektrický odpor vodiče (Ω)

I je proud (A)

X je reaktance vodiče (Ω)

X_k je reaktance vodiče ($\Omega \cdot \text{km}^{-1}$)

ρ je rezistance vodiče ($\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$)

l je délka vodiče (m)

S je průřez vodiče (mm^2)

$\cos \varphi$ je účinník

5. Zkratové proudy

V silnoproudé elektrotechnice a energetice představují zkraty mimořádně nebezpečné poruchy. Kromě výše řečeného zde hraje roli i mimořádně vysoká úroveň zkratových proudů, způsobující vývin velkého množství tepla v místě krátkého spojení. To může vést k požárům či výbuchům zařízení. Dalším nebezpečným důsledkem vysokých zkratových proudů je elektrodynamické namáhání vodičů a zařízení. V jeho důsledku může dojít k deformacím vinutí elektrických strojů, poškození vodičů a přípojnic rozvoden, či k mechanickým rozrušením konstrukcí. Pro omezení hodnot zkratových proudů se používá techniky dělení přípojnic do sekcí a vřazování tlumivek (elektromagnetických reaktorů), pro omezení následků zkratu pak používání vypínačů s vysokou rychlostí odpojení.

5.1 Tlumivka pro omezení proudu

Tento typ tlumivky je určen k omezení nadproudů a zkratových proudů a je v systému zapojena sériově. Tlumivka se do systému zařazuje z důvodu zvětšení reaktance systému (autotransformátor⁵, vedení), která není obvykle dostatečně velká. Úkolem tlumivky je omezit velikost zkratu na přípustnou mez, na kterou jsou prvky soustavy (autotransformátor, vedení a přístroje) dimenzovány. Čím větší je zkratová odolnost prvků v soustavě, tím větší je i jejich cena. Ovšem na tlumivce za normálního provozu vznikají ztráty a úbytky napětí. Proto je třeba volit kompromisní řešení ohledně omezení velikosti zkratového proudu. Správný ekonomický návrh je návrh s nejnižší možnou cenou s ohledem na dodržení dovolených hodnot zkratových účinků.

Z konstrukčního hlediska se nejčastěji jedná o vzduchové tlumivky. Tlumivka je většinou umístěna venku na podpěrných izolátorech.

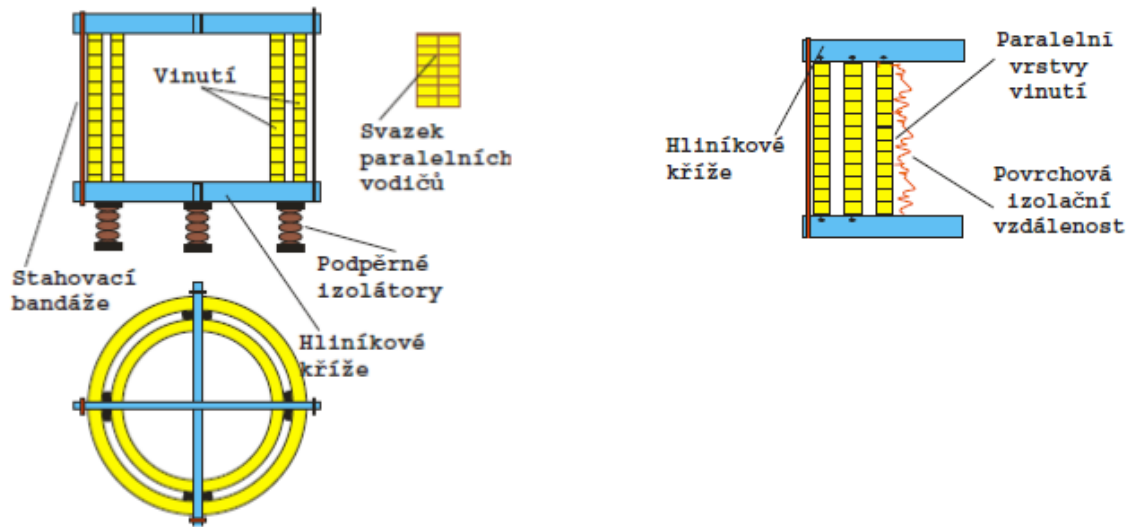
5.1.1 Konstrukce vzduchové cívky

Pro vyšší výkony se ustálilo použití konstrukce, ve které jsou samonosné cívky navinuté v jedné nebo více vrstvách. Cívky jsou staženy bandážemi do hliníkového rámu, který má tvar kříže. Ke spodní části rámu jsou připevněny podpěrné izolátory. Na ramena stahovací bandáže jsou připojena konce vinutí cívky a slouží zároveň jako

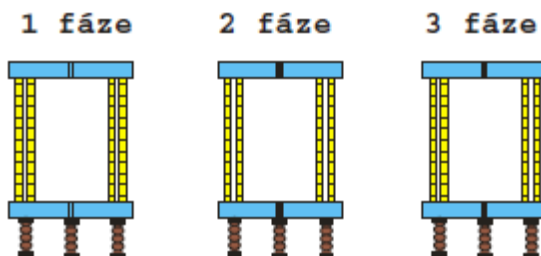
⁵ Oproti klasickému transformátoru má autotransformátor, který nemá galvanicky oddělené vinutí, menší reaktanci.

přívodní sběrnice. Pro omezení ztrát skin efektem jsou cívky vinuty do svazku paralelně spojených vodičů. V délce navinutí jsou svazky cyklicky prostřídány.

Cívky tlumivek používané v systémech s větším proudovým zatížením mají obvykle větší počet paralelních vrstev. Takto konstruované tlumivky mají lepší napěťové vlastnosti. Tento typ tlumivky venkovního provedení se běžně používá ve střídavých systémech 36 kV. [8]



Obrázek 14: Konstrukce tlumivky vlevo a ukázka paralelních svazků vpravo



Obrázek 15: Třífázové provedení vzduchových tlumivek s fázovými tlumivkami vedle sebe

5.2 Dimenzování podle tepelných účinků zkratových proudů

Tento druh namáhání působí na všechny druhy a typy vedení. Dimenzováním získáme minimální průřez jádra vodiče S_{min} (mm^2), při kterém se vodič neohřeje nad dovolenou teplotu. Maximální dovolená teplota je stanovena hlavně s ohledem na podmínky způsobující stárnutí izolace a snížení mechanické pevnosti. Teplota je uvedena v tabulce 1. Zkrat trvá velmi krátkou dobu ve srovnání s časovými oteplovacími

konstantami, a tím se veškeré teplo vzniklé při zkratu akumuluje v jádře vodiče. Při kontrole uvažujeme nejdelší možnou dobu zkratu a normou stanoveny čtyři předpoklady:

- Neuvažuje se vliv magnetického pole vlastního vodiče ani blízkých paralelních vodičů
- Závislost elektrického odporu na teplotě je lineární
- Měrné teplo vodiče je konstantní
- Neuvažuje se odvod tepla

Pro výpočet minimálního průřezu jádra vodiče S_{min} (mm²) využijí definice ekvivalentního oteplovacího proudu z normy ČSN 33 3020. Podle normy dodržíme i symboliku. Výpočet zobrazuje rovnice (6). [4] [7] [9]

$$S_{min} = \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_k}}{\sqrt{\frac{c_0(\vartheta+20)}{\rho_{20}} \ln \frac{\vartheta+\vartheta_2}{\vartheta+\vartheta_1}}} = \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_k}}{k} \geq S \text{ (mm}^2\text{)} \quad (6)$$

kde S_{min} je minimální průřez vodiče (mm²)

I_{ke} je ekvivalentní oteplovací proud (A)

ϑ_1 je hodnota odpovídající maximální provozní teplotě vodiče (°C) z tabulky 1

ϑ_2 je hodnota odpovídající maximální teplotě vodiče při zkratu (°C) z tabulky 1

t_k je doba zkratu (s)

c_0 je specifické teplo vodiče při 0°C (J·m⁻³·°C⁻¹) uvedeno v tabulce 4

ρ_{20} je specifický odpor při 20 °C (Ω·m) uveden v tabulce 4

ϑ je fiktivní teplota vodiče (°C) z tabulky 4 a vyjádřena z rovnice (7)

Fiktivní teplota je závislá na materiálu a je rovna obrácené hodnotě teplotního součinitele odporu α_0 .

$$\vartheta = \frac{1}{\alpha_0} \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (7)$$

kde α_0 je teplotní součinitel odporu ($^\circ\text{C}^{-1}$)

Tabulka 4: Potřebné údaje pro výpočet minimálního průřezu vodiče

Materiál	Cu	Al
ρ_{20} - specifický odpor při 20 $^\circ\text{C}$ ($\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$)	0,01786	0,02941
ϑ - fiktivní teplota ($^\circ\text{C}$)	234,5	228
c_0 - specifické teplo ($\text{J} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)	3,5	2,417

5.3 Dimenzování podle dynamických účinků zkratových proudů

Elektromagnetické síly jsou způsobené zkratovým proudem, který protéká vodičem. Tyto síly působí na paralelní vodiče a vyvolávají namáhání na podpěrný systém.

Pokud vodičem protéká proud, vzniká kolem něj magnetické pole o intenzitě H ($\text{A} \cdot \text{m}^{-1}$) ve vzdálenosti a (m) od vodiče. Dva vodiče protékané proudem na sebe navzájem působí silou F (N) dle rovnice (8).

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin\alpha = \frac{2 \cdot I}{a} \cdot 10^{-7} \cdot l \cdot I \text{ (N)} \quad (8)$$

kde l je délka vodičů (m)

$\alpha = \pi/2$ u rovnoběžných dlouhých vodičů

I je protékající proud vodiči (A)

a je vzdálenost vodičů (m)

B je magnetická indukce (T) vypočtená podle rovnice (9)

$$B = \mu_0 \cdot H = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{I}{2\pi \cdot a} = \frac{2 \cdot I \cdot 10^{-7}}{a} \quad (\text{T}) \quad (9)$$

kde H je intenzita magnetického pole ($\text{A} \cdot \text{m}^{-1}$)

μ_0 je permeabilita vakua ($\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$)

V praxi v rozvodných zařízeních nemohou být uvažovány nehmotné vodiče a výpočet je proveden pro trojfázovou soustavu s uvažováním souměrného třífázového zkratu. Proto je rovnice výše upravena na sílu působící mezi fázovými vodiči $F_m(\text{N})$. Pro výpočet je zapotřebí tabulky 5, která uvádí minimální vzdušné vzdálenosti v rozvodných zařízeních vn. Tučně uvedené hodnoty jsou podle normy ČSN 333201 a hodnoty v závorce podle ČSN 333210 a ČSN 333220. Budu uvažovat vždy větší hodnoty. Minimální vzdálenosti mezi částmi, které mohou být v protifázi (např. systémy přípojníc) musí být o 20% vyšší.

Tabulka 5: Vzdušné vzdálenosti v rozvodných zařízeních vysokého napětí

Nejvyšší napětí (kV)	Jmenovité výdržné napětí při atmosférickém impulzu (kV)	Jmenovité krátkodobé výdržné napětí síťového kmitočtu (kV)	Minimální vzdušné vzdálenosti (N)	
			fáze-fáze	fáze-země
			(mm)	
			vnitřní	venkovní
7,2 (7,2)	60 (60)	20 (20)	90 (100)	120 (170)
12 (12)	75 (75)	28 (28)	120 (130)	150 (210)
25 (25)	125 (125)	50 (50)	210 (210)	290 (290)
38,5 (38,5)	180 (180)	75 (75)	320 (320)	400 (400)

$$F_m = 2 \cdot k_v \cdot \frac{I_{km}^2}{d_m} l \cdot 10^{-7} \text{ (N)} \quad (10)$$

kde l je délka vodiče mezi podpěrami (m)

k_v je koeficient, jehož hodnota je určena uspořádáním vodičů a fázovým posunem proudu

- $k_v = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0,87$ u středního vodiče trojfázové soustavy při rovinném uspořádání

- $k_v = 0,81$ u krajního vodiče trojfázové soustavy

- $k_v = 0,85$ u vodičů uspořádané v rovnostranném trojúhelníku

- $k_v = 1$ mezi vodiči jedné fáze

d_m je účinná vzdálenost mezi vodiči (m), která se zavádí, protože síly mezi vodiči protékané proudem jsou závislé na geometrickém tvaru a uspořádání vodičů

$d_m = d$ pro kruhové vodiče

$d_m = d/k$ pro vodiče obdélníkového průřezu

d je fázová rozteč (m) podle obrázku 27, fázová rozteč musí být větší o rozměr vodiče a než jsou uvedené doskokové vzdálenosti z tabulky 5

k je součinitel pro výpočet účinné vzdálenosti určen z obrázku 26

I_{km} je maximální hodnota dynamického zkratového proudu (A)

5.3.1 Výpočet namáhání tuhých vodičů

Jedná se namáhání ohybové σ_m (Pa). Ohybové namáhání mezi hlavními vodiči vypočteme podle rovnice (11). Pokud je vodič odolný vůči silám způsobených dynamickými účinky zkratového proudu, musí splnit podmínku z rovnice (12).

V následujících rovnicích se budou vyskytovat koeficienty V . Koeficient V se dá vyjádřit jako podíl reakce způsobené statickým zatížením s reakcí způsobenou dynamickým zatížením. Koeficienty se liší pro namáhání vodičů a pro síly působící na nosné konstrukce. Lze to chápat tak, že statická síla F je vynásobena dynamickým koeficientem V .

Zkratové proudy

$$\sigma_m = V_r \cdot V_\sigma \cdot \beta \cdot \frac{F_m \cdot l}{8 \cdot Z} \quad (\text{Pa}) \quad (11)$$

kde Z je průřezový modul vodičů (m^3) podle vzorce níže, nebo z tabulky 2
pro jednoduché vodiče $Z = 1/6 \cdot b \cdot a^2$, kde a a b jsou rozměry vodiče podle obrázku 27

V_σ je poměr mezi dynamickým a statickým namáháním hlavního vodiče z obrázku 28, nebo z tabulky 25

V_r je koeficient zvyšující namáhání s ohledem na nezdařený OZ (opětovné zapnutí) z obrázku 29, nebo z tabulky 25

β je součinitel respektující typ upevnění vodiče a počet podpěr z tabulky 6

F_m je síla působící mezi hlavními vodiči (N) podle rovnice (10)

l je vzdálenost mezi podpěrami (m)

Tabulka 6: Zjednodušená tabulka součinitelů α, β, γ z tabulek 26 a 27 v příloze

type of beam and support		α	β	γ
continuous beam with equidistant supports	two spans	A: 0,375 B: 1,25	$\frac{8}{11} = 0,73$	2,45
	3 or more spans	A: 0,4 B: 1,1	$\frac{8}{11} = 0,73$	3,56

$$\sigma_m \leq q \cdot R_{p0,2} \quad (\text{MPa}) \quad (12)$$

kde $R_{p0,2}$ je namáhání odpovídající minimální hodnotě meze pružnosti materiálu vodiče (MPa)

- $R_{p0,2} = 80$ MPa pro Cu

- $R_{p0,2} = 45$ MPa pro Al

- $R_{p0,2} = 120$ MPa pro AlMgSi0,5

q je součinitel plasticity průřezu vodiče. Pro obdélníkový a čtvercový průřez je $q = 1,5$

Ve vysvětlivkách k rovnici (12) uvádím tři různé materiály vodičů a jejich hodnoty meze pružnosti. Pokud porovnáme měď a elektrovodný hliník ohledně vodivosti, měď je lepší. Aby se hliník vyrovnal mědi, musí mít vodič větší průřez. Hliníkový vodič ale bude stále asi o polovinu lehčí než vodič měděný. Elektrovodný hliník má velmi špatné mechanické vlastnosti, proto se v aplikacích připojení vlastní spotřeby využívá slitin hliníku, které dosahují lepších mechanických vlastností než měď.

