

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra výkonové elektroniky a strojů



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Distribuční vedení – konstrukce, způsob provozu a návrh

Autor: Ondřej Slavík

Studijní obor: Elektrotechnika a energetika

Vedoucí práce: Doc. Ing. Lucie Noháčová, Ph.D.

Plzeň 2021

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Ondřej SLAVÍK**
Osobní číslo: **E18B0204P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Téma práce: **Distribuční vedení – konstrukce, způsob provozu a návrh**
Zadávací katedra: **Katedra výkonové elektroniky a strojů**

Zásady pro vypracování

Bakalářská práce „Distribuční vedení – konstrukce, způsob provozu a návrh“ bude zaměřena na tyto body:

1. Uveďte základní způsoby provozovaných distribučních vedení.
2. Charakterizujte stávající způsoby a konstrukční provedení a porovnejte je i s vybranými novodobými zahraničními trendy.
3. Vypracujte návrh vedení pro konkrétní situaci.
4. Porovnejte varianty z hlediska technického i ekonomického řešení.

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

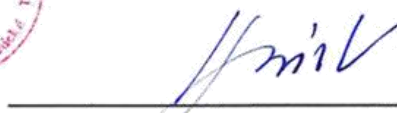
1. Skripta k předmětu „Energetika I“ a „Elektrické přístroje“.
2. Přednášky a podklady k předmětu „Energetika I“ a „Elektrické přístroje“.
3. Student si další vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího a konzultanta práce, včetně internetových podkladů.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Lucie Noháčová, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky

Datum zadání bakalářské práce: **9. října 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2021**



Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan



Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

Abstrakt

Tato bakalářská práce řeší teoretické a praktické provedení venkovního distribučního vedení na území České republiky.

Teoretická část je zaměřena na základní způsoby provozovaných distribučních venkovních vedení, konkrétně na topologii sítě a provedení uzemnění uzlu sítě se zemí. Dále jsou popsány stávající způsoby a konstrukční provedení distribučních sítí. Na konci teoretické části jsou novodobé zahraniční trendy.

Praktická část je zpracována ve spolupráci se společností ČEZ Distribuce, a.s. a zabývá se připojením nové výroby elektrické energie do distribuční soustavy. Navrhuji připojení vedení od zdroje ke vstupnímu uzlu do soustavy.

Klíčová slova

venkovní vedení, distribuční vedení, kabel, ochrana, uzemnění sítě, stožár, ochranné jiskřiště, izolátor, AlFe lano, spínací přístroje, odpínač, úsečník, přepětí, zemnicí lano

Abstract

This bachelor's thesis deals with the theoretical and practical implementation of outdoor distribution lines in the Czech Republic.

The theoretical part is focused on the basic methods of operating outdoor distribution lines, namely the network topology and the grounding of the network node with the ground. The existing methods and design of distribution networks are described below. At the end of the theoretical part there are modern foreign trends.

The practical part is processed in cooperation with ČEZ Distribuce, a.s. and deals with the connection of a new power generation plant to the distribution system. I suggest we connect the power lines from source to access node to the system.

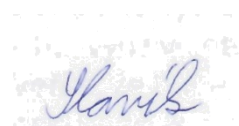
Keywords

outdoor power line, distribution line, cable, protection, system grounding, electricity pylon, protective spark gap, insulator, AlFe line, switching devices, isolator, sitting duck, overvoltage, ground cable

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou závěrečnou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Dále prohlašuji, že všechny použité programy ke zpracování byly legální.

V Plzni, dne 27.05.2021



.....
Ondřej Slavík

Poděkování

Chtěl bych poděkovat mé vedoucí bakalářské práce, paní doc. Ing. Lucii Noháčové, Ph.D. nejen za odborné vedení, cenné rady a poskytnutý čas, ale hlavně za ochotu a trpělivost. Nadále bych rád poděkoval panu Ing. Václavovi Kropáčkovi, Ph.D. za ochotu při konzultacích v praktické části bakalářské práce, a v neposlední řadě bych rád poděkoval zejména své rodině za maximální podporu během studia.

Ondřej Slavík

Obsah

Obsah	8
Úvod.....	11
Seznam použitých zkratk.....	12
1. Základní způsoby provozovaných distribučních vedení.....	14
1.1 Elektrická vedení.....	14
1.1.1 Venkovní vedení	14
1.1.2 Kabelové vedení.....	15
1.2 Principiální řešení sítí z hlediska uspořádání	15
1.2.1 Otevřený rozvod.....	15
1.2.2 Uzavřený rozvod	16
1.3 Provoz sítě z hlediska spojení uzlu vinutí transformátoru se zemí	17
1.3.1 Síť izolované.....	17
1.3.2 Síť účinně uzemněné	18
1.3.3 Síť neúčinně uzemněná.....	19
1.3.4 Síť kompenzované přes tlumivku	19
1.3.5 Síť s nepřímo uzemněným uzlem přes R.....	19
2. Konstrukční provedení	21
2.1 Stožáry a sloupy	21
2.1.1 Betonové sloupy.....	21
2.1.2 Dřevěné sloupy	21
2.1.3 Stožáry	22
2.2 Konzole	23
2.3 Fázové vodiče.....	23
2.3.1 Holé vodiče	24
2.3.2 Izolované vodiče	24
2.3.3 Kabelové vodiče.....	25
2.3.4 Speciální typy vodičů.....	25

2.4	Izolátory	25
2.4.1	Podpěrné izolátory	25
2.4.2	Závěsné izolátory	26
2.4.3	Kotevní izolátory	26
2.5	Tlumiče vibrací, distanční rozpěrky	26
2.6	Svodiče přepětí	27
2.6.1	Zemnicí lana.....	28
2.6.2	Ochranné koordinační jiskřiště	28
2.6.3	Vyfukovací bleskojistka (Torokova trubice)	29
2.6.4	Ventilová bleskojistka.....	29
2.6.5	Omezovače přepětí.....	29
2.7	Spínací přístroje.....	30
2.7.1	Vypínače VVN a VN	30
2.7.2	Odpínače	30
2.7.3	Odpojovače	31
2.8	Novodobé zahraniční trendy	31
2.8.1	Vysokoteplotní vodiče	31
2.8.2	ACCC (Aluminum Conductor Composite Core).....	32
2.8.3	System ACCC InfoCore	32
2.8.4	Stejnoseměrné sítě	33
3.	Návrh vedení pro konkrétní situaci	35
3.1	Parametry vedení.....	36
3.1.1	Zkratové poměry na vedení.....	36
3.2	Výpočet parametrů vedení	38
3.2.1	Vedení v základním napájecím stavu (vedení A)	40
3.2.2	Vedení v záložním napájecím stavu (vedení B).....	41
3.3	Dimenzování vedení.....	43

3.3.1	Dimenzování dle hospodárnosti.....	43
3.3.2	Dimenzování dle úbytku napětí	44
4.	Porovnání variant z technického i ekonomického hlediska.....	45
	Závěr	46
	Seznam literatury a informačních zdrojů	48

Úvod

Nedílnou součástí dnešní doby je elektrická energie. Touto tematikou se zabývá hned několik oborů, jeden z nich je elektroenergetika. Ta se zaměřuje na výrobu, přenos, distribuci a spotřebu elektrické energie. Během těchto procesů mohou vzniknout nežádoucí jevy, které musíme korektním způsobem řešit.

Smyslem mé práce bylo nastínit problematiku distribuce elektrické energie. Distribuce je prováděna dvěma způsoby, a to kabelovým nebo venkovním vedením. Já se budu zabývat venkovním distribučním vedením.

V teoretické části se budu zabývat základním konstrukčním provedením a způsobem provozování distribučních venkovních vedení. Dále se budu věnovat stávajícím způsobům a konstrukčním provedením a vybraným novodobým trendům.

V praktické části se věnuji návrhu konkrétní situace. Kde budu zjišťovat parametry sítě a možnosti připojení zdroje k distribuční soustavě. Poté provedu dimenzování vedení, které je vyvedeno z FVE a připojeno do distribuční sítě.

Seznam použitých zkratk

$\Delta u_{AV\%}$ (%)	Úbytek na vedení v procentech
Δu_{AV} (V)	Úbytek napětí
$\cos \varphi$ (°)	Účinník v předávacím místě
I_k'' (A)	Počáteční rázový zkratový proud
R_V (Ω)	Odpor vedení
R_{VK} (Ω)	Odpor vedení na km délky
S_{Amax} (VA)	Maximální připojitelný výkon
S_{KS}'' (VA)	Zkratový výkon soustavy při 3f zkratu
S_{NT} (VA)	Jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru
U_{NS} (V)	Jmenovité napětí soustavy
U_n (V)	Jmenovité napětí v místě zkratu
X_1 (Ω)	Reaktance na původní napěťové hladině
X_2 (Ω)	Reaktance přepočtená na napěťovou hladinu v místě zkratu
X_V (Ω)	Reaktance vedení
X_{VK} (Ω)	Reaktance vedení na km délky
Z_{ES} (Ω)	Impedance elektrizační soustavy
Z_T (Ω)	Impedance transformátoru
Z_c (Ω)	Celková zkratová impedance
$u_{k\%}$ (%)	Napětí nakrátko
A (kWh)	Energie v provozu přenesená za rok
c (-)	Napěťový součinitel
FVE	Fotovoltaická elektrárna
I_p (A)	Výpočtový proud
k (-)	Součinitel závislý na materiálu jádra vodiče a na izolaci
l (km)	Délka vedení
nn	Nízké napětí
OZ	Opětovné zapnutí
OZE	Obnovitelné zdroje energie
p (-)	Převod
P_p (kW)	Výpočtové zatížení

S (mm ²)	Vypočítaný průřez vodiče
T ($\frac{\text{hod}}{\text{rok}}$)	Doba plných ztrát za rok
t ($\frac{\text{hod}}{\text{rok}}$)	Počet provozních hodin zatížení
vvv	Velmi vysoké napětí
ZS	Zemní spojení
Ψ (°)	Úhel komplexní impedance

1. Základní způsoby provozovaných distribučních vedení

Distribuční sítě umožňují rozvod elektrické energie spotřebitelům. Do této sítě jsou připojovány pouze výrobní zdroje malého výkonu. Jsou to malé průmyslové elektrárny, kogenerační jednotky a obnovitelné zdroje elektrické energie. Hlavním zdrojem distribuční soustavy je přenosová soustava.

Elektrická vedení lze realizovat dvěma způsoby, nejen venkovním, ale i kabelovým vedením. Při volbě vedení je důležité zohlednit ekonomickou stránku, místo provozu, přípustnou poruchovost a jiné důležité faktory.

Nejčastěji se přihlíží na snadnější možnost údržby a na náklady jak investiční, tak provozní. To vše splňuje venkovní vedení, a proto je častěji používáno. Venkovní vedení nebývá vhodné použít pro distribuci elektrického výkonu do hustě zastavěných center spotřeby, a proto jsou instalovány trasy s kabelovým vedením.

1.1 Elektrická vedení

Vedení je navrhováno podle místa odběru elektrické energie. Z tohoto důvodu se používají vedení venkovní nebo kabelová.

1.1.1 Venkovní vedení

V České republice je venkovní vedení nejvíce používané v přenosové soustavě, kde jsou téměř všechny přenosy konstruovány venkovním vedením. V distribuční soustavě jsou venkovní vedení, také hojně používána. Jsou používána téměř na všech napěťových hladinách, neboť mají levnější konstrukční provedení než kabelová vedení.

