

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ
ELEKTRONIKY**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Provoz distribučních sítí nízkého napětí

**vedoucí práce: Doc. Ing. Konstantin SCHEJBAL, CSc.
autor: Štěpán TOMŠOVSKÝ**

2012

Anotace

Tato předkládaná bakalářská práce je zaměřena na provoz distribučních sítí nízkého napětí v širším měřítku. Zabývá se popisem jednotlivých typů sítí, dále zahrnuje otázky týkající se úbytků napětí, výkonových ztrát a dimenzování vedení. V závěru práce je provedeno srovnání výhod a nevýhod daných typů sítí.

Klíčová slova

Napětí, síť, energie, vedení, vlastnosti, rozvod, porucha, záloha, použití, úbytek napětí, ztráta, výkon, Jouleův zákon, dimenzování, proud.

Abstract

The presented bachelor work is focused on the operation of low voltage distribution networks on a larger scale. It describes the different types of networks, also includes issues related to voltage drop, power loss and sizing guidance. The conclusion compares the advantages and disadvantages of the types of networks.

Key words

Voltage, network, energy, electric line, properties, distribution, failure, backup, use, voltage drop, loss, power, Joule law, sizing, current.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr bakalářského studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

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

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

V Klatovech dne 1.6.2012

Jméno příjmení

.....

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Konstantinu SCHEJBALOVI, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM OBRÁZKŮ	8
SEZNAM TABULEK	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
ÚVOD	10
SYSTÉM A PROVEDENÍ ROZVODNÝCH SOUSTAV	11
1. ZÁKLADNÍ TYPY DISTRIBUČNÍCH SÍTÍ NÍZKÉHO NAPĚTÍ.....	12
1.1 <i>Paprsková síť</i>	12
1.2 <i>Dvoupaprsková síť</i>	15
1.3 <i>Okružní síť</i>	16
1.4 <i>Hřebenová síť</i>	17
1.5 <i>Zjednodušená mřížová síť</i>	18
1.6 <i>Uzlová a mřížová síť</i>	19
2. ÚBYTKY NAPĚTÍ A VÝKONOVÉ ZTRÁTY	21
2.1 <i>Úbytky napětí a výkonu ve stejnosměrném rozvodu</i>	22
2.2 <i>Úbytky napětí a výkonu ve střídavém rozvodu</i>	23
2.2.1 <i>Zanedbání reaktance</i>	24
2.2.2 <i>Úbytky napětí a výkonu v jednofázovém a třífázovém rozvodu</i>	24
3. DIMENZOVÁNÍ SÍTÍ.....	27
3.1 <i>Navržení vodičů sítí</i>	27
3.2 <i>Kontrola navržených vodičů</i>	28
3.2.1 <i>Kontrola na dynamické účinky zkratového proudu</i>	28
3.2.2 <i>Kontrola na tepelné účinky zkratového proudu</i>	30
3.2.3 <i>Kontrola na dovolený úbytek napětí</i>	31
4. ZHODNOCENÍ VÝHOD A NEVÝHOD POUŽITÍ JEDNOTLIVÝCH TYPŮ SÍTÍ	32
ZÁVĚR	35
POUŽITÁ LITERATURA	36