Fáze může být tvořena z dílčích vodičů. Tento způsob zapojení je použit v případě velkých ztrát skinefektem⁶ při běžném zatížení jmenovitým proudem. Tento problém se v zapojení vlastní spotřeby v současnosti nepoužívá. Proto rovnici pro výpočet ohybového namáhání dílčích vodičů a rovnici pro výpočet vlastní frekvence dílčích vodičů uvádět nebudu.

5.3.2 Síly působící na podpěry vodiče

Opět začnu rovnicí (13). Síla F_d (N) nesmí být větší než maximální výdržná hodnota, kterou udává výrobce, pro danou staniční podpěru.

$$F_d = V_r \cdot V_F \cdot \alpha \cdot F_m \quad (\text{N}) \quad (13)$$

kde V_F je poměr mezi dynamickou a statickou silou působící na podpěry vodiče z obrázku 28, nebo z tabulky 25

V_r je součinitel zvyšující namáhání s ohledem na nezdařený OZ (opětovné zapnutí) z obrázku 29, nebo z tabulky 25

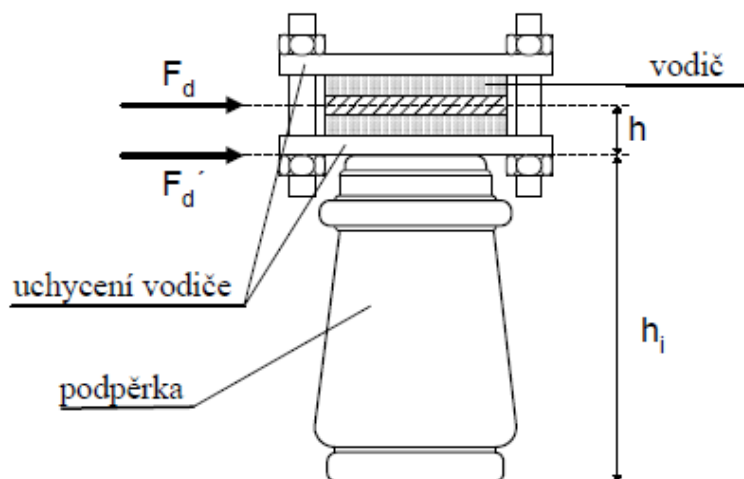
α je součinitel respektující typ upevnění vodiče a počet podpěr z tabulky 6

Podle výše uvedené rovnice (13) se vypočte síla působící na podpěru v ose vodiče. Mechanická pevnost dané podpěry je udána jako maximální možná síla působící na vrcholu podpěry. Abych mohl pomocí výpočtu ověřit, zda daná podpěra vyhovuje, musím porovnat síly působící ve stejném místě, viz rovnice (14).

⁶ Jedná se o fyzikální děj, kdy je proud vytlačován na povrch vodiče. Je to způsobeno tím, že střídavý proud procházející vodičem uzavírá kolem sebe siločáry magnetické indukce, které mají blíže ke středu opačný směr s tímto proudem a na povrchu vodiče směr shodný. Jednou z příčin je, že se zvětšujícím se průřezem vodiče, se zvětšují i ztráty skinefektem.

$$F_d' = F_d \cdot \frac{h_i + h}{h_i} \quad (\text{N}) \quad (14)$$

kde h_i, h (mm) jsou výšky znázorněné na obrázku 16



Obrázek 16: Vysvětlující obrázek ohledně přepočtu síly F_d na F_d'

5.3.3 Výpočet vlastního kmitočtu

Namáhání vodičů a síly, které působí na podpěrný systém, závisí také na poměru mezi kmitočtem mechanické soustavy a kmitočtem elektromagnetické síly. Ke zvýšení namáhání vodičů a podpěrného systému dochází zejména při rezonanci nebo v její blízkosti. Výpočet vlastního kmitočtu f_c (Hz) podle rovnice (15) je zapotřebí ke správnému zjištění koeficientů $V_F \cdot V_r$ a $V_\sigma \cdot V_r$. Jejich maximální hodnoty jsou uvedeny v tabulce 25. Pro odečtení nižších hodnot těchto koeficientů z obrázku 28 a z obrázku 29 je potřebné vypočítat poměr f_c/f , kde $f = 50$ Hz je kmitočet sítě. Ke správnému odečtu hodnoty z obrázku 28 je navíc zapotřebí odečíst hodnotu nárazového činitele zkratového proudu κ z tabulky 29. [9] [11] [12] [13]

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m}} \quad (\text{Hz}) \quad (15)$$

kde γ je součinitel pro výpočet vlastního kmitočtu vodiče, který je závislý na druhu a počtu podpěr z tabulky 6

l je vzdálenost podpěr (m)

E je modul pružnosti v tahu hlavního vodiče (MPa)

- $E_{Cu} = 130\,000$ MPa

- $E_{Al} = 68\,000$ MPa

- $E_{AlMgSi0,5} = 69\,000$ MPa

J je kvadratický moment průřezu hlavního vodiče (m^4) vypočtený podle vzorce níže, nebo z tabulky 2

$$J = 1/12 \cdot a^3 \cdot b$$

m je hmotnost vodiče ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$) z tabulky 2 pro AlMgSi0,5, nebo podle tabulky 30 v příloze pro Al a Cu

5.4 Určení hodnot zkratových proudů

Pro zjištění tepelných a dynamických účinků zkratových proudů je potřeba do výše uváděných rovnic dosadit hodnotu ekvivalentního oteplovacího proudu I_{ke} (A) a hodnotu nárazového zkratového proudu I_{km} (A). Výpočty znázorňují rovnice (16) a (17).

$$I_{ke} = k_e \cdot I_k'' \quad (\text{A}) \quad (16)$$

kde k_e je součinitel závislejší na době zkratu t_k (s) a na soustavě napětí.

Hodnoty uvádí tabulka 28 v příloze

I_k'' je počáteční rázový zkratový proud (A)

$$I_{km} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' \quad (\text{A}) \quad (17)$$

kde κ je součinitel nárazového zkratového proudu z tabulky 29 v příloze

I_k'' je počáteční rázový zkratový proud (A)

Počáteční rázový zkratový proud je vypočten podle rovnice (26). Pro výpočet zkratového proudu je důležité znát zjednodušené schéma celé soustavy a místo zkratu. Při dimenzování vodičů se snažím imitovat nejhorší možné podmínky, a proto zkrat umístím co nejdále od zdroje. Při mírném zjednodušení budu uvažovat, že největší hodnota zkratového proudu nastane při symetrickém třífázovém zkratu. Pro výpočet je potřebné znát následující údaje a rovnice uvedené níže. Reaktanci soustavy vypočtu podle rovnice (18). Podle rovnice (19) vypočtu reaktanci dvouvinutového transformátoru a rovnice (20), (21) a (22) využiji k výpočtu jednotlivých reaktancí autotransformátoru. Rovnice (23) a (24) použiji k výpočtu reaktance a rezistence vedení.

$$x_s = \frac{S_v}{S_{ks}} = \frac{S_v}{I_k \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} \quad (18)$$

kde S_v je zvolený vztažný výkon (VA)
 S_{ks} je zkratový výkon soustavy (VA)
 I_k je rázový zkratový výkon soustavy (A)
 U_n je jmenovité napětí soustavy (V)

$$x_{TRVS} = u_k \cdot \frac{S_v}{S_{TRVS}} \quad (19)$$

$$x_1 = \frac{u_{k12} + u_{k13} - u_{k23}}{2} \cdot \frac{S_v}{S_{TR}} \quad (20)$$

$$x_2 = \frac{u_{k12} + u_{k23} - u_{k13}}{2} \cdot \frac{S_v}{S_{TR}} \quad (21)$$

$$x_3 = \frac{u_{k13} + u_{k23} - u_{k12}}{2} \cdot \frac{S_v}{S_{TR}} \quad (22)$$

kde S_{TRVS} je výkon transformátoru VS (VA)
 S_{TR} je výkon autotransformátoru (VA)
 u_k je napětí nakrátko transformátoru VS
 u_{k12} je napětí nakrátko autotransformátoru mezi primárním a sekundárním vinutím

Zkratové proudy

$$r_{\text{vedení}} = r_k \cdot l_k \cdot \frac{S_v}{U_n^2} \quad (23)$$

$$x_{\text{vedení}} = x_k \cdot l_k \cdot \frac{S_v}{U_n^2} \quad (24)$$

kde r_k je rezistance vedení ($\Omega \cdot \text{km}^{-1}$)
 x_k je reaktance vedení ($\Omega \cdot \text{km}^{-1}$)
 l_k je délka vedení (km)
 U_n je jmenovité napětí vedení (V)

Dále vypočtu zkratový výkon S_k (VA) a konečně rázový zkratový proud I_k'' (A).
Vzorce znázorňují rovnice (25) a (26). Pokud schéma obsahuje i rezistence, využijeme rovnice (27) pro zjištění celkové impedance schématu. [6] [7]

$$S_k = \frac{S_v}{x_{\text{celková}}} = \frac{S_v}{z_{\text{celková}}} \quad (\text{VA}) \quad (25)$$

$$I_k'' = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n} \quad (\text{A}) \quad (26)$$

kde $x_{\text{celková}}$ je celková reaktance schématu
 $z_{\text{celková}}$ je celková impedance schématu podle rovnice (27)
 c je napěťový součinitel
– $c = 1,05$ pro nn
– $c = 1,1$ pro vn
 U_n je jmenovité napětí sítě v místě zkratu (V)

$$z_{\text{celková}} = \sqrt{x_{\text{celková}}^2 + r_{\text{celková}}^2} \quad (27)$$

kde $r_{\text{celková}}$ je celková rezistance schématu

6. Dimenzování zdroje

V této části DP ukáží, jak dimenzovat transformátor VS a především problémy spojené s dimenzováním nouzového zdroje, kterým je dieselgenerátor.

6.1 Transformátor VS

Při výpočtu velikosti transformátoru VS vycházím ze soupisu technologie VS rozvodny Verněřov. V soupise se nachází výčet technologie a její zdánlivý výkon. Celkový zdánlivý výkon celé VS musí být menší než výkon navrženého transformátoru, který zkontroluji na úbytky napětí při samonajíždění celé VS a spouštění největšího spotřebiče. [9] [14]

6.1.1 Úbytky napětí při samonajíždění VS

Při výpočtu úbytků napětí uvažuji určitá zjednodušení. Rozběh zátěže má pouze jalový příspěvek a uvažuji pouze reaktance. Jelikož se ve VS nachází několik druhů zátěže, jejichž účinník se liší, uvažuji účinník $\cos \varphi = 0,7 \rightarrow \sin \varphi = 0,714$ a celkový záběrný proud i_z jako pětinasobek proudu jmenovitého. Níže se nachází postup, jak určit poměrný úbytek napětí.

Poměrná reaktance při samonajíždění

$$x_{sn} = \frac{S_{TRVS}}{i_z \cdot S_{VS} \cdot \sin \varphi} \cdot \frac{U_n^2}{U_{2t}^2} \quad (28)$$

kde S_{TRVS} je zdánlivý výkon transformátoru VS (VA)

U_n je jmenovité napětí na přípojnicích vlastní spotřeby (V)

U_{2t} je napětí na straně nižšího napětí transformátoru (V)

i_z je záběrný proud všech současně pracujících spotřebičů

S_{VS} je jmenovitý zdánlivý výkon vlastní spotřeby (VA)

Poměrný úbytek napětí na reaktanci

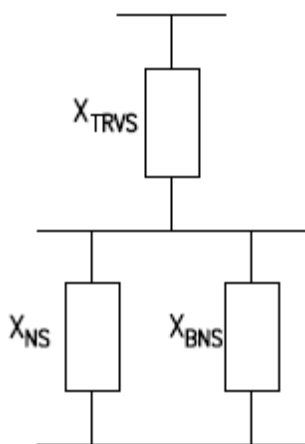
$$\Delta u_s = \frac{x_{TRVS}}{x_{TRVS} + x_{sn}} \quad (29)$$

kde x_{TRVS} je reaktance transformátoru VS podle rovnice (19), kde hodnota zlomku je rovna 1

Poměrný úbytek napětí na reaktanci při samonajíždění by neměl překročit 35 % jmenovité hodnoty napětí.

6.1.2 Úbytek napětí při spouštění největšího spotřebiče VS

Způsob řešení je vidět na obrázku 17.



Obrázek 17: Zjednodušené schéma řešení úbytku napětí při najíždění největšího spotřebiče VS

Poměrná reaktance zátěže bez největšího spotřebiče

$$x_{BNS} = \frac{S_{TRVS}}{i_z \cdot S_{VSBNS} \cdot \sin \varphi} \cdot \frac{U_n^2}{U_{2t}^2} \quad (30)$$

kde S_{VSBNS} je zdánlivý výkon VS bez největšího spotřebiče (VA)

U_n je jmenovité napětí na přípojnicí vlastní spotřeby (V)

U_{2t} je napětí na straně nižšího napětí transformátoru (V)

i_z je záběrný proud všech současně pracujících spotřebičů

S_{TRVS} je zdánlivý výkon transformátoru VS (VA)

Poměrná reaktance největšího spotřebiče

$$x_{NS} = \frac{S_{TRVS}}{i_Z \cdot S_{NS} \cdot \sin\varphi} \cdot \frac{U_n^2}{U_{2t}^2} \quad (31)$$

kde S_{NS} je zdánlivý výkon největšího spotřebiče (VA)

Poměrný úbytek napětí na reaktanci:

$$\Delta u_s = \frac{x_{TRVS}}{x_{TRVS} + \frac{x_{NS} \cdot x_{BNS}}{x_{NS} + x_{BNS}}} \quad (32)$$

Poměrný úbytek napětí na reaktanci při spouštění největšího spotřebiče by neměl překročit 15 % jmenovité hodnoty napětí. Nesmí však překročit 20 %. [4] [14]

6.2 Dieselgenerátor (DG)

Jako nouzový zdroj, který musí být schopen dodávat energii po dobu minimálně 8 hodin, je naftový motor spojený se synchronním generátorem. Energie je tedy uložena v palivové nádrži v podobě paliva. Jedinou nevýhodou DG je schopnost dodávat elektrickou energii až několik sekund po startu. Toto zpoždění kompenzuje zdroj UPS pracující on-line, který má kapacitu k zabezpečení napájení zátěže v podobě olověných baterií.