Venkovní vedení je navrhováno jednak po stránce elektrické, ale také po stránce mechanické. Při návrhu se tedy hledá ekonomické optimum, jak po elektrické, tak i mechanické stránce. Základním požadavkem je správná volba materiálů, jak pro stožáry, tak i pro samotné vodiče, a to z hlediska ekonomického i pevnostního. Důležité je i místo pro provozování vedení, zohledňujeme atmosférické vlivy, členitost terénu a vliv na životní prostředí.

Existují různé materiály pro vodiče i stožáry, avšak každý má jiné mechanické vlastnosti, pořizovací cenu a různou trvanlivost.

Při návrhu vedení uvažujeme nejen o současném stavu, ale také musíme počítat se spotřebou do budoucna. Během snižování nákladů na výstavbu nesmíme zhoršit mechanické vlastnosti vedení. To musí být dimenzováno tak, aby i v kritických situacích nebylo přerušeno, ale přitom se neplýtvalo cennými surovinami.

Při projektování venkovního vedení je důležité určit namáhání a průhyby vodičů, a to z těchto důvodů:

- Předpisy všech států stanoví, z bezpečnostních důvodů, minimální výšku vodičů nad půdou, cestami, kolejnicemi a jinými vedeními. Minimální výška nesmí být překročena při povětrnostních podmínkách, mrazech ani při námraze.
- Z provozních důvodů, aby vedení bylo dostatečně odolné při všech atmosférických podmínkách a nezpůsobovalo přerušování dodávky elektřiny.
- Z hospodářských důvodů, neboť vhodnou volbou namáhání, a tedy průhybů lze zmenšit váhu i cenu stožárů a základů [5]

1.1.2 Kabelové vedení

Je používáno pro rozvod elektrické energie v hustě zastavěných oblastech nebo velkých průmyslových halách. Kabely jsou instalovány v zemi nebo položeny na kabelových lávkách, roštech, kanálech.

Kabelové vedení lze rozdělit dle několika hledisek. Rozdělujeme je podle konstrukce, účelu a z hlediska přenášených kmitočtů. Podle konstrukce je možné kabel rozdělit na jednožilový a vícežilový, nebo také na symetrický a nesymetrický z hlediska uspořádání. Dle účelu pak na silový a sdělovací kabel. Dle přenášených kmitočtů je rozdělujeme na nízkokmitočtové (do 10 kHz) a vysokokmitočtové (asi 12 kHz až 12 MHz).

1.2 Principiální řešení sítí z hlediska uspořádání

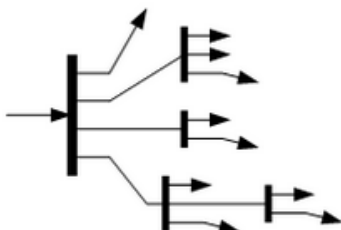
V České republice se pro distribuční soustavu používají dva základní rozvody, otevřený a uzavřený.

1.2.1 Otevřený rozvod

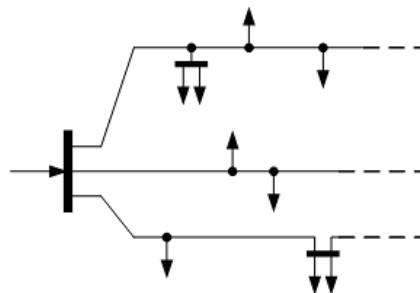
Elektrická energie je dodávána spotřebitelům pouze jednou cestou. Tento rozvod je velice jednoduchý, laciný, ale má nejmenší spolehlivost zásobování elektrickou energií. Používá se pro spotřebitele kategorie důležitosti dodávky 3. stupně, to znamená, že při poruše může dojít k přerušování dodávky elektrické energie i na několik hodin. Mezi dva základní typy zapojení patří paprskový a průběžný rozvod.

Paprskový rozvod je nejjednodušší, nejlevnější, ale nejméně spolehlivý. Používá se v rozvodech s malými nároky na spolehlivost dodávky. Při poruše na paprsku dojde k přerušování dodávky na všech odběrných místech za poruchou.

Průběžný rozvod má stejné vlastnosti jako paprskový rozvod. Přechází z dlouhých vedení s paprskovými rozvody. Z důvodu dlouhého vedení je důležité hlídání povoleného úbytku napětí. Průběžný rozvod se používá zejména pro veřejné osvětlení, distribuční vedení na vesnicích a rozsáhlé, dlouhé, průmyslové haly.



Obrázek 1.1 Paprskový rozvod [7]



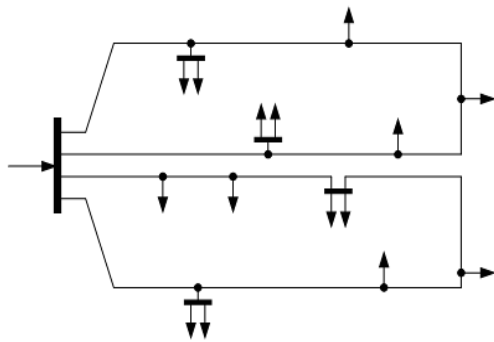
Obrázek 1.2 Průběžný rozvod [7]

1.2.2 Uzavřený rozvod

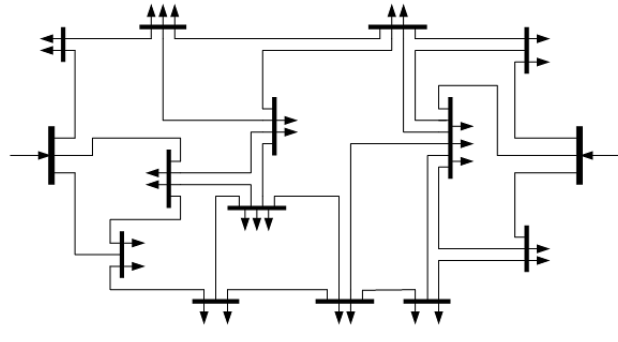
Napájení spotřebitele je zajištěno vždy ze dvou nebo více stran. Je zde vyšší stupeň bezpečnosti dodávky energie. Uzavřený rozvod se nejčastěji rozděluje na okružní (smyčkový) rozvod a mřížový rozvod.

Okružní (smyčkový) rozvod je proveden jako uzavřená smyčka, ze které se napájí jednotlivé paprskové či smyčkové odbočky. Jeho velkou výhodou je možnost napájet okruh ze dvou stran, tím se zvyšuje spolehlivost dodávky elektrické energie. Při poruše v jakékoliv části vedení se okružní rozvod rozdělí na dva paprskové rozvody. Rozvody okružní jsou dražší než paprskové, protože pro vzájemné spojení je třeba větších délek.

Mřížkový rozvod je tvořen minimálně dvěma napájecími místy propojené hlavními rozvaděči a více podružnými rozvaděči. Tím vznikne síť, kde je každý podružný rozvaděč napájen ze dvou a více míst. Je zde vysoká variabilita a provozní spolehlivost, to má za příčinu vysoké pořizovací náklady. U mřížového rozvodu je obtížné hledání poruch a má nižší nároky na regulaci napětí. Používá se v husté městské zástavbě u velkých průmyslových objektů a pro objekty s požadavkem 1. a 2. stupně kategorie důležitosti dodávky elektrické energie.



Obrázek 1.3 Okružní rozvod [7]



Obrázek 1.4 Mřížkový rozvod [7]

1.3 Provoz sítě z hlediska spojení uzlu vinutí transformátoru se zemí

Dalším důležitým technicko-ekonomickým ukazatelem pro volbu vedení je spojení uzlu transformátoru se zemí. Tyto uzly se někdy nazývají nulové body soustavy.

Způsob uzemnění uzlu transformátoru má vliv na:

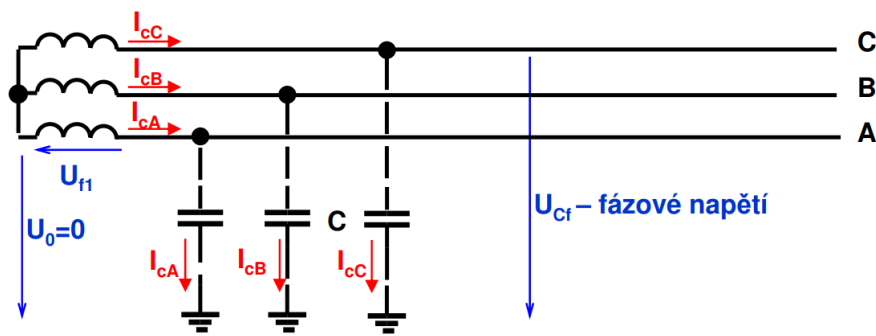
- Velikost proudu při spojení jedné či více fází se zemí.
- Velikost napětí mezi fázovým vodičem a zemí.

Proto je pro návrh vedení důležité znát způsob uzemnění, z důvodu dimenzování a chránění v soustavě. To má vliv na velikost napětí mezi vodičem a zemí, proto je kladen velký nárok na izolaci.

1.3.1 Síť izolované

Uzel vinutí transformátoru je izolován, tedy není spojen se zemí. Tato síť je v České republice provozována na napěťových hladinách vn některých rozvodů, výjimečně 0,4 kV. Dojde-li v této soustavě k poruše izolace na jedné z fází a následného vodivého spojení se zemí, může být síť nadále provozována za určitých podmínek. Napětí zdravých fází se změní z napětí fázového, na napětí sdružené, které se nemění.

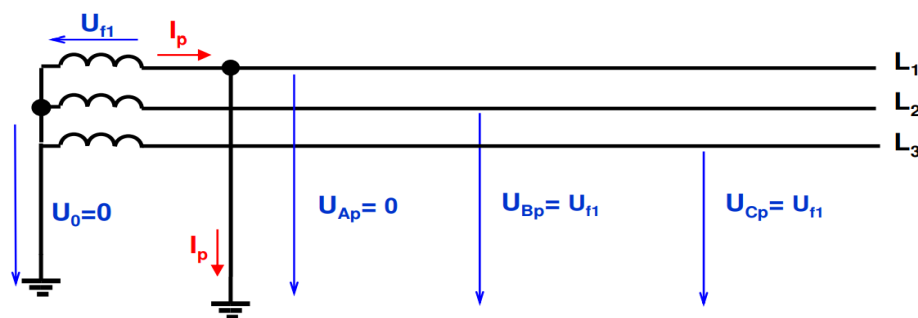
Zvýšené napětí v nepostižených fázích má za důsledek zvýšení toku kapacitních proudů, přes svodové kapacity těchto fází. Tyto proudy se pak vrací porušenou fází zpět do transformátoru. Proud nezávisí na místě vzniku poruchy, ale na celkové rozloze sítě. Pokud tento kapacitní proud nepřesahuje 10 A, a spojení se zemí není přerušeno, nevzniknou většinou velké škody. Je-li tento proud větší, může způsobit značné škody na zemědělských a lesních porostech (požár), popřípadě ujmu na zdraví lidí či zvířat, z důvodu vyššího dotykového a krokového napětí.