Seznam obrázků

<i>OBRÁZEK 1</i> MOŽNOSTI ZÁLOHOVÁNÍ VEDENÍ PAPERKOVÉ SÍTĚ.....	13
<i>OBRÁZEK 2</i> OBECNÉ SCHÉMA PAPERKOVÉ SÍTĚ	14
<i>OBRÁZEK 3</i> SCHÉMA DVOUPAPERKOVÉ SÍTĚ S VYZNAČENÍM ZÁSKOKŮ.....	15
<i>OBRÁZEK 4</i> OBECNÉ SCHÉMA OKRUŽNÍ SÍTĚ [1].....	16
<i>OBRÁZEK 5</i> SCHÉMA OKRUŽNÍ SÍTĚ S VYZNAČENÍM SPÍNÁNÍ POLOSMYČEK [2].....	17
<i>OBRÁZEK 6</i> SCHÉMA HŘEBENOVÉ SÍTĚ	17
<i>OBRÁZEK 7</i> SCHÉMA ZJEDNODUŠENÉ MŘÍŽOVÉ SÍTĚ [2].....	19
<i>OBRÁZEK 8</i> SCHÉMA MŘÍŽOVÉ SÍTĚ [2]	20
<i>OBRÁZEK 9</i> ROZDĚLENÍ PROUDŮ BĚHEM ZKRATU V MŘÍŽOVÉ SÍTĚ [2].....	20
<i>OBRÁZEK 10</i> OBECNÉ POJETÍ ÚBYTKU NAPĚTÍ [6]	22
<i>OBRÁZEK 11</i> FÁZOROVÝ DIAGRAM ÚBYTKU NAPĚTÍ V JEDNÉ FÁZI [1]	25

Seznam tabulek

<i>TABULKA 1</i> VLASTNOSTI SÍTĚ MŘÍŽOVÉ A ZJEDNODUŠENÉ MŘÍŽOVÉ.....	32
<i>TABULKA 2</i> ZHODNOCENÍ VÝHOD A NEVÝHOD JEDNOTLIVÝCH SÍTÍ.....	33

Seznam symbolů a zkratk

<i>H.R.</i>	Hlavní rozvaděč	zkratka
<i>nn</i>	Nízké napětí	zkratka
<i>P.R.</i>	Podružný rozvaděč	zkratka
<i>SV</i>	Slabá vazba	zkratka
<i>T</i>	Transformátor	zkratka
<i>vn</i>	Vysoké napětí	zkratka
<i>R</i>	Ohmický odpor	[Ω]
<i>I</i>	Elektrický proud	[A]
<i>l</i>	Délka vodiče	[m]
<i>U</i>	Elektrické napětí	[V]
ΔU	Úbytek napětí	[V]
U_1	Napětí na začátku vedení	[V]
U_2	Napětí na konci vedení	[V]

ρ	Měrná hustota	[kg/m ³]
s	Průřez vodiče	[mm ²]
$\Delta u\%$	Procentní úbytek napětí	[%]
P	Výkon	[W]
ΔP	Úbytek výkonu	[W]
$\Delta p\%$	Procentní úbytek výkonu	[%]
U_n	Jmenovité napětí	[V]
L	Indukčnost	[H]
C	Kapacita	[F]
G	Svod	[S]
X	Reaktance	[Ω]
d	Střední vzdálenost vodičů	[mm]
r	Poloměr vodiče	[mm]
Z	Impedance	[Ω]
φ	Fázový posun	[-]
ΔU_R	Ohmický úbytek napětí	[V]
ΔU_X	Reaktanční úbytek napětí	[V]
ΔU_f	Fázový úbytek napětí	[V]
P_P	Instalovaný příkon	[W]
P_i	Instalovaný výkon	[W]
β	Koeficient soudobosti	[-]
S_P	Zdánlivý výkon	[VA]
I_P	Výpočtový proud	[A]
i_P	Nárazový zkratový proud	[A]
I_k''	Rázový zkratový proud	[A]
$I_{th, Tk}$	Ekvivalentní oteplovací proud	[A]
Z_k	Zkratová impedance	[Ω]
κ	Součinitel respektující závislost poměru R/X	[-]
F_m	Silové účinky nárazového zkratového proudu	[N]
a_m	Účinná vzdálenost vodičů	[mm]
k	Koeficient respektující geometrické uspořádání vodičů	[-]
S_{min}	Minimální průřez vodiče	[mm ²]
m	Součinitel respektující stejnosměrnou složku zkratového proudu	[-]
n	Součinitel respektující střídavou složku zkratového proudu	[-]
T_{kr}	Jmenovitá doba trvání zkratu	[s]
K	Koeficient respektující teplotu jádra vodiče před a po zkratu	[-]