Ohledně dimenzování nejprve uvedu různé provozní režimy DG:

- Emergency Standby Power
Doporučená doba provozu je 50 hodin/rok a maximum je 200 hodin/rok se zatížením průměrně na 70 % jmenovitého výkonu.
- Standby Power
Doporučená doba provozu je 300 hodin/rok s maximem 500 hodin/rok se zatížením opět cca na 70 % jmenovitého výkonu. Výkon v tomto režimu je o 10 % větší než pro režim Prime níže.

- Prime Power

Doba provozu je neomezená se zatížením opět na 70 %. Oproti výše zmíněným režimům je zde možné přetížení o 10 % po dobu jedné hodiny v průběhu 12 hodin. Maximální přetížení je ovšem 25 hodin/rok.

- Continuous Power

Doba provozu je neomezená při 100 % zatížení. Přetížení není možné.

Nejpoužívanějšími režimy jsou Standby a Prime Power, které jsou uvedeny v katalogu Caterpillar.

Důležitými konfiguracemi je také návrh startovacích obvodů, palivového hospodářství, vzduchotechniky, výfukového systému a dodržení požadavků ohledně hluchnosti. V DP se zajímám o problematiku ohledně určení výkonu DG a následnou kontrolu úbytků napětí. Důležitým krokem je analýza napájené zátěže. V následujících dvou odstavcích popíši způsob dimenzování DG pro dva nejproblémovější typy zátěže.

Největším problémem je vzájemná spolupráce DG a záložního zdroje UPS. Na vstupu UPS je zapojen usměrňovač, který způsobuje, že UPS je tzv. nelineární zátěž. Odebíraný proud ze sítě obsahuje velké množství vyšších harmonických složek a způsobuje zkreslení napájecí sítě. Např. při použití neřízeného (diodového) šestipulsního usměrňovače se výkon DG určí jako 2 - 2,5 násobek příkonu zátěže. Usměrňovač se při komutaci diod (napájecí napětí probíhá nulou) stává pro síť zkratem. V případě připojení na síť nevzniká velký problém, protože síť je dostatečně tvrdým zdrojem. Když je zátěž napájena z DG, dochází na něm při komutaci k poklesu napětí. Na pokles napětí se snaží reagovat regulátor zvýšením napětí. Ale při zvyšování napětí regulátorem začne růst napětí díky dokončené komutaci a regulátor se snaží napětí naopak snížit. Výsledkem je nepříjemný nestabilní stav DG. Tento nepříjemný stav je odstraněn používáním modernějších usměrňovačů a výkonovým předdimenzováním samotného DG. Níže uvedu dimenzování pro zátěž obsahující UPS podle Caterpillar.

Postup má 4 části:

- Zátěž si rozdělím na dvě části. Jedna část jsou spotřebiče obsahující usměrňovač a druhá část je zbytek spotřebičů. Dále určím příkon UPS. V mém případě budu vědět celkový zdánlivý příkon. V případě znalosti pouze výstupního výkonu UPS je použita rovnice (33), kde příkon bateriového dobíječe je cca 15 - 25 % výstupního výkonu UPS. Účinnost $\eta = 0,85$ a účinník $\cos \varphi = 0,85$ pro UPS < 100 kW.

$$S_{P\ UPS} = \frac{P_{v\ UPS} + P_{bat}}{\eta \cdot \cos \varphi} \quad (\text{VA}) \quad (33)$$

kde $S_{P\ UPS}$ je příkon UPS (VA)

$P_{v\ UPS}$ je výstupní výkon UPS (W)

P_{bat} je příkon bateriového dobíječe UPS (W)

η je účinnost UPS

$\cos \varphi$ je účinník UPS

- Pro dvanáctipulsní usměrňovač vynásobím celkový příkon UPS hodnotou 1,4 a celkový výkon zbylého zařízení neuvažuji.
- Pro dvanáctipulsní usměrňovač vynásobím celkový příkon UPS hodnotou 1,1 a přičtu celkový výkon zbylého zařízení.
- V poslední části výpočtu porovnám výsledky druhého a třetího kroku. Větší hodnotu výsledku zaokrouhlím na nejbližší vyšší hodnotu a použiji pro výběr vhodného DG.

Dalším problémovou zátěží jsou motory, které mohou mít velké požadavky na napájecí zdroj při startování a zrychlení na jmenovité otáčky. Záběrný proud může být čtyřikrát až desetkrát větší než je jmenovitý proud motoru, což může způsobit až 40 % pokles napětí v případě špatně navrženého DG. Pokles napětí může mít negativní vliv na již připojenou zátěž a spouštěný motor může pracovat při snížených otáčkách, nebo se vůbec nespustí kvůli nedostatečnému záběrnému momentu. Caterpillar uvádí tabulku 7 různých velikostí motorů, která má sloužit jako vodítko pro odhad jmenovitého výkonu DG.

Tabulka 7: Výkonový startovací požadavek motorů z příručky Caterpillar

Motor Size kW	Starting kVA	Motor Size kW	Starting kVA
0,37	4,9	22	254
0,55	6,9	30	322
0,75	9,5	37	378
1,1	13,4	45	502
1,5	19,8	55	721
2,2	29,7	90	906
3	41,4	110	1049
4	53,8	132	1255
5,5	73,1	160	1557
7,5	103	200	1940
11	143	250	2476
15	171	315	3113
18,5	204	356	3421

Jako poslední krok dimenzování DG je kontrola na úbytky napětí. DG musí splňovat požadavky na třídu G2 viz tabulka 8. Tabulka zobrazuje čtyři výkonové třídy a jejich kritéria na odchylky napětí, frekvence a dobu zotavení. Každá výkonová třída je určena pro různé aplikace.

- G1:
Požadována pro aplikace, kde připojená zátěž nemá speciální požadavky na odchylky napětí a frekvence.
Do této skupiny patří univerzální aplikace osvětlení a elektrických spotřebičů.
- G2:
Požadována pro aplikace, kde jsou při změně zatížení dočasné odchylky napětí a frekvence přijatelné.
Patří sem osvětlovací systémy, zátěže obsahující čerpadla, ventilátory a zdvihací zařízení.
- G3:
V třídě G3 jsou aplikace, kde připojená zátěž může mít velké požadavky na velikost odchylek napětí a frekvence.
Do této výkonové třídy patří telekomunikační zařízení.

- G4:

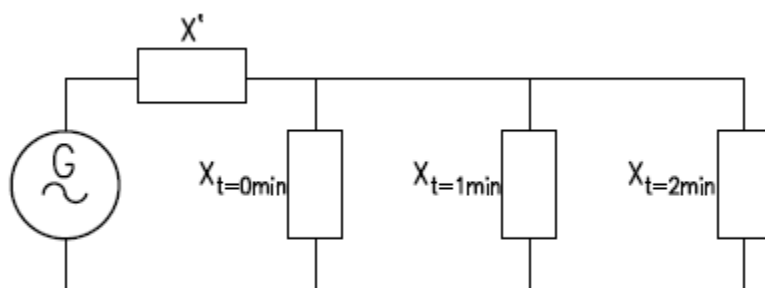
Tato výkonová třída je požadována pro aplikace s velmi vysokými požadavky na napětí a frekvenci. Zkratka AMC znamená Agreed between Manufacturer and Customer, což znamená, že požadavky jsou konzultovány výrobcem a zákazníkem.

Patří sem počítačové vybavení a zařízení zpracovávající data.

Tabulka 8: Požadavky na jednotlivé třídy dle Caterpillar

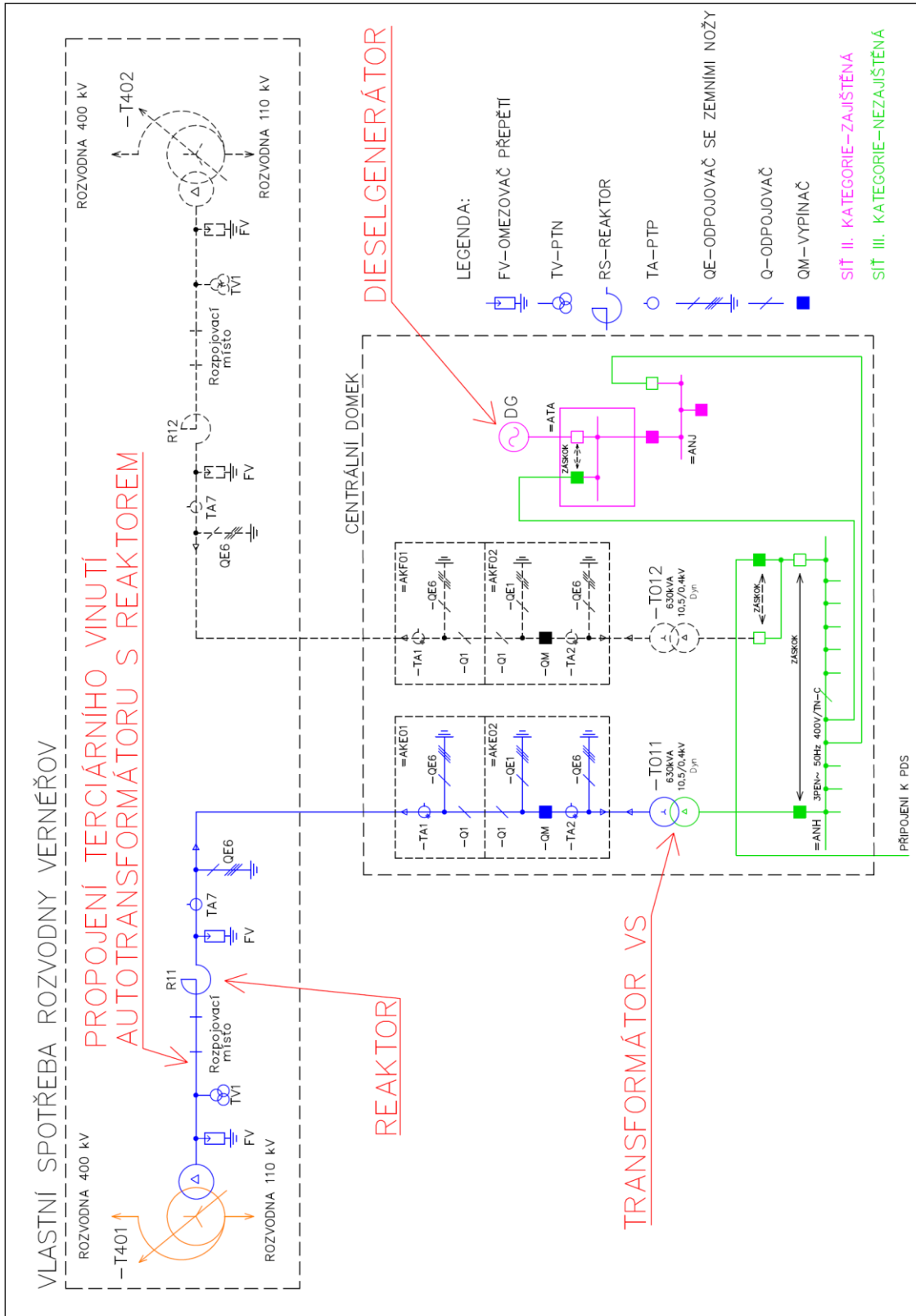
	Class G1	Class G2	Class G3	Class G4
Frequency (%) Acceptance	-15	-10	-7	AMC
Frequency (%) Rejection	18	12	10	AMC
Voltage (%) Acceptance	-25	-20	-15	AMC
Voltage (%) Rejection	35	25	20	AMC
Time Seconds	5	5	3	AMC

Výpočet je podobný výpočtu úbytků napětí na transformátoru VS. Jelikož musím dodržet požadovanou hodnotu úbytků napětí, rozdělím si celou zátěž napájenou z DG do více sekcí, které postupně budou spouštěny se zpožděním jedné minuty. Zjednodušené schéma je znázorněno na obrázku 18, kde x' je přechodná reaktance DG. [15]



Obrázek 18: Zjednodušené schéma pro výpočet úbytků napětí DG

7. Rozvodna Vernéřov - praktická část

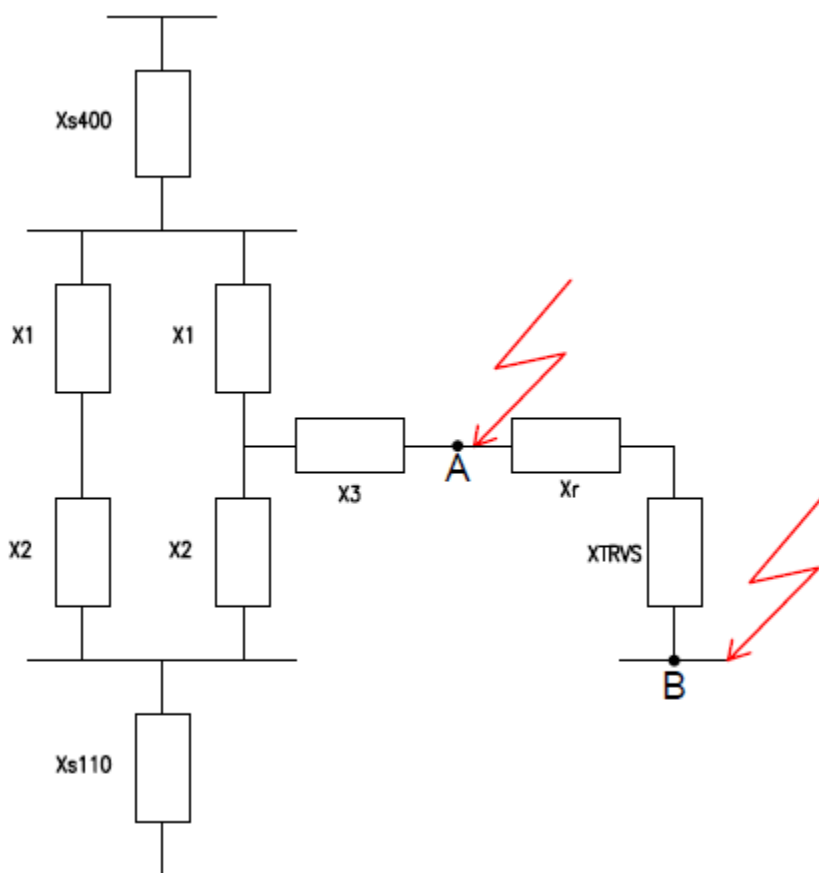


Obrázek 19: Vlastní spotřeba rozvodny Vernéřov včetně úkolů DP

Rozvodna Vernéřov se nachází na severozápadě České republiky. Rozvodna se nachází na mapě plánovaného rozvoje přenosové soustavy ČR na obrázku 1. Nová výstavba rozvodny Vernéřov je na seznamu vybraných plánovaných investičních akcí posilování vedení a rozveden PPS. V úvodu DP popisují všechny cíle mé práce, kterým věnuji následující kapitoly. Hlavní cíle jsem také zvýraznil na schématu VS na obrázku 19.