Obrázek 1.5 Sít' izolovaná [30]

1.3.2 Sítě účinně uzemněné

Všechny tyto sítě mají vinutí uzlu transformátoru spojeny přímo se zemí nebo přes malou impedanci. Některé nulové body transformátoru se odpojují, ale tak, aby síť měla charakter soustavy účinně uzemněné (v ČR jsou nulové body v těchto sítích přímo uzemněny). Při poruše zůstává napětí nepoškozených fází vůči zemi na fázové hodnotě. Proto při dimenzování izolace vedení, dimenzujeme na hodnotu jmenovitého fázového napětí, což je ekonomicky velmi výhodné. Při poruše musí být vedení, v co nejkratší době odpojeno, protože zemní proud dosahuje vysokých hodnot. V České republice provozujeme sítě účinně uzemněné na hladinách vvn, tj. 110, 220, 400 kV a převážnou většinu nn sítí 400 V. [3]



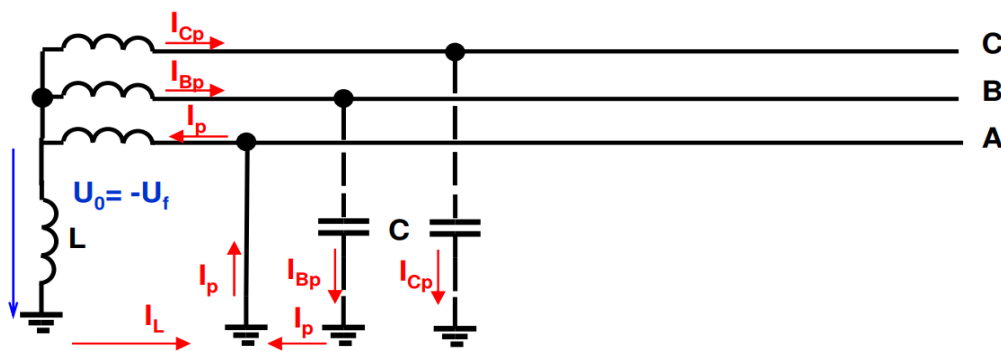
Obrázek 1.6 Sít' účinně uzemněná [30]

1.3.3 Síť neúčinně uzemněná

Nulové body sítí, neúčinně uzemněných, jsou spojeny se zemí přes velkou impedanci. Sem patří sítě, které mají spojené nulové body vinutí transformátoru se zemí přes rezistor nebo tlumivku.

1.3.4 Síť kompenzovaná přes tlumivku

Při poruše vznikají kapacitní proudy, ty chceme co nejvíce omezit, proto připojujeme do nulového bodu transformátoru tzv. zhášecí tlumivku (Petersenova tlumivka). Z důvodu napětí mezi nulovým bodem transformátoru a zemí je tlumivka zdrojem inductivního proudu. Do místa poruchy tečou dva proudy, první teče přes tlumivku a druhý je poruchový kapacitní proud vedení. Jejich součtem dostaneme zbytkový poruchový proud (nepřesnost nastavení indukčnosti zhášecí tlumivky, vliv činného odporu tlumivky, činných svodů vedení a vyšších harmonických). Běžně kompenzuje poruchové proudy do $10 \div 20$ A. [3]

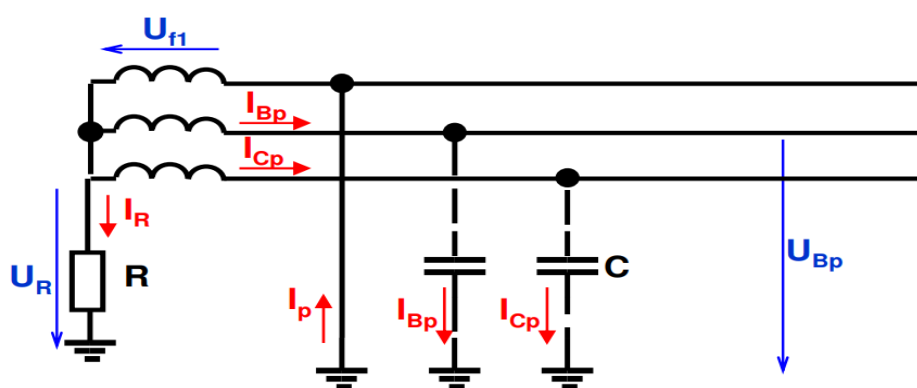


Obrázek 1.7 Síť kompenzovaná přes tlumivku [30]

1.3.5 Síť s nepřímou uzemněným uzlem přes R

Mají rezistor připojený do uzlu, to má za důsledek v případě poruchy menší poruchový proud než u přímo uzemněné soustavy (menší tepelné namáhání vedení).

Hlavní význam přidání odporu do uzlu vinutí transformátoru je utlumení přepětí a zajištění správného působení ochran. [3]



Obrázek 1.8 Sítě s nepřímo uzemněným uzlem přes R [30]

2. Konstrukční provedení

V této kapitole, vzhledem k mému zadání bakalářské práce, se nyní budu věnovat stávajícími způsoby a konstrukčnímu provedení distribuční soustavy.

Nejrozšířenějším způsobem přenosu elektrické energie v ČR i ve světě je požívání nadzemního vedení. To je kostrou celé elektrizační soustavy. Vedení je zkonstruováno z několika součástí – sloupy nebo stožáry, konzole, fázové vodiče, zemnicí lana, izolátory, tlumiče vibrací, distanční rozpěrky, svodiče přepětí a spínací přístroje. Konstrukce vedení se liší podle napět'ové hladiny.

2.1 Stožáry a sloupy

Stožár nebo sloup je podpěrným bodem nadzemního vedení. Ten je přidělán k betonovému základu v zemi. Na stožáry nebo sloupy jsou přidělané izolátory, na nich je zavěšen vodič. Pro hladiny nízkého napětí se z větší části používají betonové sloupy, popřípadě dřevěné sloupy na dočasných vedeních. Se zvyšující se napět'ovou hladinou roste minimální vzdálenost vodiče od země, tím roste i velikost podpěrných bodů. Z toho důvodu už není možné používat betonové, popřípadě dřevěné sloupy, ale přecházíme na ocelové (příhradové) stožáry.

2.1.1 Betonové sloupy

Betonové sloupy mají tvar kónické trubice. Jsou vyrobeny z odstředěného předpjatého betonu (železobetonové stožáry). Vyrábějí se ve velikostech od 9 metrů do 13,5 metrů. Jmenovitá vrcholová síla se pohybuje v rozmezí od 1,5 kN po 25 kN, v závislosti na výšce a průměru sloupu. Pro přehlednost a identifikaci se barevně označují čela vrcholu sloupu, dle hodnoty jmenovité vrcholové síly. Povrch vyrobeného sloupu musí být hladký, celistvý, bez dutin nebo jiných závad a poškození. Železné výztuže nesmí vystupovat na vnější ani vnitřní povrch sloupu. Každý sloup musí být uzemněn, to se většinou provádí uzemňovacím páskem FeZn. Uzemnění je vyvedeno otvorem v dolní části sloupu a spojeno se zemí. V horní části sloupu je instalována kovová konzole, závěsný hák nebo ukončení přípojky ukotvením do sloupu. [8]

2.1.2 Dřevěné sloupy

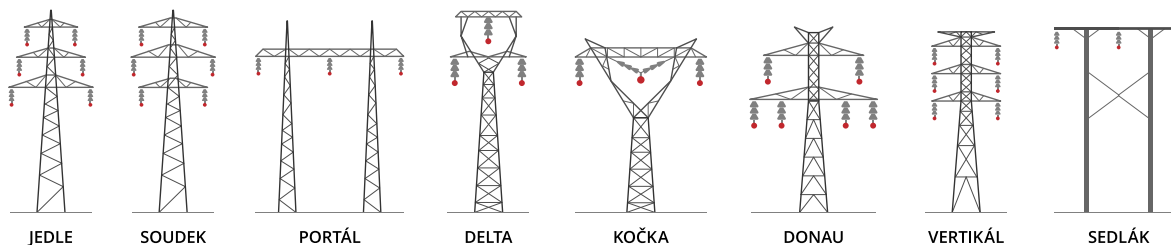
Dřevěné sloupy jsou v dnešní době už používány pouze pro provizorní (dočasná vedení), kvůli malé životnosti. Jsou ještě dnes k vidění na vedeních na odlehlejší místa, kde zatím ještě nedošlo k modernizaci. Sloup je připevněn buď k betonové patce, nebo zapuštěn do 1/5 své délky. Kvůli hnilobě jsou ošetřeny ochranným nátěrem, který je ekologicky nezávadný.

2.1.3 Stožáry

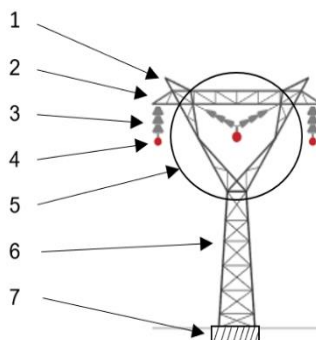
Stožáry jsou vyráběné z válcovaného materiálu s profilem úhelníku. Jednotlivé profily jsou spojeny šrouby. Svislá část konstrukce se nazývá dřík, který se směrem k základně rozšiřuje. Základ je tvořen betonem, ten je zapuštěn částečně v zemi. Hloubka základu je dána typem stožáru. Na dřík je připevněna hlava, horní část stožáru. Na horní části stožáru je také připevněno rameno, to je vodorovný nosník stožáru, na kterém jsou připevněny izolátory s vodiči. Na konstrukci stožáru se ještě nalézá vrchol stožáru (připevněno je zde zemnicí lano), a nejrůznější výtuhy dříku a hlavy pro lepší pevnost.

Stožárů je několik druhů, používají se dle místa použití a daných požadavků na vedení. Pro určení druhu stožáru je zapotřebí vědět, kolik bude nosných stožárů po sobě jdoucích, než bude instalován kotevní stožár. Průměrně jsou 3-4 nosné stožáry na jeden kotevní, tento úsek se nazývá „kotevní úsek“. Ty vytvářejí pevné body na vedení a jsou od sebe vzdáleny 3-5 km. Kotevní stožáry jsou na pohled menší a mohutnější. Dále se na vedení mohou nacházet stožáry rohové, odbočné, koncové, rozvodné, křižovatkové nebo podchodové. Konstruovat se dají jako nosné i jako kotevní stožáry.

Výška stožáru je přibližně od 40 do 75 m. V okolí každého vedení se nachází ochranné pásmo, které je dáno typem stožáru a napětíovou hladinou.



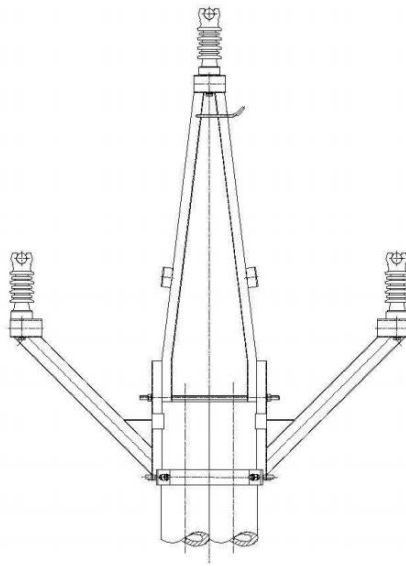
Obrázek 2.1 Základní typy stožárů zvn a vvn [14]



Obrázek 2.2 Popis částí stožáru typu kočka (1- uchycení zemnicího lana, 2- rameno, 3- izolátor, 4- fázový vodič. 5- hlava. 6- dřík. 7- základ) [30]

2.2 Konzole

Konzole jsou z větší části ocelové konstrukce, které jsou pozinkovány z důvodu koroze. Na sloup jsou přidělavány třmenovou objímkou staženou šrouby. Konzole se liší uspořádáním fázových vodičů. Trojice vodičů může být uspořádána vedle sebe nebo do trojúhelníkové konfigurace, kdy je jeden vodič vyvýšen. V dnešní době je preferována trojúhelníková konfigurace konzole „pařát“. Tato konzole je bezpečnější pro ptáky, protože šikmá ramena konzole znesnadňují doset ptáků. Pokud je používána konzole s uspořádáním vodičů vedle sebe, jsou instalovány na podpěrné izolátory ochranné prvky zamezující úrazu ptáků.



Obrázek 2.3 Ocelová konzole typu PÁŘÁT II na betonové sloupy [13]

2.3 Fázové vodiče

Vodiče pro venkovní vedení se vyrábějí holé, izolované nebo kabelové. Mezi základní materiály pro jejich výrobu se používá měď, hliník a železo. Každý materiál má ovšem své výhody a nevýhody. Tudíž neexistuje materiál, který by byl levný, měl vynikající elektrickou vodivost a mechanickou pevnost.

Měď má výbornou elektrickou vodivost, ale horší mechanické vlastnosti, a navíc je poměrně drahá. Hliník má dobrou elektrickou vodivost, ale nedostatečnou mechanickou vodivost. Je lacinější než měď. Železo má nedostatečnou elektrickou vodivost, avšak jeho mechanické vlastnosti jsou výborné a k tomu je poměrně levné.

2.3.1 Holé vodiče

Pro venkovní vedení nn, tvořené holými vodiči se nejdříve používal měděný drát o průměru nejčastěji 16, 25 nebo 36 mm². Poté se používali AlFe lana, s ocelovým jádrem a hliníkovým pláštěm. Obě tato provedení, byla připevněna na podpěrných bodech pomocí izolátorů.

Dnes se však na hladinách nn konstruuji holé vodiče minimálně v odůvodněných případech. Pro venkovní vedení se spíše využívá izolované vodiče (1-AES), které mají menší náklady na údržbu a provoz vedení. Také je možnost konstruovat nové trasy kabelovým vedením.

2.3.2 Izolované vodiče

Používají se na hladinách vn a nn. Izolace vodiče je vyráběna z polyethylenu (PE) odolnému proti UV záření nebo z polyvinylchloridu (PVC). Při použití izolovaných vodičů je možnost zmenšit vzdálenosti mezi vodiči, zmenšit stožáry a zlepši se elektrické parametry vedení. Při jejich použití je menší poruchovost vedení.



Obrázek 2.4 Izolované vodiče 1-AES [30]

2.3.3 Kabelové vodiče

Používají se zejména pro městské a průmyslové sítě nn a vn, zřídka kabely vvn. Výhodou je menší indukční reaktance než u venkovního vedení, a proto i menší úbytek napětí a jalové ztráty vedení. Nevýhodou je mnohonásobně vyšší kapacitní susceptance než u venkovního vedení. Vedení má menší poruchovost, ale poruchy jsou většinou trvalého charakteru. Materiál pro výrobu jader silových kabelů je měď nebo hliník. Kabely se vyrábějí pro různá použití. Kabely pro pevná uložení, pohyblivá uložení, závěsné nebo samonosné kabely, bezhalogenové ohniodolné kabely a kabely se zachováním funkčnosti i při požáru.

2.3.4 Speciální typy vodičů

V dnešní době při modernizaci vedení je možné použít speciálního kompozitního jádra z jednoho drátu. Kompozitní jádro je tvořeno z karbonových vláken s vrstvou skelných vláken. Jádro má mnohem menší teplotní roztažnost, váhu a má větší mechanické namáhání než ocel.

Pro krátká venkovní vedení se také používají zapouzdřené vodiče. Pro každou fázi je tvoří vodivá trubka vedená v ose hliníkového pouzdra. Centrování trubky zajišťují tři podpěrné izolátory z pryskyřice. Uzemněná pouzdra stíní magnetické projevy protékajícího střídavého proudu a minimalizují možnost zkratu. Jsou používány na místech s velkou proudovou zatížitelností, např. vývody z alternátorů velkých výkonů do blokových transformátorů. [15]

2.4 Izolátory

Hlavní funkcí izolátoru je nevodivé spojení fázového vodiče a podpěrného bodu. Rozdělují se podle způsobu upevnění, a to na podpěrné, závěsné a kotevní. Jsou na ně kladeny velké požadavky na mechanickou pevnost. Musí udržet tíhu vodičů i při silné námraze. Musí odolávat i chemickým vlivům, a také náhlým změnám teplot.

2.4.1 Podpěrné izolátory

Jsou nejčastěji používány pro napěťové hladiny nn případně i vn. Izolátor je připevněn na konzoli pomocí ocelového roubíku a vodič je tedy umístěn nad konzolí. Jsou vyrobené z glazované keramiky, porcelánu nebo kompozitu.



Obrázek 2.5 Podpěrný kompozitní izolátor [16]

2.4.2 Závěsné izolátory

Používají se pro větší napět'ové hladiny, jsou zavěšeny na rameni stožáru a nesou tíhu vodiče. Jsou zavěšovány jednotlivě nebo ve dvojitych izolátorových řetězcích. Izolátory lze rozdělit dle materiálu, a to na skleněné, keramické nebo kompozitní.



2.4.3 Kotevní izolátory

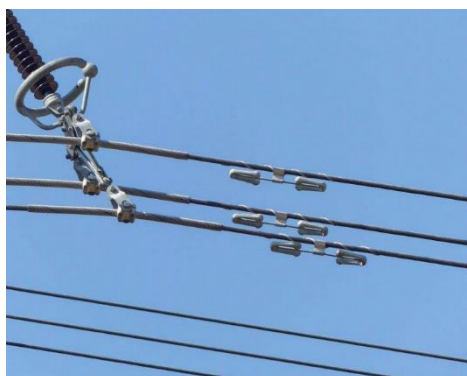
Podobají se závěsným izolátorům, jsou dimenzovány nejen na tíhu vodiče, ale i na jejich natažení. Jsou umístěny na kotevní stožáry, kde je každý závěsný bod tvořen ze dvou kotevních izolátorových řetězců.

Obrázek 2.6 Závěsný kompozitní izolátor [17]

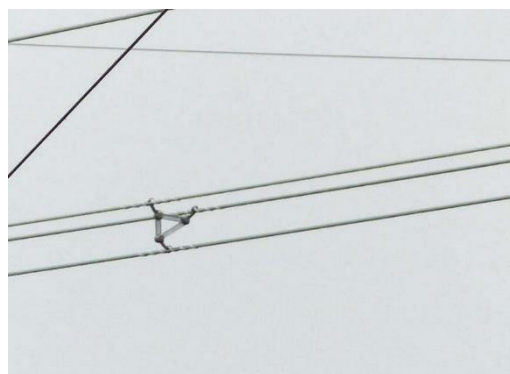
2.5 Tlumiče vibrací, distanční rozpěrky

Tlumiče vibrací se umisťují na fázové, zemnicí lana a kombinovaná zemnicí lana. Jejich úkolem je omezení kmitání vodičů. Pokud je umístěna distanční rozpěrka na fázových vodičích, tak tlumič není použit.

Distanční rozpěrky používají se pouze u vedení, kde jsou vodiče prováděny ve svazku. První funkce je udržení vodiče ve svazku. Druhá funkce je tlumení kmitů fázových vodičů.



Obrázek 2.7 Moderní tlumiče vibrací [24]



Obrázek 2.8 Distanční rozpěrka [24]

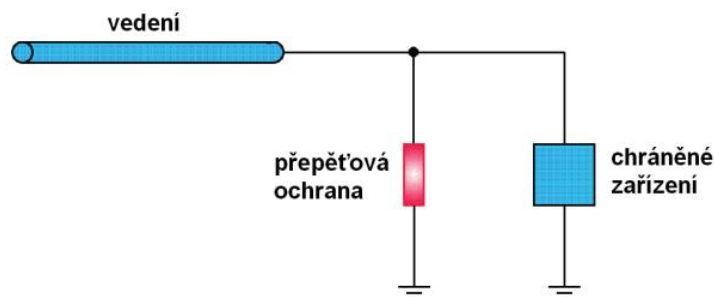
2.6 Svodiče přepětí

Jsou elektrické přístroje, které v sítích výroby, přenosu, distribuce a spotřeby elektrické energie slouží k ochraně proti přepětí. Pro přepět'ové ochrany se používají elektrické dvojpóly s nelineární VA charakteristikou. Přepětí je hodnota vyšší než nejvyšší povolená hodnota provozního napětí.

Přepět'ové ochrany by měly splňovat několik kritérií:

- Za normálních podmínek musí mít ochrana takovou impedanci, aby místem, kde je připojena, neprocházel žádný, nebo pouze minimální proud v řádu miliampér.
- Ochranné zařízení by mělo odvést energii, aniž by se poškodilo.
- Snížit svoji impedanci při nárůstu hladiny napětí a tím odvést poruchový proud do země.
- Po odvedení poruchového proudu do země opět zvýšit svoji impedanci, a tak vrátit systém do standardních podmínek. [31]

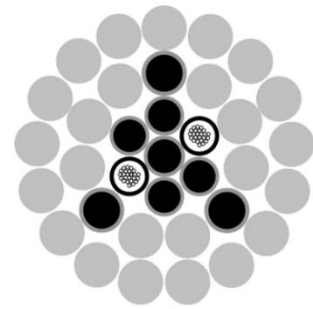
Přepětí je v elektrifikační soustavě nežádoucí jev, který může trvale poškodit elektrická zařízení. Přepětí máme atmosférická nebo provozní. Atmosférická přepětí vznikají v atmosféře a jedná se například o blesky. Provozní přepětí vznikají při spínacích, či vypínacích procesech v síti. Přepětí se dá rozdělit i dle časového hlediska, a to na trvalé, dočasné a přechodné přepětí.



Obrázek 2.9 Připojení přepět'ové ochrany [25]

2.6.1 Zemnicí lana

Jsou instalována na vrcholy stožárů. Slouží jako ochrana před atmosférickým přepětím (úder blesku), a také pomáhá zajistit rychlé vypnutí při poruše. V dnešní době se používají kombinovaná zemnicí lana (KZL). Uvnitř lana je zabudováno optické vlákno pro přenos informací. Optické vlákno není rušeno okolními vlivy, z důvodu výborné elektromagnetické kompatibility. Na zemnicích lanech bývají někdy umístěny výstražné červeno-bílé koule. Jsou vyrobeny z lehkého materiálu, aby co nejméně zatěžovaly lano. Jejich funkce je optické zvýraznění vedení, pro piloty nízkoletících letadel a vrtulníků. Nejčastěji jsou umístěny při křížení vedení se silnicí.

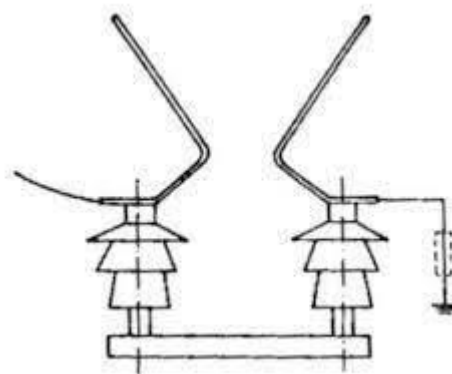


Obrázek 2.10 Moderní KZL [24]

2.6.2 Ochranné koordinační jiskřiště

Koordinální jiskřiště jsou elektrody s nastavitelným doskokem. Mezi nimi máme přeskokové napětí. Když dojde k překročení tohoto napětí, vznikne elektrický oblouk. Impedance svodu je dána odporem oblouku. Nevýhodou je následný proud, který je udržován jmenovitým napětím soustavy. Zapůsobení ochranného jiskřiště tedy znamená výpadek.