7.1 Kontrola zkratových proudů

V této části DP je výpočet zkratových proudů včetně schémat postupného zjednodušování. Zkratové proudy jsem vypočítal v bodě A (před reaktorem) i bodě B (za transformátorem VS). Níže je výpočet zkratů s jedním autotransformatorem, a jelikož se v rozvodně Vernéřov do budoucna uvažuje s paralelním zapojením dvou autotransformátorů, je nutné provést výpočet zkratových proudů i pro toto zapojení. Na schématu z obrázku 19 je budoucí paralelní připojení nakresleno přerušovaně.



Obrázek 20: Náhradní schéma pro výpočet zkratového proudu před reaktorem

Zadané hodnoty: Zkratový proud soustavy 400 kV: $I_k'' = 63$ kA
 Zkratový proud soustavy 110 kV: $I_k'' = 27$ kA
 Výkon autotransformátoru $S_{TR} = 350$ MVA
 Vztažný výkon $S_v = S_{TR} = 350$ MVA
 Napětí nakrátko $u_{k12} = 14$ %, $u_{k13} = 35$ %, $u_{k23} = 20$ %

Výpočet zkratového proudu s jedním autotransformátorem

$$x_{s400} = \frac{S_v}{S_{ks}} = \frac{S_v}{I_k'' \cdot U_n \cdot \sqrt{3}} = \frac{350}{63 \cdot \sqrt{3} \cdot 400} = 0,008$$

$$x_{s110} = \frac{S_v}{S_{ks}} = \frac{S_v}{I_k'' \cdot U_n \cdot \sqrt{3}} = \frac{350}{27 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 0,068$$

$$x_1 = \frac{u_{k12} + u_{k13} - u_{k23}}{2} \cdot \frac{S_v}{S_{TR}} = \frac{0,14 + 0,35 - 0,2}{2} \cdot \frac{350}{350} = 0,145$$

$$x_2 = \frac{u_{k12} + u_{k23} - u_{k13}}{2} \cdot \frac{S_v}{S_{TR}} = \frac{0,14 + 0,2 - 0,35}{2} \cdot \frac{350}{350} = -0,005$$

$$x_3 = \frac{u_{k13} + u_{k23} - u_{k12}}{2} \cdot \frac{S_v}{S_{TR}} = \frac{0,35 + 0,2 - 0,14}{2} \cdot \frac{350}{350} = 0,205$$

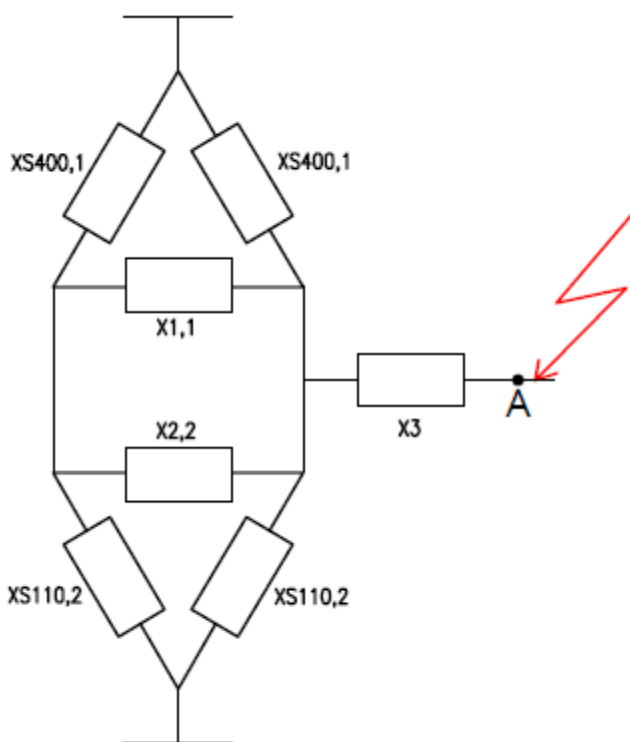
$$x_{celková A} = \frac{(x_{ks400} + x_1) \cdot (x_2 + x_{s110})}{(x_{ks400} + x_1) + (x_2 + x_{s110})} + x_3 = \frac{(0,008 + 0,145) \cdot (-0,005 + 0,068)}{(0,008 + 0,145) + (-0,005 + 0,068)} + 0,205 = 0,25$$

$$S_k = \frac{S_v}{x_{celková A}} = \frac{350 \cdot 10^6}{0,25} = 1\,400 \text{ MVA}$$

$$I_k'' = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n} = \frac{1400 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,1 \cdot 10,5} = 69\,982 \text{ A}$$

Výpočet zkratového proudu s dvěma paralelně pracujícími autotransfornátory

Schéma z obrázku 20 je třeba nahradit schématem níže na obrázku 21. Ve schématu bylo nutné převést zapojení z hvězdy na rovnocenný trojúhelník. Pod obrázkem jsou jednotlivé výpočty reaktancí. Dalším krokem je zjednodušené schéma z obrázku 22, které vede k výpočtu celkové reaktance v bodě A.



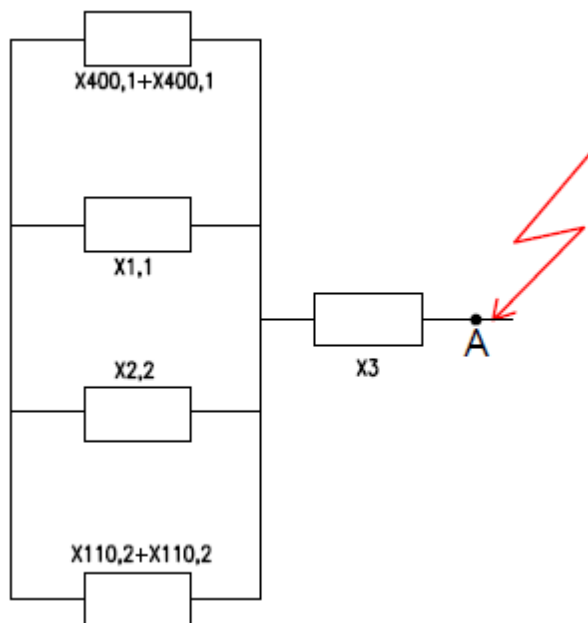
Obrázek 21: Náhrada zapojení hvězdy do trojúhelníku

$$x_{s400,1} = x_{s400} + x_1 + \frac{x_{s400} \cdot x_1}{x_1} = 0,008 + 0,145 + \frac{0,008 \cdot 0,145}{0,145} = 0,161$$

$$x_{1,1} = 0,145 + 0,145 + \frac{0,145 \cdot 0,145}{0,008} = 2,918$$

$$x_{2,2} = -0,005 - 0,005 + \frac{-0,005 \cdot (-0,005)}{0,068} = -0,01$$

$$x_{s110,2} = 0,068 - 0,005 + \frac{0,068 \cdot (-0,005)}{-0,005} = 0,131$$



Obrázek 22: Další krok zjednodušení schématu z obrázku 21

$$x_{400,1} + x_{400,1} = 2 * 0,161 = 0,322$$

$$x_{110,2} + x_{110,2} = 2 * 0,131 = 0,262$$

$$x_{celková A} = \left(\frac{1}{x_{400,1} + x_{400,1}} + \frac{1}{x_{1,1}} + \frac{1}{x_{2,2}} + \frac{1}{x_{110,2} + x_{110,2}} \right)^{-1} + x_3 = 0,194$$

$$S_k = \frac{S_v}{x_{celková A}} = \frac{350 \cdot 10^6}{0,194} = 1\,804 \text{ MVA}$$

$$I_k'' = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n} = \frac{1804 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,1 \cdot 10,5} = 90\,177 \text{ A}$$

$$I_{ke} = k_e \cdot I_k'' = 1,01 \cdot 90177 = 91\,079 \text{ A}$$

$$I_{km} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,7 \cdot \sqrt{2} \cdot 90177 = 216\,800 \text{ A}$$

Hodnotu rázového zkratového proudu využiji k výpočtu dynamického zkratového proudu, který použiji k dimenzování zapojení od terciárního vinutí autotransformátoru ke svorkám reaktoru. Tabulka 9 porovnává zkratové proudy pro napěťové hladiny 10,5 kV a 35 kV.

Tabulka 9: Hodnoty zkratových proudů na napěťové hladině 10,5 a 35 kV před reaktorem

		Napěťová hladina	
Místo zkratu	Druh zkratu	10,5 kV	35 kV
Před reaktorem	Rázový	90 177 A	27 053 A
	Ekvivalentní oteplovací	91 079 A	27 324 A
	Dynamický	216 800 A	65 040 A

V tabulce 9 je hodnota rázového zkratového proudu pro napětí 35 kV rovna 27 053 A. Tato hodnota vyhovuje zkratové odolnosti zařízení pro připojení transformátoru VS umístěném v centrálním domku. Z tohoto důvodu není reaktor potřebný. Dalším krokem ve výpočtu zkratových proudů je navrhnout velikost reaktoru pro napětí 10,5 kV. Obrázek 23 znázorňuje způsob řešení návrhu reaktoru, kde hodnota žádaného rázového zkratového proudu je 12 kA. Pro výpočet zkratového proudu za transformátorem VS je zapotřebí určit poměrnou reaktanci reaktoru, kterou jsem vyjádřil ze vzorce níže.

$$S_{MAX} = \frac{S_v}{x_r + x_{celková A}} \text{ (VA)}$$

kde S_{MAX} je maximální požadovaný zkratový výkon za reaktorem (VA)

S_v je vztažný výkon (VA)

x_r je poměrná reaktance reaktoru

$x_{celková A}$ je celková poměrná reaktance v bodě A

$$x_r = \frac{S_v}{S_{MAX}} - x_{celková A} = \frac{350 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 12000 \cdot 10500} - 0,194 = 1,41$$

Návrh reaktoru

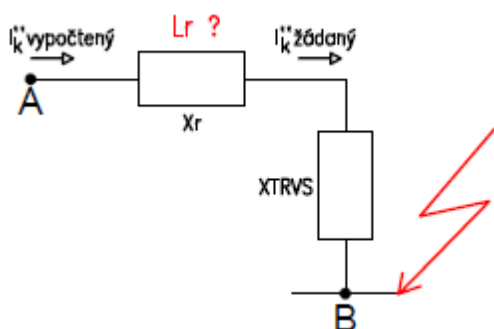
Pro určení indukčnosti reaktoru využiji následujících rovnic. V prvním kroku jsem provedl přepoččet poměrné reaktance na skutečnou hodnotu reaktance X_r (Ω) a v druhém kroku jsem určil indukčnost reaktoru L_r (H).

$$X_r = x_r \cdot \frac{U_n^2}{S_v} = 1,41 \cdot \frac{10500^2}{350 \cdot 10^6} = 0,444 \Omega$$

$$L_r = \frac{X_r}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{0,444}{314} = 1,415 \text{ mH}$$

kde U_n je jmenovité napětí reaktoru (V)

f je frekvence sítě (Hz)



Obrázek 23: Schéma pro výpočet zkratového proudu za transformátorem VS

Poslední částí výpočtu je určení rázového zkratového proudu za transformátorem VS v bodě B. Zjednodušené schéma zobrazuje obrázek 20. Níže je vypočtena poměrná reaktance transformátoru VS. Celková reaktance v bodě B je pak součtem celkové reaktance v bodě A, reaktance transformátoru a reaktance reaktoru.

$$x_{TRVS} = u_k \cdot \frac{S_v}{S_{TR}} = 0,06 \cdot \frac{350 \cdot 10^3}{630} = 33,33$$

$$x_{celková B} = x_{TRVS} + x_r + x_{celková A} = 33,33 + 1,41 + 0,194 = 34,93$$

$$S_k = \frac{S_v}{x_{celková B}} = \frac{350 \cdot 10^6}{34,93} = 10,02 \text{ MVA}$$

$$I_k'' = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n} = \frac{10020}{\sqrt{3} \cdot 1,05 \cdot 0,4} = 13\,774 \text{ A}$$

$$I_{ke} = k_e \cdot I_k'' = 1,01 \cdot 13\,774 = 13\,912 \text{ A}$$

$$I_{km} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 13\,774 = 29\,219 \text{ A}$$

Výpočet zkratového proudu za transformátorem VS pro napěťovou hladinu 35 kV je téměř stejný. Do celkové reaktance není započtena reaktance reaktoru, protože není použit. V tabulka 10 porovnávám zkratové proudy za transformátorem VS. Pro napěťovou hladinu 10,5 kV musí být reaktor použit, protože zařízení pro připojení transformátoru VS v centrálním domku není dimenzované na zkratovou odolnost $I_k'' = 90\,177 \text{ A}$.

Při výpočtech s napěťovou hladinou 35 kV dynamický zkratový proud za transformátorem VS vyšel přibližně o 1 kA více. 30 445 A je stále přijatelná hodnota ohledně dimenzování zařízení v nezajištěné části VS, o které je psáno v části 3.3 Požadavky na zařízení. Hodnota je v tabulce znázorněna tučným písmem.

Tabulka 10: Hodnoty zkratových proudů na napěťové hladině 10,5 a 35 kV a za TR VS

Místo zkratu	Druh zkratu	Napěťová hladina	
		10,5 kV	35 kV
Za transformátorem VS	Rázový	13 774 A	14 352 A
	Ekvivalentní oteplovací	13 912 A	14 495 A
	Dynamický	29 219 A	30 445 A

7.2 Dimenzování připojení VS

V této části s ohledem na velikosti vypočtených zkratových proudů provedu dimenzování připojení reaktoru od terciárního vinutí autotransformátoru pro napěťovou hladinu 10,5 kV a porovnám s připojením bez reaktoru pro napěťovou hladinu 35 kV. Teorie k výpočtu se nachází v části 5.2 a 5.3. Vzorový výpočet naznačím jen pro napěťovou hladinu 10,5 kV, ale celý výpočet postupně zobrazují následující tabulky:

- Tabulka 11 – Ověření průřezu vodiče s ohledem na ekvivalentní oteplovací proud
- Tabulka 12 – Sily mezi fázovými vodiči
- Tabulka 13 – Výpočet vlastního kmitočtu
- Tabulka 14 – Namáhání tuhých vodičů
- Tabulka 15 – Silové namáhání podpěr

Tabulka 11: Ověření průřezu vodiče s ohledem na ekvivalentní oteplovací proud

Poznámka:	Veličina	Napětová hladina		Jednotky
		10,5 kV	35 kV	
Rozměry vodiče	a	10	50	mm
Rozměry vodiče	b	120	10	mm
Ekvivalentní oteplovací p.	I_{ke}	91,08	27,32	kA
Dynamický zkratový p.	I_{km}	216,80	65,04	kA
<u>Kontrola na tepelné účinky zkratového proudu</u>				
Koeficient z rovnice 6	k	81,89	81,89	
Doba vypnutí zkratu	t_k	1,00	1,00	s
Rovnice 6	S_{MIN}	1112,21	333,67	mm ²

V této části výpočtu jsem zvolil rozměr tuhých vodičů s ohledem na tepelné účinky zkratového proudu. Výpočet jsem provedl podle rovnice (6). Doba vypnutí zkratu je 1 s a maximální teplota vodiče při zkratu je 200 °C z tabulky 1.

$$S_{min} = \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_k}}{\sqrt{\frac{c_0(\vartheta+20)}{\rho_{20}} \ln \frac{\vartheta+\vartheta_2}{\vartheta+\vartheta_1}}} = \frac{91080 \cdot \sqrt{1}}{\sqrt{\frac{2,417(228+20)}{0,02941} \ln \frac{228+200}{228+80}}} = 1112,21 \text{ mm}^2$$

Tabulka 12: Sily mezi fázovými vodiči

Poznámka:	Veličina	Napětová hladina		Jednotky
		10,5 kV	35 kV	
<u>Síla mezi fázovými vodiči</u>				
Vysvětlivky rce 10	k_v	0,87	0,87	
Vysvětlivky rce 10	d_m	0,52	0,53	m
Odečteno z obr. 26	k	1,00	1,00	
Křivka obr. 26	b/a	12,00	0,20	
Osa X obr. 26	d/a	52,00	10,60	
Vzdálenost jednotlivých fází	d	520,00	530,00	mm
Vzdálenost podpěr	l	0,50	2,40	m
Rovnice 10	F_m	7863,84	3333,08	N

Pro výpočet síly mezi tuhými vodiči použijí rovnice (10). Zásadní vliv na výpočet, kromě velikosti dynamického zkratového proudu, má vzdálenost jednotlivých fází a vzdálenost podpěr. Minimální vzdušné vzdálenosti jsou uvedeny v tabulce 5. V dalších částech výpočtu bude zřejmé, proč jsem vzdálenost jednotlivých fází pro napětí 10,5 kV volil 520 mm, když tabulka 5 uvádí mnohem menší vzdálenost. Pro napětí 35 kV jsem volil nejmenší dovolenou vzdálenost. K základní hodnotě 400 mm musím připočítat 20 % a rozměr vodiče a (mm), protože 400 mm je doskoková vzdálenost vodičů a ve výpočtu je uvažována osová vzdálenost vodičů.

$$F_m = 2 \cdot k_v \frac{I_{km}^2}{d_m} l \cdot 10^{-7} = 2 \cdot 0,87 \frac{216800^2}{0,52} 0,5 \cdot 10^{-7} = 7\,863,84 \text{ N}$$

Tabulka 13: Výpočet vlastního kmitočtu

		Napěťová hladina		
Poznámka:	Veličina	10,5 kV	35 kV	Jednotky
<u>Výpočet vlastního kmitočtu</u>				
Tabulka 6	γ	3,56	3,56	
Vzdálenost podpěr	l	0,50	2,40	m
Modul pružnosti	E AlMgSi0,5	69000,00		MPa
Vysvětlivky rce 15	J	0,00000001	0,0000001	m^4
Hustota 2700 $kg \cdot m^{-3}$	m'	3,24	1,35	$kg \cdot m^{-1}$
Rovnice 15	f_c	207,81	45,10	Hz
Osa X obr. 28, 29	f_c/f	4,16	0,90	Hz

Důvod výpočtu vlastního kmitočtu popisují v části 5.3.3. Dosazením do rovnice (15) zjistím, že výpočet vlastního kmitočtu mi ovlivní hodnoty koeficientů V_F , které odečtu z obrázku 28. Hodnoty ovlivní výpočet sil namáhajících podpěry.

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m'}} = \frac{3,56}{0,5^2} \cdot \sqrt{\frac{69 \cdot 10^9 \cdot 10^{-8}}{3,24}} = 207,81 \text{ Hz}$$

Tabulka 14: Namáhání tuhých vodičů

Poznámka:	Veličina	Napěťová hladina		Jednotky
		10,5 kV	35 kV	
Namáhání tuhých vodičů				
Tab.25 - Bez OZ > $V_r = 1$	$V_\sigma \cdot V_r$	1,00		
Tabulka 6	β	0,73		
Tabulka 2	Z	0,000002	0,000004	m ³
Rovnice 11	σ_m	179,39	175,19	MPa
Rovnice 12	σ_m MAX pro AlMgSi0,5 je		180	MPa

Vypočtené namáhání tuhých vodičů z rovnice (11) musí být menší, než maximální dovolené namáhání z rovnice (12).

$$\sigma_m = V_r \cdot V_\sigma \cdot \beta \frac{F_m \cdot l}{8 \cdot Z} = 1 \cdot 0,73 \frac{7\,863,84 \cdot 0,5}{8 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = 179,39 \text{ MPa}$$

Tabulka 15: Silové namáhání podpěr

Poznámka:	Veličina	Napěťová hladina		Jednotky
		10,5 kV	35 kV	
Namáhání podpěr				
$\sigma_m / (0,8 \cdot R_{p0,2})$ pro tabulku 25		1,87	1,82	
Obr.28 - Bez OZ > $V_r = 1$	$V_F \cdot V_r$	1,1	1,8	
Tabulky 6 VNĚJŠÍ	α	0,4	0,4	
Tabulky 6 VNITŘNÍ	α	1,1	1,1	
Rovnice 13+14	F_d VNĚJŠÍ	3806	2640	N
	F_d VNITŘNÍ	10467	7259	N

Poslední částí výpočtu je silové namáhání podpěr. Nebudu určovat, kterou podpěru přesně použiji, ale zohledním, že maximální síla na podpěru nepřesáhne 12,5 kN. Jelikož mechanická pevnost dané podpěry je udána jako maximální možná síla působící na vrcholu podpěry, budu silové navýšení vypočtené podle rovnice (14), uvažovat 10 %.

$$F_d = V_r \cdot V_F \cdot \alpha \cdot F_m = 1,1 \cdot 0,4 \cdot 7\,863,84 \cdot 1,1 = 3\,806 \text{ N}$$

$$F_d = V_r \cdot V_F \cdot \alpha \cdot F_m = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 7\,863,84 \cdot 1,1 = 10\,467 \text{ N}$$

Vodič stejných rozměrů uložený nastojato, anebo naležato

V tabulce 16 je vidět rozdíl v uložení stejného vodiče naležato, anebo nastojato. Síla mezi fázovými vodiči je stejná, protože závisí na vzdálenosti jednotlivých fází, na vzdálenosti podpěr a velikosti dynamického zkratového proudu. Tyto hodnoty jsou pro obě uložení stejná. Namáhání tuhých vodičů se ovšem liší. V rovnici (11) má velký vliv na výsledek průřezový modul Z (m^3). Platí, že vodič uložený naležato je mnohem odolnější vůči silovému namáhání, než vodič uložený nastojato. V mém případě je vodič uložený nastojato namáhán přibližně 12 krát více než vodič uložený naležato. V této fázi výpočtu je vodič uložený naležato lepší variantou dimenzování.

Síly působící na podpěry rostou s klesajícím namáháním vodičů. Vztah $\sigma_m/0,8 \cdot R_{p0,2} = 0,16$ a podle instrukcí v tabulce 25 je tedy koeficient $V_F = 2,7$. Proto je silové namáhání na podpěry vodiče uloženého naležato nepřiměřeně velké a vodič uložený nastojato vyhovuje silovému namáhání vodičů i podpěrného systému.

Tabulka 16: Vliv způsobu uložení vodiče

Poznámka:	Veličina	Způsob uložení		Jednotky
		Nastojato	Naležato	
Rozměry vodiče	a	10	120	mm
Rozměry vodiče	b	120	10	mm
<u>Síla mezi fázovými vodiči</u>				
Vzdálenost jednotlivých fází	d	520,00	520,00	mm
Vzdálenost podpěr	l	0,50	0,50	m
Rovnice 10	F_m	7863,84	7863,84	N
<u>Výpočet vlastního kmitočtu</u>				
Osa X obr. 28, 29	f_c/f	4,16	49,87	Hz
<u>Namáhání tuhých vodičů</u>				
Tabulka 2	Z	0,000002	0,000024	m^3
Rovnice 11	σ_m	179,39	14,95	MPa
Rovnice 12	σ_m MAX pro AlMgSi0,5 je		180	MPa
<u>Namáhání podpěr</u>				
$\sigma_m/(0,8 \cdot R_{p0,2})$ pro tabulku 25		1,87	0,16	
Obr.28, tab.25 - Bez OZ > Vr = 1	$V_F \cdot Vr$	1,1	2,7	
Rovnice 13+14	F_d VNĚJŠÍ	3806	9342	N
	F_d VNITŘNÍ	10467	25691	N

7.3 Návrh transformátoru vlastní spotřeby

Tabulka 17: Bilance instalovaného výkonu VS pro TR Verněřov

Popis technologie	Instalovaný S (kVA)	I(A)
CD osvětlení	5	7,3
CD vytápění+klimatizace	32	46,2
domky UDC vytápění	21,25	30,7
domky UDC osvětlení	1	1,5
UPS ATU1; ATU2	18	26,0
nabíječe v CD ATF1 ATF2	24	34,7
nabíječe domku UDS ATW	5	7,3
nabíječe domky UDC 01+03+04+05 ATW	30	43,4
chlazení T401	24	34,7
chlazení T402	24	34,7
temperování R420kV	30,5	44,1
ČZV1	18	26,0
ostatní	10	14,5
venkovní osvětlení ČEPS	100	144,4
osvětlení transformátorů	16,5	23,9
mikafil	100	144,4
Celkový instalovaný výkon	459,25	

Ohledně výkonového návrhu transformátoru VS jsem uvedl bilanční tabulku výkonů 17, kde podle celkového instalovaného výkonu VS zvolím nejbližší vyšší výkon transformátoru. V tabulce chybí pohony vypínačů, odpojovačů a uzemňovačů, které odebírají 10 – 15 A ale pouze při jejich činnosti. Činnost těchto zařízení není častá, proto jejich instalovaný výkon v tabulce neuvádím. V DP pro zjednodušení uvažuji dvouvinuťový transformátor bez regulace. V reálném zapojení by byl použit regulační trojvinuťový transformátor.

Zdánlivý výkon transformátoru VS: $S = 630 \text{ kVA}$

Napětí nakrátko: $u_k = 6 \%$

7.3.1 Úbytky napětí při samonajíždění VS přes transformátor

Poměrná reaktance při samonajíždění

$$x_{sn} = \frac{S_{TRVS}}{i_Z \cdot S_{VS} \cdot \sin\varphi} \cdot \frac{U_n^2}{U_{2t}^2} = \frac{630}{5 \cdot 459,25 \cdot 0,714} \cdot \frac{400}{420} = 0,37$$

Poměrný úbytek napětí na reaktanci

$$\Delta u_s = \frac{x_{TRVS}}{x_{TRVS} + x_{sn}} = \frac{0,06}{0,06 + 0,37} = 0,14$$

Úbytek napětí při samonajždění je 14 % jmenovité hodnoty napětí. Transformátor VS vyhovuje úbytku napětí při samonajždění VS.

7.3.2 Úbytky napětí při spouštění největšího spotřebiče přes transformátor

Největším spotřebičem je mikafil, používaný k filtraci oleje transformátorů nebo venkovní osvětlení areálu. Mikafil i osvětlení mají stejný instalovaný výkon 100 kVA.

Poměrná reaktance zátěže bez největšího spotřebiče

$$x_{BNS} = \frac{S_{TRVS}}{i_Z \cdot S_{VSBNS} \cdot \sin\varphi} \cdot \frac{U_n^2}{U_{2t}^2} = \frac{630}{5 \cdot 359,25 \cdot 0,714} \cdot \frac{400}{420} = 0,47$$

Poměrná reaktance největšího spotřebiče

$$x_{NS} = \frac{S_{TRVS}}{i_Z \cdot S_{NS} \cdot \sin\varphi} \cdot \frac{U_n^2}{U_{2t}^2} = \frac{630}{5 \cdot 100 \cdot 0,714} \cdot \frac{400}{420} = 1,68$$

Poměrný úbytek napětí na reaktanci

$$\Delta u_s = \frac{x_{TRVS}}{x_{TRVS} + \frac{x_{NS} \cdot x_{BNS}}{x_{NS} + x_{BNS}}} = \frac{0,06}{0,06 + \frac{0,47 \cdot 1,68}{0,47 + 1,68}} = 0,14$$

Úbytek napětí při spouštění největšího spotřebiče by neměl překročit 15 % jmenovité hodnoty napětí. Nesmí však překročit hodnotu 20 %. V rovnici výše je úbytek roven 14 % jmenovité hodnoty napětí a transformátor VS tedy vyhověl i na úbytky napětí při spuštění největšího spotřebiče VS.

7.4 Návrh dieselgenerátoru

Tabulka 18: Bilance instalovaného výkonu VS pro TR Verněřov napájenou z DG

Popis technologie	Instalovaný S (kVA)	Zpoždění připnutí	I(A)
UPS ATU1; ATU2	18	t+ 0 min	26,0
nabíječe v CD ATF1 ATF2	24		34,7
nabíječe domky UDC + UDS ATW	36		52,0
osvětlení UDS	5		7,3
osvětlení domky	2,5		3,7
odvětrání	0,5		0,8
pohony	2,5		3,7
chlazení T401	24	t+1 min	34,7
chlazení T402	24	t+2 min	34,7
Celkový instalovaný výkon	136,5		

Ohledně výkonového dimenzování DG se budu řídit bilanční tabulkou výkonů 18, kde jsou uvedeny spotřebiče napájené z nouzového zdroje a zároveň určeno časové rozdělení spotřebičů do skupin ohledně spouštění.