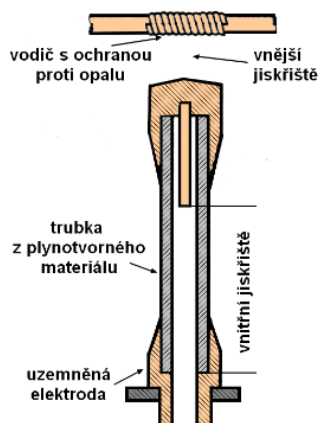
Elektrody jsou umístěny (vytvarovány) tak, aby účinky vlastního magnetického pole vytáhly oblouk a došlo k omezení zkratového proudu. Oblouk nemusí být uhašen po omezení přepětí, může být udržován síťovým napětím. Další nevýhodou ochranného koordinačního jiskřiště je strmý napěťový pokles po zapálení oblouku mezi elektrodami. Při velmi strmých přepětích např. při blízkých úderech blesku do vedení je přeskokové napětí hrotového jiskřiště tak velké, že může dojít k průrazu vnitřní izolace chráněného zařízení. Jiskřiště jsou připevněna na izolátory, z důvodu hoření oblouku mimo izolátor, zamezuje se opotřebení izolátoru. [26]



Obrázek 2.11 Ochranné jiskřiště [27]

2.6.3 Vyfukovací bleskojistka (Torokova trubice)

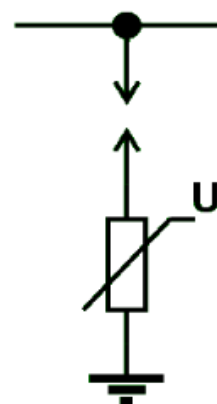
Oblouk je při přepětí přerušen expanzí plynu, ten vzniká rozkladem plynotvorné látky působením vysoké teploty oblouku, který hoří mezi dvěma elektrodami. Při průchodu proudem nulou oblouk zhasne (v dnešní době již nepoužívané).



Obrázek 2.12 Torokova trubice [18]

2.6.4 Ventilová bleskojistka

Skládá se z vnitřního jiskřiště spojeného do série s varistorem, což je nelineární rezistor závislý na napětí. Varistor má funkci regulování průchodu proudu do země. Při přepětí se otevře a má malý odpor, umožňuje průchod proudu z jiskřiště do země. Při malém napětí je hodnota odporu velká, tím je zajištěno uhašení oblouku a následné omezení proudu.



Obrázek 2.13

Ventilová bleskojistka [18]

2.6.5 Omezovače přepětí

V dnešní době se jedná o nejpoužívanější svodič přepětí. Jedná se napětově závislý odpor, většinou z kysličníku zinečnatého ZnO , mají schopnost omezit následný proud po odeznění přepětí. Jejich obrovskou výhodou je, že dojde k uhašení oblouku bez zapálení jiskřiště. Z tohoto důvodu jsou někdy nazývány bezjiskřišťové bleskojistky nebo bleskojistky ZnO . Hodnota odporu je závislá nejen na velikosti napětí, ale také na teplotě. Při dlouhodobě vysoké hodnotě napětí je hodnota odporu nízká, to má za následek nárůst proudu a následné zvýšení teploty, kterou je nutno odvádět.

2.7 Spínací přístroje

Spínací přístroje slouží pro spínání a odpínání jednoho nebo více elektrických obvodů. Konstrukčně se liší podle spínaného obvodu, zda je zatížený či nikoliv. Další dělení je podle druhu spínaného proudu, podle velikosti napětí a podle počtu pólů.

2.7.1 Vypínače VVN a VN

Výkonové vypínače mají schopnost spínat všechny druhy zátěže, jsou schopné vypnout i zkratové proudy. Výkonový vypínač dokáže i spínat zkraty, což je velice výhodné při OZ. Vypínače lze rozdělit podle velikosti napětí, jmenovitého proudu (velikost proudu, který musí vypínač trvale vydržet) a podle jmenovitého vypínacího proudu. Další způsob dělení je podle způsobu zhášení oblouku, a to na olejové,



Obrázek 2.14 Výkonový vypínač do 400 kV [21]

vzduchové, vakuové, v plynu SF₆ a v magnetickém poli. V současné době se na hladinách vn používají především vakuové vypínače, plynové SF₆ a maloolejové (v dnešní době dochází k útlumu jejich použití). V soustavě vvn jsou používány plynové SF₆ a maloolejové na 110 kV.

2.7.2 Odpínače

Odpínače zvládají stejně jako výkonové vypínače vypnout provozní proudy obvodu. Avšak nezvládají vypínat zkratové proudy. Používají se na hladinách vn jako maloolejové, vakuové nebo z plynotvorné hmoty. Často se kombinují s pojistkami vn, pojistky při poruše (nadproud, zkrat) přeruší vadné fáze.

Úsekový odpínač je komorový odpínač umístěný na sloupu vedení vn. Často bývají ovládány dálkově z dispečinku.



Obrázek 2.15 Venkovní úsekový odpínač [28]

2.7.3 Odpojovače

Slouží pro viditelné a bezpečné přerušování proudové dráhy. Nedokážou spínat obvod pod zátěží, manipulace s nimi je možná pouze v bezproudém stavu. Jejich rozpojení zařizuje elektromotor, v některých případech i ruční pohon. Odpojovače jsou vybaveny zemnicím nožem, ten slouží pro bezpečné



Obrázek 2.16 Venkovní vertikální odpojovač [22]

uzemnění. Jsou používány v rozvodnách vvn a vn. Odpojovače se provozují několika způsoby např. jako horizontální, vertikální, pantografický, kloubový, rotační, aj.

2.8 Novodobé zahraniční trendy

2.8.1 Vysokoteplotní vodiče

V dnešní době, při velkém rozvoji průmyslu, OZE, a hlavně elektromobility je důležité zajistit dostatečné množství elektrické energie. Kvůli této skutečnosti jsou používány vysokoteplotní vodiče, které mají schopnost zvládnout větší proudové zatížení, a tím zvýšit objem přenášené energie. Při zvýšení napětí vedení je nutné celé vedení přestavět, což je finančně velice nákladné, a proto dochází k navýšení hodnoty proudu. Při zvyšování proudu se vyměňují pouze klasické ACSR vodiče za vysokoteplotní vodiče, které zvládají větší teplotní zatížitelnost při stejném průměru vodiče.

Vysokoteplotní vodiče jsou vyráběné ze speciálních materiálů, protože si musí zachovat stejné mechanické vlastnosti při vysokých teplotách. Typů vodičů je několik, liší se nejčastěji v konstrukci a provedení jádra, to bývá vyráběno z nejrůznějších druhů oceli nebo kompozitu. Plášť je vyroben z hliníkových slitin kvůli vodivosti, stejně jako u ACSR vodiče. Slitiny hliníku jsou různé a závisí na dovolené provozní teplotě, minimální pevnosti v tahu a vodivosti.

Druhy vysokoteplotních vodičů:

- (Z)TACSR ((Super) Thermal Alloy Conductor Steel Reinforced)
- G(Z)TACSR (Gap (Super) Thermal Alloy Conductor Steel Reinforced)
- ZTACIR (Zirconium alloy Aluminum Conductor Invar Steel Reinforced)
- ACSS(/TW) (Aluminum Conductor Steel Supported(/Trapezoidal Wire))
- ACCC (Aluminum Conductor Composite Core)

2.8.2 ACCC (Aluminum Conductor Composite Core)

Vodič ACCC je moderní typ vodiče. Plášť je složen ze segmentových vodičů z plně žíhaného hliníku. Jádro je tvořeno z kompozitního materiálu, je tvořeno jedním drátem, a nikoliv splétáním několika drátů. Jako materiál jsou používána karbonová vlákna obalená speciálními skelnými vlákny. Kompozitní jádro je o 25 % pevnější než ocelové jádro a jeho teplotní roztažnost je minimální.

Koeficient teplotní roztažnosti u ACCC vodičů je nízký (skoro osmkrát menší než běžná ocel). Je také výrazně lehčí než ocel (o 60 %), to je velice výhodné, protože na stejný průřez vodiče lze umístit více hliníkových vrstev. Přidáním vrstev hliníku zlepšuje celkovou rezistivitu vodiče a zvětšuje proudovou zatížitelnost.

Tento druh vodiče je používán pro montáž, kde stožáry dosahují velkého rozpětí, a kde jsou požadovány malé průhyby z důvodu minimální bezpečné vzdálenosti.

2.8.3 Systém ACCC InfoCore

Při instalaci vodičů ACCC mohou nastat v terénu nepředvídané události nebo může dojít pouze k nesprávné instalaci vodiče ze strany provozovatelů inženýrských sítí, smluvních partnerů i kabelových techniků. Z tohoto důvodu vytvořila firma CTC Global systém ACCC InfoCore. Tento systém nabízí rychlé, spolehlivé a přesné zjištění správnosti instalace vodičů. Použití proprietárního infračerveného světelného systému, speciálních vláken v jádru vodiče a robustní metodiky sběru a záznamu dat může systém ACCC InfoCore potvrdit integritu vodiče během několika minut. Vše je možné provést přímo v terénu, což je velice výhodné. Kontrola tímto systémem není povinná, ale zvyšuje spolehlivost a důvěru vedení. Systémem je možno zkontrolovat velmi dlouhá rozpětí a je v současnosti používán globálně. Tato funkce je užitečná, protože poskytuje další možnost ověření správné instalace vodiče.

Proces kontroly začíná přístupem k vodiči na obou koncích, přípravou konců jádra vodiče pomocí nástrojů poskytovaných ověřovací soupravou ACCC InfoCore.

- Přípravný nástroj používaný na obou koncích sekce nebo cívky.
- Vysílač je připojen k jednomu konci vodiče ACCC.
- Přijímač je připojen k druhému konci.
- Kontrolér přijímá, kontroluje a zaznamenává výsledky. [23]

Mezi alternativy tohoto systému patří CT skenování, rentgenová kontrola a magnetická pulzní technologie (MPT), všechny jmenované alternativy jsou velmi pomalé a nákladné. Systém ACCC InfoCore je komerčně přístupný a používá se na mnoha místech po celém světě.



Obrázek 2.17 Vodič ACCC [19]

2.8.4 Stejnoseměrné sítě

Všechno začalo v roce 1800 sestrojením prvního galvanického článku, pro čistě laboratorní účely, z důvodu malé kapacity. V roce 1831 byl sestrojen první stejnosměrný generátor. První aplikací stejnosměrného proudu bylo městské osvětlení v New Yorku, a tím i velkému rozvoji. Ačkoliv nebyl schopný přenášet výkon na velké vzdálenosti (obrovské ztráty), a hlavně byla obtížná transformace napětí na jinou hladinu, stroje musely být konstruovány na napětí generátoru. Proto nastal boj mezi DC a AC provedením, který však v roce 1891 vyhrál střídavý proud, a to při přenosu výkonu na vzdálenost přibližně 175 kilometrů.

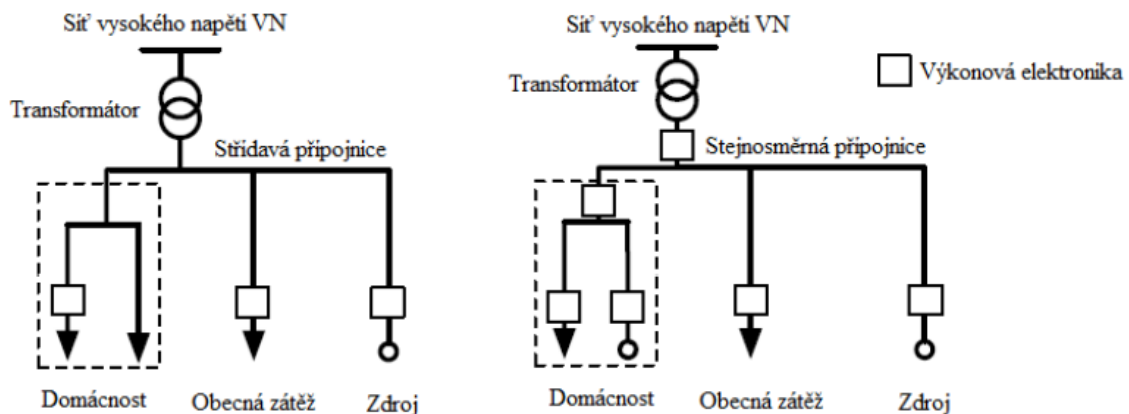
Dalším milníkem stejnosměrné sítě, bylo sestrojení rtuťového usměrňovače v 30. letech 20. století, který měl jednodušší a efektivnější usměrňování než rotační měniče. Následně vznikla první komerční linka HVDC, spojující Švédsko a ostrov Gotlanda, a otevřelo komerční použití stejnosměrných přenosů na dlouhé vzdálenosti. O několik let později byl objeven tyristorový usměrňovač.