Výkon DG s ohledem na UPS

- Celkový příkon zátěže obsahující usměrňovače je součet výkonů prvních tří řádků. Příkon UPS tedy uvažuji 78 kVA
- $1,4 \cdot 78 = 109,2$ kVA
- $1,1 \cdot 78 + 58,5 = 144,3$ kVA
- Porovnáním druhého a třetího kroku výpočtu je požadovaný výkon DG $S_{DG} = 144,3$ kVA

Výkon DG s ohledem na motory

Budu uvažovat, že v $t=1$ min se spustí chlazení autotransformátoru T401. Motor o účinníku $\cos \varphi = 0,7$ má tedy činný příkon $P = 16,8$ kW. Tabulka 7 uvádí, že pro motor o výkonu $P = 18,5$ kW je zapotřebí DG o výkonu $S_{DG} = 171$ kVA. Rozhodujícím kritériem pro výkon DG bude kontrola úbytků napětí.

7.4.1 Úbytky napětí při spouštění přes DG

Opět budu uvažovat, že záběrný proud je pětinasobkem proudu jmenovitého a rozběh zátěže bude mít pouze jalový příspěvek. Složitější úlohou je správné stanovení přechodné reaktance x' . Při neznalosti přechodné reaktance určitého typu DG lze uvažovat $x' = 30\%$. V katalogu ABB se přechodná reaktance nízkonapěťových generátorů řady AMG 0355 $S_{DG} = 325 - 625$ kVA pohybuje v rozmezí 12,7 – 18,2 %. Budu tedy počítat s hodnotou $x' = 20\%$.

Reaktance jednotlivých sekcí zátěže z tabulky 18

$$x_1 = \frac{S_{DG}}{i_Z \cdot S_{t=0 \min} \cdot \sin \varphi} = \frac{400}{5 \cdot 88,5 \cdot 0,714} = 1,27$$

$$x_2 = x_3 = \frac{S_{DG}}{i_Z \cdot S_{t=1 \min} \cdot \sin \varphi} = \frac{400}{5 \cdot 24 \cdot 0,714} = 4,67$$

Reaktance ze zjednodušeného schématu z obrázku 18

$$x_{t=0 \min} = x_1 = 1,27$$

$$x_{t=1 \min} = \frac{x_1 \cdot x_2}{x_1 + x_2} = \frac{1,27 \cdot 4,67}{1,27 + 4,67} = 1$$

$$x_{t=2 \min} = \frac{x_{t=1 \min} \cdot x_3}{x_{t=1 \min} + x_3} = \frac{1 \cdot 4,67}{1 + 4,67} = 0,82$$

Úbytky napětí při spouštění jednotlivých celků zátěže

$$\Delta u_{t=0 \min} = \frac{x'}{x' + x_{t=0 \min}} = \frac{0,2}{0,2 + 1,27} = 0,14$$

$$\Delta u_{t=1 \min} = \frac{x'}{x' + x_{t=1 \min}} = \frac{0,2}{0,2 + 1} = 0,17$$

$$\Delta u_{t=2 \text{ min}} = \frac{x'}{x' + x_{t=2 \text{ min}}} = \frac{0,2}{0,2+0,82} = 0,2$$

Z výpočtu plyne, že minimální výkon generátoru je 400 kVA, aby byly splněny podmínky ohledně úbytků napětí. V posledních třech rovnicích je postupně vidět úbytky napětí při spínání jednotlivých sekcí. Hodnoty jsou 14 %, 17 % a 20 %. Poslední připnutá zátěž vyhovuje požadavkům třídy G2. Z katalogu Caterpillar bych volil tento DG:

Caterpillar 3406C – 400, Výkon STBY – 400 kVA, Výkon Prime – 365 kVA

8. Závěr

Hlavním cílem diplomové práce bylo na základě vypracování teoretických podkladů navrhnout koncepční řešení připojení vlastní spotřeby včetně návrhu transformátoru a dieselgenerátoru rozvodny Verněřov.

Zásadou správného dimenzování rozvodů je určení proudového zatížení, které jsem podrobně popsal v kapitole 4. Dimenzování připojení vlastní spotřeby je ovlivněno nepříznivými účinky, které způsobují velké hodnoty zkratového proudu. Kontrola, zda průřez vodiče je hospodárný, se neprovádí. Rozvody vlastní spotřeby, jak vyplývá z výše napsaného, jsou ohledně účinků zkratových proudů předimenzované a s úbytky napětí, díky většímu průřezu vodičů, nejsou problémy. Ovšem to nemusí platit pro napájení venkovního osvětlení a domků ochran, které mohou být vzdálené stovky metrů od centrálního domku, z kterého jsou napájeny.

Mým hlavním úkolem bylo vypočítat dynamický zkratový proud a navrhnout připojení vlastní spotřeby tak, aby vyhovělo účinkům proudu. Terciární vinutí autotransformátoru 400/110 kV má napěťovou hladinu 10,5 kV. Mým koncepčním řešením je připojení vlastní spotřeby na napěťové hladině 35 kV. I přes to, že napětí 10,5 kV má mnohem menší doskokové vzdálenosti, vzdálenost jednotlivých fází obou koncepčních řešení je téměř totožná. Připojení na hladině 35 kV tedy nezabere více prostoru a díky menším hodnotám dynamického zkratového proudu není reaktor, omezující účinky proudu, potřebný. Dalším rozdílem v koncepčních řešeních je průřez vodičů, velikost sil namáhajících podpěry a zejména velký rozdíl v rozpětí jednotlivých podpěr. Pro napěťovou hladinu 10,5 kV je tedy zapotřebí mnohem většího počtu podpěr. Vzdálenost podpěr o šířce 10 – 15 cm je 0,5 m. Podpěry jsou ale umístěné na podpěrném systému, který má šířku větší než samotná podpěra. Na obrázku 7 z rozvodny Sokolnice je např. šířka kotvícího podpěrného systému 18 cm. Vzdálenost jednotlivých podpěr musíme volit s ohledem na konstrukční řešení.

Dalším důležitým krokem bylo rozhodnutí o způsobu uložení vodičů. Vodiči uloženými naležato docílím malého namáhání na samotné vodiče. Při tomto uložení jsem ale nebyl schopen navrhnout v rozumných mezích vzdálenost jednotlivých fází a podpěr, na které působí velké síly. Přesné hodnoty zobrazuje tabulka 16, která

porovnává oba způsoby uložení vodičů. Pro napětí 10,5 kV jsem proto volil uložení vodičů nastojato.

Posledním úkolem bylo navrhnout transformátor a dieselgenerátor. Jelikož se jednalo o menší rozvodnu, nárokům na výkonové požadavky zátěže vyhověl transformátor o výkonu 630 kVA. Úbytky napětí při samonajíždění celé vlastní spotřeby i při spouštění největšího spotřebiče vyhověli požadavkům normy provozovatele přenosové soustavy.

Ohledně dimenzování dieselgenerátoru byla rozhodující kontrola na úbytky napětí. Podle pokynů Caterpillar vyšel požadovaný výkon dieselgenerátoru výrazně menší než při kontrole na úbytky napětí. Caterpillar navíc neuvažuje rozdělení zátěže do skupin. Aby navržený dieselgenerátor vyhověl požadavkům třídy G2 musel jsem zátěž rozdělit do tří skupin, které se postupně spouštějí se zpožděním jedné minuty. Kontrola na úbytky napětí je velmi ovlivněna hodnotou přechodné reaktance x' , která může dosahovat i 30%. Katalogy ABB ale uvádějí mnohem menší hodnoty pro dieselgenerátory výkonových tříd 325 – 625 kVA. Pro výpočet jsem ale použil horší vstupní hodnoty. Zátěž o instalovaném výkonu $S = 136,5$ kVA musí být proto napájena dieselgenerátorem o výkonu $S_{DG} = 400$ kVA.

Seznam použité literatury:

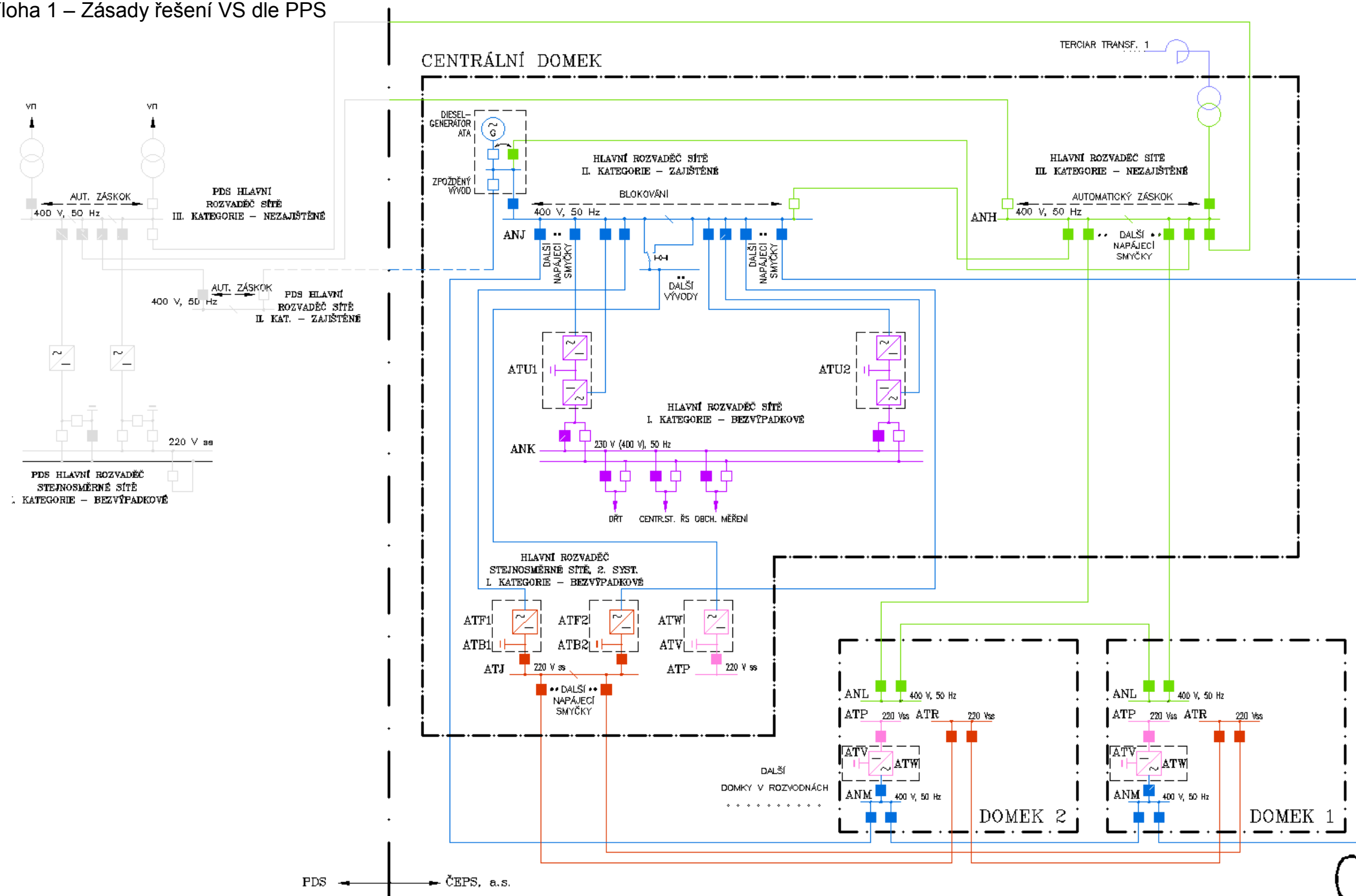
- [1] Čeps, a.s. Elektrárnská 774/2, Praha 10. Všeobecné informace o technické infrastruktuře. Dostupné na WWW: <<http://www.ceps.cz/CZE/Cinnosti/Technicka-infrastruktura/Stranky/Rozvoj-PS.aspx>>
- [2] ČSN 33 3230. *Rozvodny trojfázové pro napětí nad 52 kV*. 1983
- [3] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodná zařízení*. Brno :VUT, 106 s. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [4] REIMAR, Vladislav. Technická norma. Čeps, a.s. Elektrárnská 774/2, Praha 10. *TN-25 Zásady řešení vlastní spotřeby stanic PS*. 2010. 29 s.
- [5] Značky pro spojení a fázové natočení výkonových transformátorů. *Elektro Trh*: elektronický časopis. [online]. srpen 2012. Dostupné na WWW: <<http://www.elektroprumysl.cz/casopis/2012/srpen/index.html#/38/zoomed>>
- [6] ZOUFALÝ, Marek. *Analýza a doporučení změny výkonového přepínače*. Brno, 2012. 49 s. Bakalářská práce. VUT, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Dostupná na WWW: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/8097/Bakal%C3%A1%C5%99sk%C3%A1%20pr%C3%A1ce%20Zoufal%C3%BD%202012.pdf?sequence=1>
- [7] FENCL, František. *Elektrické rozvody a rozvodná zařízení*. Praha : ČVUT, 2009. 198 s. Fakulta elektrotechnická. ISBN 978-80-01-04351-6.
- [8] PANKRÁC, Vítězslav. *Tlumivky v silnoproudé elektrotechnice – část 1 a 2*
- [9] ŠPETLÍK, Jan. *Elektrárny*. Přednášená látka
- [10] ČSN EN 60909-0. *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách – Část 0: Výpočet zkratových proudů*. 2002
- [11] ČSN EN 60865-1. *Zkratové proudy – Výpočet účinků – Část 1: Definice a výpočetní metody*. 1997
- [12] *The Mechanical Effects of Short-Circuit Currents in Open Air Substations (Part II)*, Brochure No. 105, 1996
- [13] ŘEZNÍČEK, Vladimír. Technická norma. Čeps, a.s. Elektrárnská 774/2, Praha 10. *TN-53 Vzdušné vzdálenosti v instalacích na 1 kV*. 2005. 9 s.
- [14] DOČEKAL, Antonín; BOUČEK, Stanislav. *Elektrárny II*. Praha : ČVUT, 1995. 260 s. Fakulta elektrotechnická. ISBN 80-01-01279-4.
- [15] *Electric Power Application, Engine & Generator Sizing*: Caterpillar. 2008. 108 s.

Seznam příloh:

9. Přílohy.....	74
9.1 Příloha 1 - Zásady řešení VS dle PPS	74
9.2 Příloha 2 – Zásady dimenzování.....	75
9.3 Příloha 3 – Zkratové proudy.....	79

9. Přílohy

9.1 Příloha 1 – Zásady řešení VS dle PPS



Obrázek 24: Zásadní schéma vlastní spotřeby dle PPS

9.2 Příloha 2 – Zásady dimenzování

Tabulka 19: Informativní hodnoty měrného tepelného odporu půdy pro různá uložení a vlhkosti

Půda nebo jiný materiál	Měrný tepelný odpor K . m/W
Půda mírně zvlhlá	
jílovitá (8 – 12 % vlhkosti)	1,10
hlinitá (4 – 8 % vlhkosti)	1,40
písečná (2 – 5 % vlhkosti)	0,70
Půda vlhká	
jílovitá (30 – 40 % vlhkosti)	0,70
hlinitá (20 – 30 % vlhkosti)	0,75
písečná (10 – 20 % vlhkosti)	0,5
Černá zem (30 – 40 % vlhkosti)	0,45
Žula	0,35
Vápenec	0,60
Křída	1,00
Beton	0,80 – 1,1
Zedř z vlhkých cihel	1,10
Zedř ze suchých cihel	1,90
Zedř z kamene	0,50


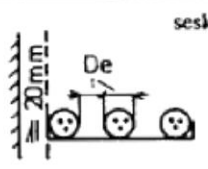

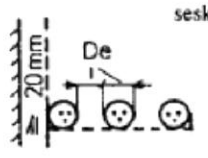

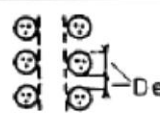
Tabulka 20: Přepočítávací součinitelé proudové zatížitelnosti pro půdu o různém měrném tepelném odporu

Druh kabelu	Měrný tepelný odpor půdy [K.m/W]								
	0,4	0,6	0,7	0,8	1	1,5	2	2,5	
Celoplastové kabely	1,1	1,05	1,00	0,96	0,90	0,76	0,71	0,64	
Kabely s papírovou izolací a kovovým pláštěm	1kV	1,16	1,05	1,00	0,96	0,89	0,76	0,67	0,62
	6 kV	1,14	1,05	1,00	0,96	0,90	0,78	0,69	0,63
	10 kV								
Trojplášťové kabely 22 a 35 kV	1,09	1,04	1,00	0,97	0,92	0,82	0,74	0,68	
Jednožilové kabely 22 a 35 kV	1,14	1,05	1,00	0,96	0,90	0,78	0,69	0,63	

Tabulka 21: Přepočítávací součinitelé pro okolní teploty země odlišné od 20 °C

Nejvyšší dovolená provozní teplota jádra [°C]	Teplota prostředí [°C]									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
60	1,29	1,22	1,15	1,08	1	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
65	1,25	1,20	1,13	1,07	1	0,93	0,85	0,76	0,65	0,53
70	1,22	1,17	1,12	1,06	1	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
75	1,20	1,15	1,11	1,05	1	0,94	0,88	0,82	0,74	0,67
80	1,18	1,14	1,10	1,05	1	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71
85	1,17	1,13	1,09	1,04	1	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74
90	1,15	1,12	1,08	1,04	1	0,96	0,91	0,87	0,82	0,76
95	1,11	1,08	1,06	1,03	1	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85

Tabulka 22: Přepočítávací součinitelé pro různá seskupení vícežilových kabelů na vzduchu

Způsob uložení podle tab. 52-B2			Počet kabelů						
			Počet lávek	1	2	3	4	6	9
Neperforované lávky (poznámka 3)	H	 <p>seskupené těsně</p>	1	0,95	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70
			2	0,95	0,85	0,75	0,75	0,70	0,65
			3	0,95	0,85	0,75	0,70	0,65	0,60
		 <p>seskupené volně</p>	1	1,00	0,95	0,95	0,95	0,90	–
			2	0,95	0,95	0,90	0,90	0,85	–
			3	0,95	0,95	0,90	0,90	0,85	–
Perforované lávky (poznámka 3)	J	 <p>seskupené těsně</p>	1	1,00	0,90	0,80	0,80	0,75	0,75
			2	1,00	0,85	0,80	0,75	0,75	0,70
			3	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65
		 <p>seskupené volně</p>	1	1,00	1,00	1,00	0,95	0,90	–
			2	1,00	1,00	0,95	0,90	0,85	–
			3	1,00	1,00	0,95	0,90	0,85	–
Svislé perforované lávky (poznámka 4)	K	 <p>seskupené těsně</p>	1	1,00	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70
			2	1,00	0,90	0,80	0,75	0,70	0,70
		 <p>seskupené volně</p>	1	1,00	0,90	0,90	0,90	0,85	–
			2	1,00	0,90	0,90	0,85	0,85	–

Tabulka 23: Jmenovitý proud I_{nv} holých obdélníkových Al vodičů

Uspořádání	Jednoduchý vodič svisle uložený		Dvojnásobný vodič svisle uložený		Jednoduchý vodič vodorovně uložený		Dvojnásobný vodič vodorovně uložený	
	nenatřený	natřený	nenatřený	natřený	nenatřený	natřený	nenatřený	natřený
16x2	138	168	271	314	128	160	249	295
16x3	174	211	340	395	162	202	317	375
16x10	358	440	703	837	350	434	688	824
20x2	167	205	326	377	154	194	298	354
20x3	209	256	408	474	194	244	377	448
20x5	280	343	547	640	264	331	514	612
25x3	252	311	490	571	233	295	451	537
25x5	335	415	650	749	314	398	610	729
32x3	311	387	602	70	286	367	550	658
32x5	412	513	799	936	383	491	736	713
32x10	613	768	1194	1415	584	745	1134	136
40x3	376	473	726	850	344	448	661	794
40x5	496	624	960	1127	460	595	884	1063
40x10	734	925	1425	1689	694	894	1328	1569
50x5	600	760	1156	1369	55	724	1059	1280
50x10	882	1120	1705	2024	828	1078	1579	1877
63x5	731	935	1405	1659	672	890	1280	1555
63x10	1069	1367	2058	2448	997	1330	1895	2269
80x5	899	1161	1720	2041	823	1103	1561	1909
80x10	1307	1688	2507	2992	1213	1617	2296	2771
100x5	1091	1423	2082	2482	997	1352	1883	2317
100x10	1580	2059	3056	3748	1461	1969	2754	3351
100x16	2039	2660	3928	4784	1907	2560	358	4318
125x10	1914	2518	3646	4387	1764	2406	3329	4127
160x10	2371	3152	4499	5443	2178	3010	4090	5110
160x16	3038	4039	5776	7015	2814	3873	5278	6537
200x10	2882	3868	5448	6630	2641	3693	4937	6217

Tabulka 24: Jmenovitý proud silových kabelů AYKCY a AYKCYDY

Počet žil a jmenovitý průřez [mm ²]	10 - AYKCY			10 - CYKCY		
	I_{nv} [A]	ϑ_p [°C]	I_{nz} [A]			
3 x 16	72	54	89	93	54	114
3 x 25	91		111	117		143
3 x 35	109	53	132	141	53	170
3 x 50	133		158	172		204
3 x 70	160	52	188	206	52	242
3 x 95	191		221	246		285
3 x 120	217	51	249	279	51	320
3 x 150	244		279	314		358
3 x 185	275	50	310	353	50	398
3 x 240	316		355	405		453

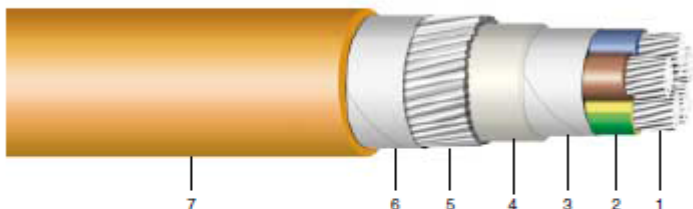
NOPOVIC 1-AXKHDH-R

Bezhalogenové ohnlodolné kabely / Halogen-Free Fire-Resistant Cables



Technická specifikace
/ Technical specification

TP-KK-153/05



Konstrukce:

1. Hliníkové jádro tř. 1 nebo 2
2. Izolace XLPE
3. Páska
4. Vnitřní plášť HFFR
5. Pancíř z ocelových pozinkovaných drátů
6. Páska
7. Plášť HFFR

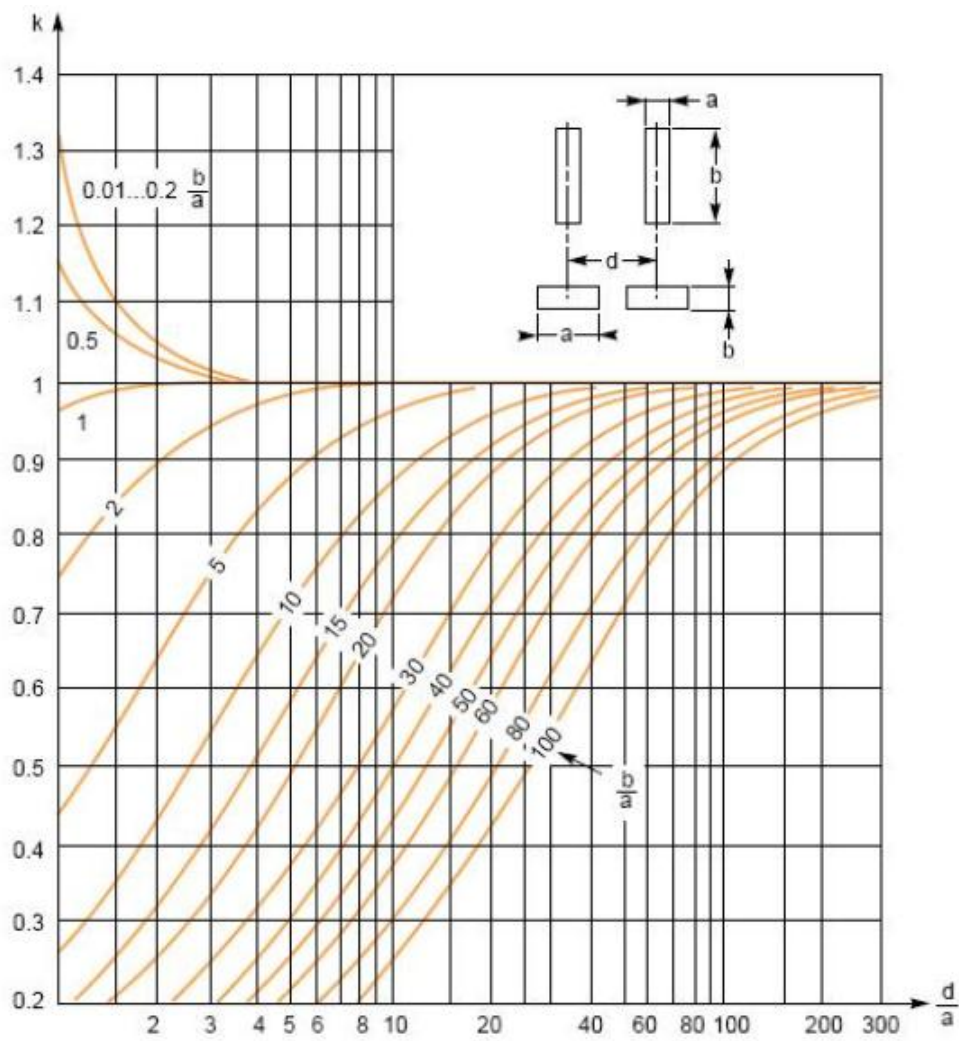
Construction:

1. Alu conductor class 1 or 2
2. XLPE insulation
3. Tape
4. HFFR inner sheath
5. Armouring of galvanized round steel wires
6. Tape
7. HFFR sheath

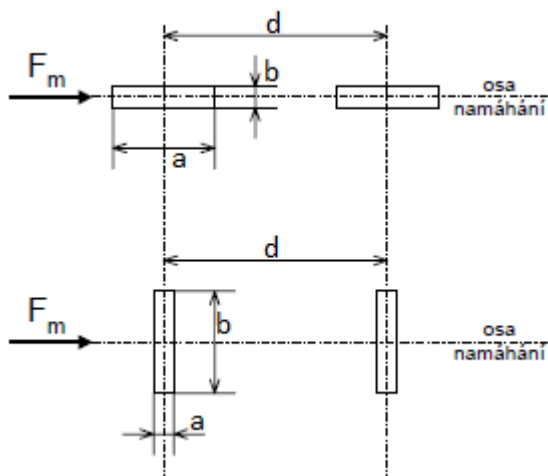
Počet a průřez žil (mm²)	Tvar jádra	Průměr (Int.) (mm)	Hmotnost (Int.) (kg/km)	Poloměr ohybu (mm)	Činný odpor vod. jader (Ω/km)	Ekvivalentní zkrat. proud (kA)	Časová oteplovací konstanta (sec)	Zátěžnost na vzduchu (A)	Indukčnost (mH/km)	Obsah Al (kg/km)
No. of cores & nominal cross-section (mm²)	Shape of the conductor	Cable diameter (app.) (mm)	Cable mass (app.) (kg/km)	Radius of bend (mm)	Effective resistance of conductors (Ω/km)	Short circuit current equiv. (kA)	Time heating constant (min)	Current carrying capacity in air (A)	Cable inductivity (mH/km)	Content Al (kg/km)
4x185	SM	50	3280	750	0,164	17 390	1050	360	0,244	2220
4x240	SM	56	4120	840	0,125	22 560	1260	430	0,243	2880
3x95+50	SM	37	1550	444	0,320,641	8930	656	235	0,24	1005
3x120+70	SM	41	1950	492	0,253/0,443	11 280	770	273	0,24	1290
3x150+70	SM	44	2370	660	0,206/0,443	14 100	925	315	0,241	1560
3x185+95	SM	49	2970	735	0,164/0,32	17 390	1050	360	0,241	1950
3x240+120	SM	55	3710	825	0,125/0,253	22 560	1260	430	0,239	2520

Obrázek 25: Kabel z katalogu NTK cables pro napětovou hladinu nn

9.3 Příloha 3 – Zkratové proudy

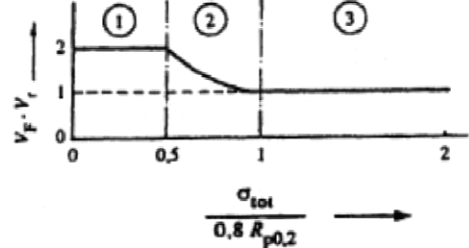
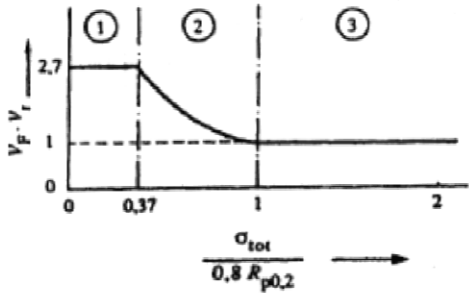