V dnešní době je díky výkonovým součástkám, usměrňování střídavé sítě méně ztrátové, a proto stejnosměrná síť je používána v mnoha aplikacích. Paradoxně je používán pro přenos velkých výkonů na velké vzdálenosti, kde má malé ztráty, a to přibližně 3 %. Stejnoseměrný proud je používán zejména u malých spotřebičů (počítač, mobilní telefon, rádio), všechny tyto spotřebiče napájíme střídavým proudem, který se následně transformuje na stejnosměrný.

Proto se uvažuje o zavedení hladin malého nebo nízkého napětí v domácnostech. Pokud by se tak stalo, všechna zařízení, které potřebují pro svůj provoz stejnosměrné napětí, by byla vyráběna bez polovodičového usměrňovače. To platí i u osvětlení, dnešní moderní osvětlení využívá diody.

Při transformaci střídavého napětí na stejnosměrné dochází ke ztrátám, ty jsou sice malé, ale po sečtení všech spotřebičů v domácnosti, které transformují takto napětí, jsou ztráty nezanedbatelné. Z těchto důvodů dochází k vývoji stejnosměrné sítě v domácnostech. Důležitým faktorem pro vývoj stejnosměrných sítí v domácnostech jsou OZE, a to konkrétně solární panely. Ty vyrábějí stejnosměrné napětí, které by se nemuselo transformovat na střídavé, pouze by došlo k úpravě velikosti, kde jsou ztráty minimální.

Stejnospměrné sítě nízkého napětí, tj. napětí od 0,12 do 1,5 kV stejnosměrných, nejsou radiálně odlišné od dnešních střídavých sítí, liší se pouze vlastnosti komponentů nebo jejich funkce. Důležité je podotknout, že u stejnosměrného napětí je více změn napětí než u střídavého napětí při stejném zapojení. U střídavého napětí dojde k transformaci z vn na nn a bez další úpravy je přivedeno přímo do zátěže. U sítě stejnosměrné se potřebné napětí získá usměrněním přes usměrňovače, posléze je přivedeno k napájenému objektu, kde je úroveň napětí přizpůsobena danému zařízení pomocí měničů. Usměrňovače a měniče zařazujeme do výkonové elektroniky. [29]



Obrázek 2.18 Topologická struktura paprskového rozvodu u střídavých (vlevo) a stejnosměrných (vpravo) sítí [29]

3. Návrh vedení pro konkrétní situaci

V praktické části se budu zabývat návrhem vedení v distribuční soustavě. Po projednání s konzultantem byl vybrán návrh pro připojení fotovoltaické elektrárny k distribuční soustavě. Fotovoltaická elektrárna bude připojena k vedení, které je vyvedeno z transformovny 110/22 kV v Klatovech. Objekt bude mít výkon 4 MW, který bude dodávat na napěťové hladině 22 kV.



Obrázek 3.1 Trasa kabelu pro připojení FVE [32]

Návrh vedení bude obsahovat výpočty parametrů vedení, tedy impedanci, dále zkratový výkon v předávacím bodě s FVE a úbytky napětí na vedení. Úbytky budou vypočítávány na dvě vedení, a to pro vedení v základním napájecím stavu a v záložním napájecím stavu.

Vedení pro připojení FVE je v bezprostřední blízkosti obci a místy bude procházet zastavěnou oblastí. S ohledem na úspěšnost projednání trasy navrhuji provést vedení jako zemní kabelové. Místo pro připojení bylo voleno jako nejbližší místo v distribuční soustavě, do kterého lze výrobu připojit. Z obrázku je patrné, že na pozemku zvoleném pro umístění FVE se nachází také vedení vn. Do tohoto vedení již nelze, na základě informace zadané konzultantem, žádnou další výrobu připojit.

3.1 Parametry vedení

Při zjišťování úbytků na již realizovaném vedení jsou známi typy vodičů s jejich délkou. Z tabulek jsou zjištěny vlastnosti vodičů, pro výpočet impedance, která bude potřebná pro výpočet zkratového výkonu v předávacím místě a následného zjištění úbytku na vedení.

3.1.1 Zkratové poměry na vedení

Každé vedení je dimenzováno na účinky zkratového proudu. Vznik má za následek velké tepelné namáhání vedení, které může mít i nedozírný konec. Nejdůležitější je počáteční rázový zkratový proud I_k'' , který představuje efektivní hodnotu střídavé složky zkratového proudu v okamžiku vzniku zkratu.

Pro výpočet rázového zkratového proudu je potřeba zjistit celkovou impedanci, přes kterou protéká zkratový rázový proud.

Počáteční rázový zkratový proud:

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_c} \quad (A) \quad (3.1)$$

c – napěťový součinitel

U_n – jmenovité napětí v místě zkratu (V)

Z_c – celková zkratová impedance (Ω)

Největší zkratový proud musíme znát z důvodu dimenzování sítě, aby nedošlo k poškození zařízení. Velikost rázového zkratového proudu je dána rozlehlostí sítě, je tedy závislý na velikosti celkové zkratové impedance. Jednotlivé zkratové impedance se vypočítají dle vztahů níže:

Elektrizační soustavy:

$$Z_{ES} = \frac{c \cdot U_{NS}^2}{S_{KS}''} = \frac{c \cdot U_{NS}}{\sqrt{3} \cdot I_{KS}''} \quad (\Omega) \quad (3.2)$$

c – napěťový součinitel (-)

○ $c = 1,05$ pro nn

○ $c = 1,1$ pro vn

U_{NS} – jmenovité napětí soustavy (V)

S_{KS}'' – zkratový výkon soustavy při 3f zkratu (VA)

I_{KS}'' – počáteční rázový zkratový proud soustavy při 3f zkratu (A)

Transformátoru:

$$Z_T = \frac{u_{k\%}}{100} \cdot \frac{U_{NT}^2}{S_{NT}} (\Omega) \quad (3.3)$$

$u_{k\%}$ - napětí nakrátko (%)

U_{NS} – jmenovité napětí transformátoru (V)

S_{NT} – jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru (VA)

Vedení:

$$X_V = X_{Vk} \cdot l (\Omega) \quad (3.4)$$

$$R_V = R_{Vk} \cdot l (\Omega) \quad (3.5)$$

$$Z_V = \sqrt{R_V^2 + X_V^2} (\Omega) \quad (3.6)$$

X_{Vk} – reaktance vedení na km délky (Ω)

R_{Vk} – odpor vedení na km délky (Ω)

l – délka vedení (km)

Přepočty přes transformátor (na jmenovité napětí v místě zkratu U_N):

$$X_2 = X_1 \cdot \frac{1}{p^2} (\Omega) \quad (3.7)$$

X_2 – reaktance přepočtená na napěťovou hladinu v místě zkratu (Ω)

X_1 – reaktance na původní napěťové hladině (Ω)

p – převod = $\frac{U_1}{U_2}$ (-)

Celková zkratová impedance sítě je součet všech impedancí jako sérioparalelní spojení podle konfigurace sítě. Po výpočtu celkové zkratové impedance a rázového zkratového proudu vypočtu zkratový výkon.

Zkratový výkon:

$$S_{KS}'' = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_k'' (\text{VA}) \quad (3.8)$$

U_N – jmenovité napětí (V)

I_k'' – rázový zkratový proud (A)

c – napěťový součinitel (-)

Úbytek napětí na vedení:

$$\Delta u_{AV} \leq \frac{S_{Amax} \cdot \cos(\Psi - \varphi)}{S_{KS}''} \quad (V) \quad (3.9)$$

S_{Amax} – maximální připojitelný výkon (VA)

Ψ – úhel komplexní impedance (°)

$\cos \varphi$ – účinník v předávacím místě (°)

S_{KS}'' – zkratový výkon (VA)

Úbytek napětí na vedení:

$$\Delta u_{AV\%} = \Delta u_{AV} \cdot 100 \quad (\%) \quad (3.10)$$

Po výpočtu úbytku napětí a porovnám hodnoty s dovoleným úbytkem napětí pro základní napájecí stav a záložní napájecí stav. V případě základního napájecího stavu nesmí být úbytek větší než 2 % a v případě záložního větší než 5 %.

3.2 Výpočet parametrů vedení

Vedení je napájeno z transformační stanice 110/22 kV. Pro výpočet jsem obdržel od konzultanta zkratové parametry na hladině 110 kV v místě připojení transformátoru 110/22 kV.

Vedení vn 22 kV, která jsou vyvedena z transformovny jsou budována v zásadě jako okružní, i když obsahují propojky a nezokruhované odbočky. Síť je provozována s neúčinně uzemněným uzlem pomocí tlumivky. Z hlediska zapojení je síť provozována paprskově, vývody nejsou standardně galvanicky propojeny, vedení jsou rozpojena pomocí úsekových odpínačů (úsečníků). Díky výše popsané topologii a způsobu provozu lze většinu míst v síti, v případě poruchy části vedení, náhradně napájet. Pro řízení provozu sítě jsou stanoveny základní a záložní napájecí stavy, pro které jsou prováděny výpočty. Proto i výpočet bude prováděn pro dva napájecí stavy, z nichž jeden odpovídá základnímu stavu a druhý simuluje záložní napájení v případě poruchy na základním napájecím vývodu.

Tab. 3.1 Typy a délky vedení

Úsek	Typ vodiče	Vedení A (km)	Vedení B (km)
1	22K_240_AXEKCY	0,4855	0,0979
2	22V_110_AlFe6	4,1488	2,9263
3	22V_95_AlFe6	1,4128	3,9589
4	22V_70_AlFe6	0,8568	1,2186

Tab. 3.2 Parametry vodičů

Typ vodiče	Venkovní / kabel	R (Ω/km)	X (Ω/km)	I _{max.vedení} (A)
22K_240_AXEKCY	Kabel	0,125	0,113	417
22V_110_AlFe6	Venkovní	0,256	0,36	326
22V_70_AlFe6	Venkovní	0,434	0,377	254
22V_95_AlFe6	Venkovní	0,301	0,367	310

Tab. 3.3 Parametry transformátoru 110/22 kV

U ₁ (kV)	U ₂ (kV)	S _{inst} (MVA)	u _k (%)	P _k (kW)
110	22	40	11	170

Tab. 3.4 Parametry přípojnice 110 kV

U _n (kV)	S _{k3f} (MVA)	R/X (-)
110	1 000	0,1

Nejprve vypočtu impedanci pro elektrizační soustavu a transformátor, které budou totožné pro obě vedení.