Obrázek 26: Součinitel k pro výpočet účinné vzdálenosti vodiče




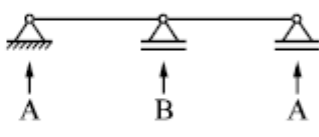
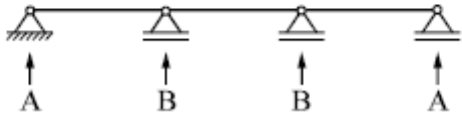


Obrázek 27: Vztažná osa ohybového namáhání pro různá uspořádání jednoduchých vodičů


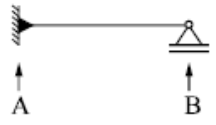
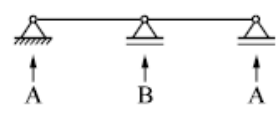
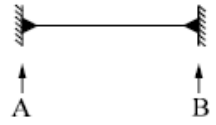
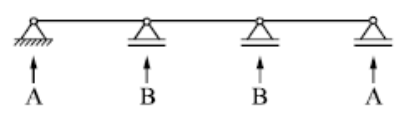
Tabulka 25: Maximální možné hodnoty $(V_{\sigma} \cdot V_r)$, $(V_F \cdot V_r)$

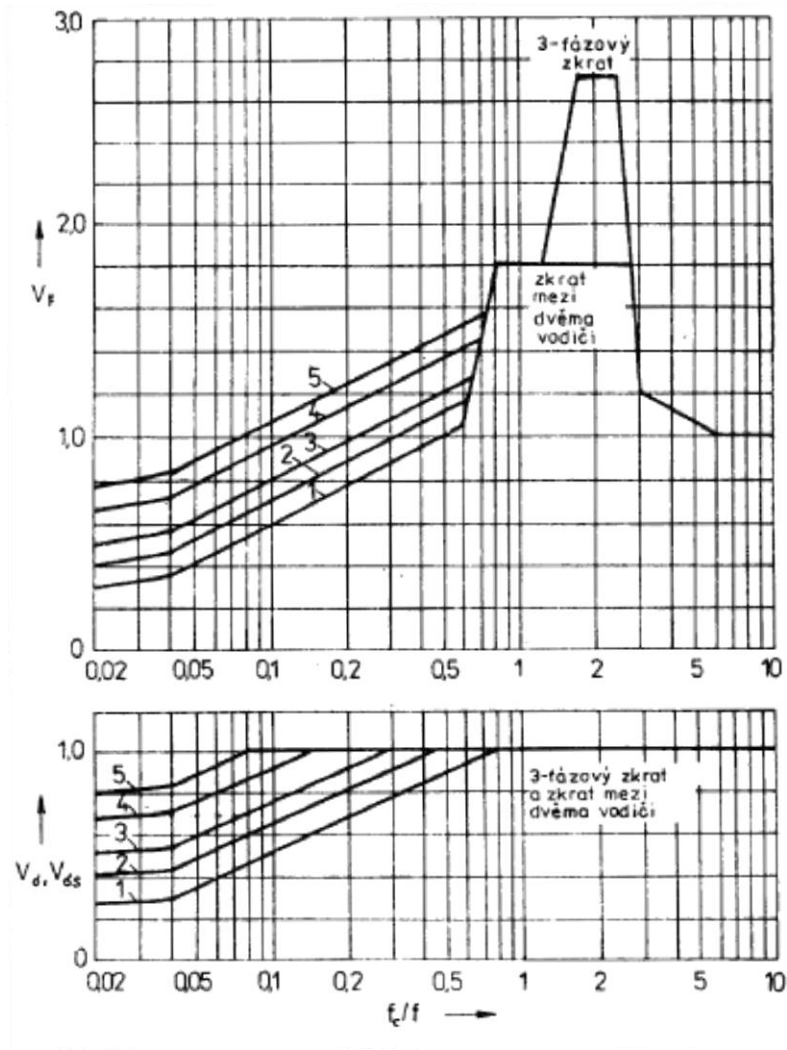
Druh zkratu	System		
	Bez trojfázového OZ	S trojfázovým OZ	S a bez trojfázového OZ
	$V_{\sigma} V_r V_{\sigma} V_r$	$V_{\sigma} V_r V_{\sigma} V_r$	$V_F V_r$
mezi dvěma vodiči	1,0	1,8	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> <p>2,0 pro $\frac{\sigma_{tot}}{0,8 R_{p0,2}} \leq 0,5$</p> <p>$\frac{0,8 R_{p0,2}}{\sigma_{tot}}$ pro $0,5 < \frac{\sigma_{tot}}{0,8 R_{p0,2}} < 1,0$</p> <p>1,0 pro $1,0 \leq \frac{\sigma_{tot}}{0,8 R_{p0,2}}$</p> </div> <div style="width: 35%; text-align: right;"> <p>Oblast</p> <p>①</p> <p>②</p> <p>③</p> </div> </div> 
trojfázový	1,0	1,8	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> <p>2,7 pro $\frac{\sigma_{tot}}{0,8 R_{p0,2}} \leq 0,370$</p> <p>$\frac{0,8 R_{p0,2}}{\sigma_{tot}}$ pro $0,370 < \frac{\sigma_{tot}}{0,8 R_{p0,2}} < 1,0$</p> <p>1,0 pro $1,0 \leq \frac{\sigma_{tot}}{0,8 R_{p0,2}}$</p> </div> <div style="width: 35%; text-align: right;"> <p>Oblast</p> <p>①</p> <p>②</p> <p>③</p> </div> </div> 

Tabulka 26: Součinitelé α, β pro různé umístění a typ podpěr

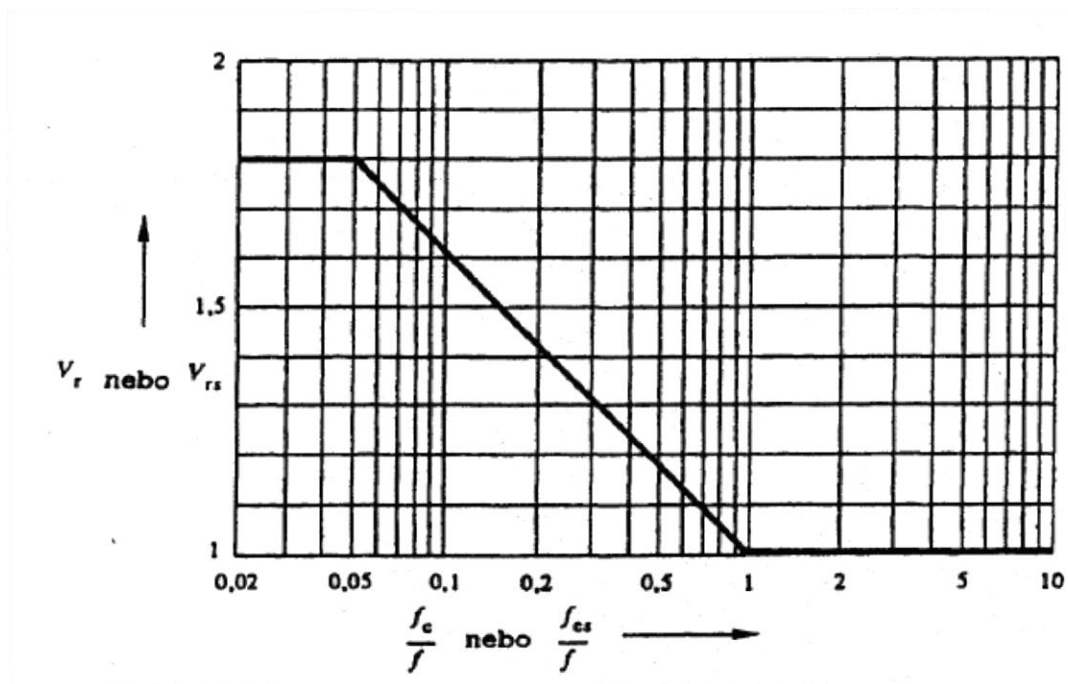
type of beam and support		α	β
single span beam	A and B: supported 	A: 0,5 B: 0,5	1,0
	A: fixed B: supported 	A: 0,625 B: 0,375	$\frac{8}{11} = 0,73$
	A and B: fixed 	A: 0,5 B: 0,5	$\frac{8}{16} = 0,5$
continuous beam with equidistant supports	two spans 	A: 0,375 B: 1,25	$\frac{8}{11} = 0,73$
	3 or more spans 	A: 0,4 B: 1,1	$\frac{8}{11} = 0,73$

Tabulka 27: Součinitel γ pro různé umístění a typ podpěr

type of beam and support		γ
single span beam	continuous beam with equidistant supports	
A and B: supported 		1,57
A: fixed B: supported 	two spans 	2,45
A and B: fixed 	3 or more spans 	3,56



Obrázek 28: Součinitelé V_{σ}, V_F podle velikosti nárazového součinitele κ , kde $1 - \kappa = 1,6$, $2 - \kappa = 1,4$, $3 - \kappa = 1,25$, $4 - \kappa = 1,1$, $5 - \kappa = 1$



Obrázek 29: Součinitel V_r pro trojfázové OZ (opětovné zapnutí)

Tabulka 28: Součinitel k_e

Místo zkratu	T_n (s)	k_e pro t_k (s)								
		0,02	0,04	0,05	0,08	0,1	0,2	0,5	1	3
za alternátorem; do 55 MW ¹⁾	0,16	1,65	1,6	1,58	1,54	1,5	1,46	1,23	1,08	1,03
v soustavě ²⁾										
vvn a zvn	0,03	1,44	1,32	1,24	1,16	1,13	1,07	1,03	1,01	1,00
vn	0,02	1,35	1,24	1,17	1,11	1,09	1,05	1,02	1,01	1,00
nn	0,01	1,24	1,15	1,10	1,07	1,05	1,03	1,01	1,00	1,00
v kabelovém rozvodu nn ²⁾	0,008	1,18	1,11	1,08	1,05	1,04	1,02	1,01	1,00	1,00
za transformátory ³⁾										
vvn/vn nebo vn/nn	0,036	1,49	1,37	1,29	1,20	1,17	1,09	1,04	1,02	1,01
vn/nn do 250 kVA včetně	0,008	1,18	1,11	1,08	1,05	1,04	1,02	1,01	1,00	1,00
do 630 kVA včetně	0,014	1,29	1,18	1,13	1,09	1,07	1,04	1,01	1,01	1,00
do 1600 kVA včetně	0,019	1,35	1,24	1,17	1,11	1,09	1,05	1,02	1,01	1,00

POZNÁMKA 1 - Pro zkrat v blízkosti alternátoru nebo za blokovým transformátorem;
 POZNÁMKA 2 - Pro zkrat vzdálený od napájecího transformátoru i alternátoru (impedance mezi místem zkratu a napájecím transformátorem je větší než 10% ze sousledné impedance zkratového obvodu)
 POZNÁMKA 3 - Pro zkrat v blízkosti sekundární strany transformátoru (impedance mezi místem zkratu a napájecím transformátorem je do 10% ze sousledné impedance zkratového obvodu)

Tabulka 29: Součinitel κ

místo zkratu	bez asynchronních motorů	s asynchronními motory ⁴⁾
za alternátory do 55 MW ¹⁾	1,95	2,7
v soustavě vvn, zvn	1,7	-
v soustavě vn	1,6	2,4
v soustavě nn	1,4	-
v kabelovém rozvodu nn ²⁾	1,3	1,9
za transformátory ³⁾		
vvn/vn nebo vn/nn	1,7	2,5
vn/nn do 250 kVA včetně	1,3	1,9
do 630 kVA včetně	1,5	2,1
do 1600 kVA včetně	1,6	2,3

POZNÁMKA 1 - Pro zkrat v blízkosti alternátoru nebo za blokovým transformátorem;
 POZNÁMKA 2 - Pro zkrat vzdálený od napájecího transformátoru i alternátoru (impedance mezi místem zkratu a napájecím transformátorem je větší než 10% ze sousledné impedance zkr. obvodu)
 POZNÁMKA 3 - Pro zkrat v blízkosti sekundární strany transformátoru (impedance mezi místem zkratu a napájecím transformátorem je do 10% ze sousledné impedance zkratového obvodu)
 POZNÁMKA 4 - Hodnoty součinitele κ ve sloupci II slouží k orientačnímu stanovení nárazového zkratového proudu v el. rozvodu s asynchronními motory. Při výpočtu se použije hodnota počátečního rázového zkratového proudu stanovená bez příspěvku asynchronních motorů.

Tabulka 30: Hmotnost vodičů Al a Cu

Al											
rozměr [mm]	m' [kg/m]	rozměr [mm]	m' [kg/m]	rozměr [mm]	m' [kg/m]	rozměr [mm]	m' [kg/m]	rozměr [mm]	m' [kg/m]	rozměr [mm]	m' [kg/m]
16x2	0,086	20x5	0,270	32x3	0,259	40x10	1,080	63x8	1,460	100x10	2,700
16x3	0,130	20x8	0,432	32x5	0,432	50x5	0,675	63x10	1,700	100x16	4,320
16x5	0,216	20x10	0,540	32x8	0,691	50x8	1,080	80x5	1,080	125x10	3,380
16x8	0,346	25x3	0,203	32x10	0,864	50x10	1,350	80x8	1,728	160x10	4,320
16x10	0,432	25x5	0,338	40x3	1,380	60x5	0,810	80x10	2,160	160x16	6,858
20x2	0,108	25x8	0,540	40x5	0,540	60x10	1,620	100x5	1,350	200x10	5,400
20x3	0,162	25x10	0,675	40x8	0,864	63x5	0,851	100x8	2,160	200x16	8,640
Cu											
rozměr [mm]	m' [kg/m]	rozměr [mm]	m' [kg/m]	rozměr [mm]	m' [kg/m]	rozměr [mm]	m' [kg/m]	rozměr [mm]	m' [kg/m]	rozměr [mm]	m' [kg/m]
16x2	0,285	20x5	0,890	32x3	0,855	40x10	3,560	63x10	5,607	100x10	8,900
16x3	0,427	20x8	1,424	32x5	1,424	50x5	2,225	70x5	3,115	100x16	14,24
16x5	0,712	20x10	1,780	32x8	2,280	50x8	3,560	80x5	3,560	120x10	10,68
16x8	1,140	25x3	0,668	32x10	2,848	50x10	4,450	80x8	5,696	160x16	14,24
16x10	1,424	25x5	1,113	40x3	1,067	60x5	2,670	80x10	7,120	160x16	22,78
20x2	0,356	25x8	1,780	40x5	1,780	60x8	4,270	100x5	4,450	180x16	25,63
20x3	0,534	25x10	2,225	40x8	2,848	60x10	5,340	100x8	7,120	200x20	35,60