- Impedance elektrizační soustavy:

$$Z_{ES(110)} = \frac{c \cdot U_{NS}^2}{S_{KS}''} = \frac{1,1 \cdot 110\,000^2}{1\,000 \cdot 10^6} = 13,31 \, \Omega \quad (3.11)$$

- Přepočtená impedance na napětí v místě zkratu:

$$Z_{ES(22)} = X_{ES(110)} \cdot \frac{1}{p^2} = 13,31 \cdot \left(\frac{22}{110}\right)^2 = 0,53 \, \Omega \quad (3.12)$$

- Impedance transformátoru:

$$Z_T = \frac{u_{k\%}}{100} \cdot \frac{U_{NT}^2}{S_{NT}} = \frac{11}{100} \cdot \frac{22\,000^2}{40 \cdot 10^6} = 1,33 \, \Omega \quad (3.13)$$

3.2.1 Vedení v základním napájecím stavu (vedení A)

Impedance

- První úsek vedení

$$X_{VA1} = X_{VA1} \cdot l_{A1} = 0,113 \cdot 0,4855 = 0,0548 \Omega \quad (3.14)$$

$$R_{VA1} = R_{VA1} \cdot l_{A1} = 0,125 \cdot 0,4855 = 0,0606 \Omega \quad (3.15)$$

$$Z_{VA1} = \sqrt{R_{VA1}^2 + X_{VA1}^2} = \sqrt{0,0606^2 + 0,0548^2} = 0,0818 \Omega \quad (3.16)$$

- Druhý úsek vedení

$$X_{VA2} = X_{VA2} \cdot l_{A2} = 0,36 \cdot 4,1488 = 1,4935 \Omega \quad (3.17)$$

$$R_{VA2} = R_{VA2} \cdot l_{A2} = 0,256 \cdot 4,1488 = 1,0620 \Omega \quad (3.18)$$

$$Z_{VA2} = \sqrt{R_{VA2}^2 + X_{VA2}^2} = \sqrt{1,0620^2 + 1,4935^2} = 1,8327 \Omega \quad (3.19)$$

- Třetí úsek vedení

$$X_{VA3} = X_{VA3} \cdot l_{A3} = 0,367 \cdot 1,4128 = 0,5184 \Omega \quad (3.20)$$

$$R_{VA3} = R_{VA3} \cdot l_{A3} = 0,301 \cdot 1,4128 = 0,4252 \Omega \quad (3.21)$$

$$Z_{VA3} = \sqrt{R_{VA3}^2 + X_{VA3}^2} = \sqrt{0,4252^2 + 0,5184^2} = 0,6705 \Omega \quad (3.22)$$

- Čtvrtý úsek vedení

$$X_{VA4} = X_{VA4} \cdot l_{A4} = 0,377 \cdot 0,8568 = 0,3230 \Omega \quad (3.23)$$

$$R_{VA4} = R_{VA4} \cdot l_{A4} = 0,434 \cdot 0,8568 = 0,3718 \Omega \quad (3.24)$$

$$Z_{VA4} = \sqrt{R_{VA4}^2 + X_{VA4}^2} = \sqrt{0,3718^2 + 0,3230^2} = 0,4925 \Omega \quad (3.25)$$

- Celková impedance vedení

$$\begin{aligned} Z_{VACel} &= Z_{VA1} + Z_{VA2} + Z_{VA3} + Z_{VA4} \\ &= 0,0819 + 1,8327 + 0,6705 + 0,4925 \\ &= 3,0776 \Omega \end{aligned} \quad (3.26)$$

- Celková impedance okruhu

$$\begin{aligned} Z_{ACel} &= Z_{VACel} + Z_{ES(22)} + Z_T = 3,0776 + 1,33 + 0,53 \\ &= 4,9410 \Omega \end{aligned} \quad (3.27)$$

Rázový zkratový proud

$$I''_{kA} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{VACel}} = \frac{1,1 \cdot 22\,000}{\sqrt{3} \cdot 4,9419} = 2827,22 \text{ A} \quad (3.28)$$

Zkratový výkon v místě předání

$$\begin{aligned} S''_{KSA} &= \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I''_{kA} = \sqrt{3} \cdot 22\,000 \cdot 2827,22 \\ &= 107,75 \text{ MVA} \end{aligned} \quad (3.29)$$

Úbytek napětí na vedení

Úhel $\Psi = 64^\circ$ byl obdržen od konzultanta ze simulačního programu

$$\Delta u_A \leq \frac{S_{Amax} \cdot \cos(\Psi - \varphi)}{S''_{KSA}} \quad (3.30)$$

$$\Delta u_A \leq \frac{4\,000\,000 \cdot \cos(64 - 0)}{107,75 \cdot 10^6}$$

$$\Delta u_A \leq 0,0145 \text{ V}$$

$$\Delta u_{A\%} \leq 1,45 \% \quad (3.31)$$

3.2.2 Vedení v záložním napájecím stavu (vedení B)

Impedance

- První úsek vedení

$$X_{VB1} = X_{VB1} \cdot l_{B1} = 0,113 \cdot 0,0979 = 0,0110 \Omega \quad (3.32)$$

$$R_{VB1} = R_{VB1} \cdot l_{B1} = 0,125 \cdot 0,0979 = 0,0122 \Omega \quad (3.33)$$

$$Z_{VB1} = \sqrt{R_{VB1}^2 + X_{VB1}^2} = \sqrt{0,0110^2 + 0,0122^2} = 0,0164 \Omega \quad (3.34)$$

- Druhý úsek vedení

$$X_{VB2} = X_{VB2} \cdot l_{B2} = 0,36 \cdot 2,9263 = 1,0534 \Omega \quad (3.35)$$

$$R_{VB2} = R_{VB2} \cdot l_{B2} = 0,256 \cdot 2,9263 = 0,7491 \Omega \quad (3.36)$$

$$Z_{VB2} = \sqrt{R_{VB2}^2 + X_{VB2}^2} = \sqrt{1,0534^2 + 0,7491^2} = 1,2926 \Omega \quad (3.37)$$

- Třetí úsek vedení

$$X_{VB3} = X_{VB3} \cdot l_{B3} = 0,367 \cdot 3,9589 = 1,4529 \Omega \quad (3.38)$$

$$R_{VB3} = R_{VB3} \cdot l_{B3} = 0,301 \cdot 3,9589 = 1,1916 \Omega \quad (3.39)$$

$$Z_{VB3} = \sqrt{R_{VB3}^2 + X_{VB3}^2} = \sqrt{1,4529^2 + 1,1916^2} = 1,8790 \Omega \quad (3.40)$$

- Čtvrtá úsek vedení

$$X_{VB4} = X_{VB4} \cdot l_{B4} = 0,377 \cdot 1,2186 = 0,4594 \Omega \quad (3.41)$$

$$R_{VB4} = R_{VB4} \cdot l_{B4} = 0,434 \cdot 1,2186 = 0,5288 \Omega \quad (3.42)$$

$$Z_{VB4} = \sqrt{R_{VB4}^2 + X_{VB4}^2} = \sqrt{0,4594^2 + 0,5288^2} = 0,7005 \Omega \quad (3.43)$$

- Celková impedance vedení

$$\begin{aligned} Z_{VBCel} &= Z_{VB1} + Z_{VB2} + Z_{VB3} + Z_{VB4} \\ &= 0,0164 + 1,2926 + 1,8790 + 0,7005 \\ &= 3,8887 \Omega \end{aligned} \quad (3.44)$$

- Celková impedance okruhu

$$\begin{aligned} Z_{BCel} &= Z_{VBCel} + Z_{ES(22)} + Z_T = 3,8887 + 1,33 + 0,53 \\ &= 5,7521 \Omega \end{aligned} \quad (3.45)$$

Rázový zkratový proud

$$I_{kB}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{VBCel}} = \frac{1,1 \cdot 22\,000}{\sqrt{3} \cdot 3,8887} = 2429 \text{ A} \quad (3.46)$$

Zkratový výkon v místě předání

$$S_{KSB}'' = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_{kB}'' = \sqrt{3} \cdot 22\,000 \cdot 2429 = 92,55 \text{ MVA} \quad (3.47)$$

Úbytek napětí na vedení

Úhel $\Psi = 64^\circ$ byl obdrženo od konzultanta ze simulačního programu

$$\Delta u_B \leq \frac{S_{Amax} \cdot \cos(\Psi - \varphi)}{S_{KSB}''} \quad (3.48)$$

$$\Delta u_B \leq \frac{4\,000\,000 \cdot \cos(64 - 0)}{92,55 \cdot 10^6}$$

$$\Delta u_B \leq 0,0169 \text{ V}$$

$$\Delta u_{B\%} \leq 1,69 \% \quad (3.49)$$

Z výpočtů je patrné, že obě vedení splňují podmínky pro připojení vývodu z FVE.

3.3 Dimenzování vedení

Teď se budu zabývat dimenzováním kabelu pro připojení FVE do přípojného budy. Dimenzování kabelu budu provádět ze dvou hledisek. První bude zaměřeno na dimenzování dle hospodárnosti a druhé dle úbytku na napětí.

3.3.1 Dimenzování dle hospodárnosti

V této kapitole budu kontrolovat hospodárnost průřezu vedení. Nejdříve musím vypočítat dobu plných ztrát za rok, která je dána vztahem:

$$T = t \cdot \left(0,2 \cdot \frac{A}{P_p \cdot t} + 0,8 \cdot \frac{A^2}{P_p^2 \cdot t^2} \right) = \quad (3.50)$$

$$4380 \cdot \left(0,2 \cdot \frac{4\,000\,000}{4\,000 \cdot 4\,380} + 0,8 \cdot \frac{4\,000\,000^2}{4\,000^2 \cdot 4\,380^2} \right) = 382,64 \frac{\text{hod}}{\text{rok}}$$

t – počet provozních hodin zatížení

(obdrženo od konzultanta $t = 4380 \frac{\text{hod}}{\text{rok}}$)

A – energie v provozu přenesená za rok (kWh)

(obdrženo od konzultanta $A = 4 \text{ GWh}$)

P_p – Výpočtové zatížení (kW)

I_p – výpočtový proud (A)

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{4\,000\,000}{\sqrt{3} \cdot 22\,000} = 104,97 \text{ A} \quad (3.51)$$

Následně vypočítáme průřez:

$$S = k \cdot I_p \cdot \sqrt{T} = 0,015 \cdot 104,97 \cdot \sqrt{382,64} = 30,8 \text{ mm}^2 \quad (3.52)$$

k – součinitel závislý na materiálu jádra vodiče a na izolaci.

Pro Al ($0,009 \div 0,0168$), ve výpočtu voleno 0,015.

Průřez kabelu je $30,8 \text{ mm}^2$, proto je volena co nejbližší, ale nejvyšší hodnota, která je 50 mm^2 .

3.3.2 Dimenzování dle úbytku napětí

Při napájení spotřebiče nemá být napětí na svorkách spotřebiče dlouhodobě větší než 105 % jmenovitého napětí rozvodné sítě a nemá klesnout pod 95 % jmenovitého napětí spotřebiče. Z toho je patrné, že dovolené maximální kolísání napětí v síti je $\pm 5 \%$.

Určení úbytku napětí výpočtem při uvažování R a X

V našem případě se budeme zabývat výpočtem, kde $\cos \varphi \geq 0,5$:

$$\begin{aligned}\Delta U &= R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi \\ &= 1,28 \cdot 104,97 \cdot 1 + 0,45 \cdot 104,97 \cdot 0 \\ &= 134,36 \text{ V}\end{aligned}\tag{3.53}$$

$$\Delta U_s = \sqrt{3} \cdot \Delta U = \sqrt{3} \cdot 134,36 = 232,72 \text{ V}\tag{3.54}$$

$$\Delta u_s = \frac{\Delta U_s}{U} \cdot 100 = \frac{232,72}{22\,000} \cdot 100 = 1,06 \%\tag{3.55}$$

Úbytek napětí na dimenzovaném vedení je v procentuálních mezích úbytku, je tedy možností použít daný typ kabelu, a to konkrétně 22K_50_AXEKCY.

4. Porovnání variant z technického i ekonomického hlediska

V této kapitole se budu zabývat porovnáním vedení z technického i ekonomického hlediska. Jedním z nejdůležitějších parametrů technického hlediska je procentuální úbytek napětí na vedení. Vedení v základním napájecím stavu má procentuální úbytek napětí 1,45 %, tato hodnota je menší v porovnání úbytku napětí v záložním napájecím stavu, který má úbytek 1,69 %. Obě vedení splnila požadavky na jejich provozování.

Z ekonomického hlediska je zde pouze rozdíl ve ztrátách na vedení, které jsou dány úbytkem napětí, takže vedení v základním stavu bude levnější na provoz, z důvodu menších ztrát na vedení.

Celková odhadovaná cena na připojení FVE včetně zemních prací, geodetického zaměření, věcných břemen, komponentů a kabelu je 5 192 160,- Kč.

Tab. 4.1 Cenový odhad

Položky	Cena (CZK)
Osazení nového odpínače svislého komorového (22 kV) na stávající bod - vč. materiálu a práce	93 000,00
Svodiče přepětí – sada (22 kV)	21 800,00
1x 22 AXEKCY 50 mm ² – kabel vč. zemnicích prací, koncovky, spojky, skládky, bez základy a záboru	4 012 000,00
Geodetické vytyčení před zahájením stavby (zaokrouhлено nahoru na 1 místo - min. 4.000,- Kč)	80 000,00
Geodetické zaměření po dokončení stavby – dle zásad (zaokrouhлено nahoru na 1 místo -min. 6.000,- Kč)	120 000,00
Věcná břemena (ochranné pásmo) – 5 % z ceny stavby	216 340,00
PD – náklady stavby 0,5 - 5 mil. Kč (15 % z ZCN)	649 020,00
Celkový odhad nákladů kabelu	5 192 160,00

Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo nastínit problematiku návrhu vedení distribuční soustavy ČR, která je důležitou součástí elektrizační soustavy, a proto je na ní kladen velký důraz, a to zejména na spolehlivost a bezpečnost sítě.

V první části bakalářské práce jsem se věnoval základnímu rozdělení vedení a způsobům provozu soustavy z pohledu uspořádání v distribuční soustavě a spojení nulového bodu soustavy se zemí. Nejspolehlivější rozvod je uzavřený mřížový, který umožňuje napájení odběrového místa ze dvou či více směrů. Vysoká spolehlivost mřížového rozvodu je podmíněna vysokou pořizovací cenou. Kompromisem mezi cenou a spolehlivostí je uzavřený okružní rozvod z důvodu možnosti napájení odběrného místa ze dvou stran. Při poruše je rozvod provozován jako paprskový rozvod. Uzavřený okružní rozvod je používán na napěťových hladinách 22 kV, a to z důvodu vysoké spolehlivosti dodávky. Pro přenos elektrické energie do měst a obcí je často používán paprskový rozvod, z důvodu nízké pořizovací ceny.

Spojení uzlu transformátoru se zemí značně ovlivňuje velikost poruchového proudu. Při spojení jedné fáze se zemí u účinně uzemněných sítí se jedná o jednofázový zkrat. Pokud však dojde k takové poruše u sítí neúčinně uzemněných nebo izolovaných dochází k tzv. zemnímu spojení. Při zemním spojení nedosahují hodnoty poruchového proudu, tak vysokých hodnot, jako v případě zkratu, není tedy nutnost okamžitého odpojení od sítě. V České republice je distribuční soustava provozována jako síť neúčinně uzemněné přes zhašecí tlumivku nebo přes odporník.

V druhé kapitole teoretické části jsem se věnoval konstrukčnímu uspořádání na distribučním vedení. Pro venkovní vedení jsou důležité podpěrné body sítě, tedy sloupy, stožáry a kotevní body. Na kotevních bodech jsou umístěny konzole s izolátory a zavěšenými vodiči. Vodiče jsou nejčastěji holá AlFe lana připevněna k izolátorům.

Nezbytnou součástí pro spolehlivý a bezporuchový stav distribuční soustavy jsou ochranné prvky, které omezí, anebo zamezí vzniku možných nežádoucích jevů. Pro připojení nebo odpojení vedení jsou používány spínací prvky. Nejlepší jsou výkonové vypínače, které zvládají spínat i zapínat zkratové proudy. Pro viditelné rozpojení vedení je používán odpojovač.

V praktické části jsem se věnoval návrhu vedení 22 kV, které bude propojovat zdroj elektrické energie s distribuční soustavou. Z rozvodné stanice v Klatovech jsou vyvedena dvě vedení, na které bude zdroj elektrické energie připojen. První vedení bude fungovat pro základní napájecí stav a druhé bude používáno jako záložní napájecí stav. V návrhu jsem vypočítal napěťové poměry vedení, zvláště procentuální úbytek napětí na vedení, které je

rozhodující parametrem při návrhu jakéhokoliv vedení. Dále jsem dimenzoval vedení od zdroje k předávacímu bodu sítě, kde bude vybráno vedení, které bude použito pro základní napájecí stav.

V základní napájecím stavu jsem spočítal zkratový výkon a úbytek na vedení do předávacího místa. Zkratový výkon vyšel 107,75 MVA, a poté byl spočítán úbytek na vedení, který vyšel 1,45 %. V záložním napájecím stavu má zkratový výkon hodnotu 92,55 MVA, ale úbytek na vedení je 1,69 %. Obě vedení mohou být použita pro připojení FVE. Ale pro základní napájecí stav je vybráno vedení s menším úbytkem na vedení, a to z důvodu menších ztrát na vedení.

Při dimenzování vedení od předávacího uzlu k FVE, byla nejprve vypočtena doba plných ztrát, ze které byl vypočítán předběžný průřez vodiče, který je 30,8 mm². Kabel byl vybrán dle tabulek, tedy nalezen nejbližší, ale nejvyšší průřez kabelu, jedná se o kabel 22K_50_AXEKCY.

Celková odhadovaná cena za připojení FVE je 5 192 160,- Kč. Cena zahrnuje zemní práce, geodetické zaměření trasy výkopu, věcná břemena, komponenty pro připojení kabelu do sítě a FVE, a také kabel 22K_50_AXEKCY.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] SCHEJBAL, Konstantin a Jiřina Mertlová. *Elektroenergetika II*. Plzeň: Západočeská univerzita, 1998.
- [2] TESAŘOVÁ, Miloslava a Milada Štroblová. *Průmyslová elektroenergetika*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000.
- [3] MERTLOVÁ, Jiřina a Miloslava Tesařová. *Elektrické stanice a vedení*. Plzeň: Západočeská univerzita, 1997.
- [4] ŘUSŇAK, Štěpán a Petr Řezáček. *Elektrické přístroje 1*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001.
- [5] MERTLOVÁ, Jiřina a Lucie Noháčová. *Elektrické stanice a vedení*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2008.
- [6] HODLOVÁ, Miluše, Pavel Kolouch a Konstantin Schejbal, *Elektrické přístroje*. Plzeň: Ediční středisko VŠSE, 1979.
- [7] PROCHÁZKA, Radek. *Druhy elektrického silnoprůvého rozvodu* [online]., 1 [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/teorie-elektrotechnika/4035-druhy-elektrického-silnoprudeho-rozvodu>
- [8] SLOUPÁRNA MAJDALENA, s r.o. *Betonové přepjaté sloupy* [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://www.slouparna.cz/a-213-betonove-predpjate-sloupy-epv.html>
- [9] *Odstředované betonové sloupy pro elektrická venkovní vedení do 45 kV 3. vydání* [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/12296482-Odstredovane-betonove-sloupy-pro-elektricka-venkovni-vedeni-do-45-kv-3-vydani.html>
- [10] ČERMÁK, Jiří. *Elektrické stožáry aneb poznáš kočku na poli?* [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/elektricke-stozary-aneb-poznas-kocku-na-poli>
- [11] CCB, spol. s r.o. *Stožáry v energetice* [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://www.technikaatrh.cz/elektrotechnika/stozary-v-energetice>
- [12] ŠŤASTNÝ, Vítězslav. *Zřizování elektrických přípojek nízkého napětí* [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://www.energetikainfo.cz/33/zrizovani-elektrickyh-pripojek-nizkeho-napeti-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EIDzobldhBp5cRFraJ4GxDxPpA5B5rrwHw/>
- [13] ENERGETIKA SERVIS. s r.o. *Typový podklad č.1/2018* [online]. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/140596725-Energetika-servis-s-r-o.html>

- [14] SVĚT ENERGIE. *Stožáry linek VVN, VN A NN* [online]. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/distribuce-elektriny/distribuce-elektricke-energie-podrobne/stozary-linek-vvn-vn-a-nn/vyklad>
- [15] SVĚT ENERGIE. *Nadzemní vedení VVN, VN a NN* [online]. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/distribuce-elektriny/distribuce-elektricke-energie-podrobne/nadzemni-vedeni-vvn-vn-a-nn/vyklad>
- [16] IVEP: *Linkový podpěrný kompozitní izolátor 25 kV* [online]. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: https://www.ivep.cz/cz/produkty/izolatory/linkovy-podperny-kompozitni-izolator-25kv-fp1_30-125120
- [17] IVEP: *Linkový tahový kompozitní izolátor* [online]. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: https://www.ivep.cz/cz/produkty/izolatory/linkovy-tahovy-kompozitni-izolator-tenax-fxb_24-70_1
- [18] LIBRA, Jiří. *Elektrická zařízení 2* [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/7713191-4-2-8-pozadavky-na-kontaktni-materialy-39-4-2-9-ryzi-kovy-pouzivane-na-vyrobu-kontaktu-40-4-2-10-slitiny-a-spekane-kovy-pro-vyrobu.html>
- [19] VOLTY. *Počty instalací ACCC rostou* [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <https://www.volty.cz/2016/05/03/pocty-instalaci-accr-rostou/>
- [20] E.ON. *Přepětí* [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/terminolog/eterminologitem.2005-05-23.7953032978>
- [21] EL-INSTA. *ALSTOM SF6 circuit breakers till 420 kV* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://en.el-insta.cz/alstom-sf6-circuit-breakers-till-420kv/>
- [22] SERW. *Odpojovače a uzemňovače* [online]. [cit. 2021-04-04].
- [23] CAD. *CTC Global uvedla na trh systém ACCC IndoCore* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.cad.cz/aktuality/77-aktuality/10213-ctc-global-uvedla-na-trh-system-accr-infocore.html>
- [24] VALIGA, Matěj. *Projektování vedení vvn a zvn* [online]. [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/85117265-Projektovani-vedeni-vvn-zvn-pohled-do-praxe-cvut-fel.html>
- [25] TOMAN, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jaroslava ORSÁGOVÁ, Martin PAAR a David TOPOLÁNEK. *Provoz distribučních sítí* [online]. [cit. 2021-04-07]. DOI: 978-80-01-04935-8. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [26] BENETKA, Tomáš. *Ochrana sítí NN, VN, VVN proti přepětí* [online]. [cit. 2021-04-07].

- [27] CHROMEČEK, Ivan. *Omezovače přepětí při nesinusovém napětovém namáhání* [online]. [cit. 2021-04-07].
- [28] DRIBO, spol. s r.o. *Venkovní odpínače* [online]. [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <http://www.dribo.cz/vyrobni-program/s1-venkovni-pristroje/>
- [29] FIALA, Martin. *Elektrické sítě využívající stejnosměrné napětí do 1000 V* [online]. Brno, 2016 [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/59756>
- [30] Studijní materiály KEE/EE2 FEL ZČU
- [31] Studijní materiály KEE/EPRE FEL ZČU
- [32] Program GIS