Úvod

Rozvoj a vývoj elektroenergetických soustav byl a je nutný v přímé souvislosti s nároky a požadavky spotřebitelů. Se stále se zvyšující tendencí spotřeby elektrické energie byla potřeba vytvořit takové sítě, které pokryjí maximum požadavků na ně kladené. A to zejména v souvislosti s jistotou dodávky elektrické energie, dále bezpečností provozu jak za běžných, tak i během poruchových stavů, a to za předpokladu někdy velice složitého zapojení, které je běžné především v městské zástavbě.

V této práci se budeme zabývat problematikou distribučních sítí nízkého napětí, které plní úkol rozvodu elektrické energie jednotlivým odběratelům a koncovým zákazníkům. Práce se týká rozdělení jednotlivých typů distribučních sítí s jejich popisem, funkcí, provozem a vlastnostmi. Dále provedeme rozbor z hlediska úbytků napětí, výkonových ztrát a popíšeme dimenzování vedení dle konkrétních hledisek. Na závěr provedeme souhrnné zhodnocení výhod a nevýhod nejčastěji použitých typů sítí.

System a provedení rozvodných soustav

Elektrifikační soustavy existují dvojího typu. První z nich jsou pasivní soustavy, které mají úkol rozvodný a neřeší problematiku výroby elektrické energie. Tyto sítě patří k velice rozsáhlým, jsou posledním spojovacím článkem v distribuci elektrické energie mezi zdrojem a koncovým spotřebitelem, a proto zasluhují značnou pozornost. Do tohoto typu spadají právě sítě nízkého napětí, které se pohybují v napěťové hladině do 1000V. Mimo jiné existují aktivní elektrifikační soustavy, které zahrnují jak výrobu elektrické energie, tak její následnou distribuci k odběrným místům, včetně rozdělovacích a rozváděcích míst a ovládacích obvodů soustavy. [1]

Rozvodná soustava je složitě uspořádaná a zapojení značného množství jednotlivých prvků vedení sloužících k přenosu, transformaci, spínání (rozpínání) a měnění elektrické energie. Pro zabezpečení regulace toku elektrické energie slouží soubor pomocných zařízení umístěných v pomocných obvodech tvořících pomocnou ovládací soustavu. Jelikož jsou v rozvodné soustavě začleněny prvky s nelineární charakteristikou, je tato soustava brána jako teoreticky nelineární. Lze ji ale idealizovat použitím náhradních schémat (transformátorů) a tím se stává lineární, skládající se z těchto částí: [1]

- Z přenosové sítě
- Ze souboru rozdělovacích sítí
- Z rozváděcích sítí

Tyto jednotlivé sítě jsou charakteristické vedením shodného jmenovitého napětí, druhem zapojení a uspořádání. [1]

V rozsahu této práce se budeme zabývat rozváděcími sítěmi, které pracují v pásmu nízkého napětí (do 1000V). [1]

Rozváděcí síť se člení na síť primární a sekundární. Primární rozváděcí síť má za úkol rozvést a předat dané množství elektrické energie jednotlivým odběratelům. Toto se realizuje přímo (označováno jako primární odběr) nebo nepřímo z dalších odběratelských transformoven (označováno jako sekundární odběr). Sekundární rozváděcí síť je možné provést čistě radiálně s odbočkami, popřípadě okružně nebo uzlově. U uzlového (mřížového) provedení (používané především v městských zástavbách) je nutné síť dimenzovat tak, aby bylo možné spolehlivě zásobovat jednotlivé odběry z jiných napáječů během případné poruchy. Je výhodné provozovat tuto síť za běžného provozu rozděleně a spojovat ji právě za

poruchových stavů. Další možností je spojování transformoven okružním vedením nebo dvojitým napájením těchto transformoven ze strany vysokého napětí. To vše k dosažení potřebné jistoty pro dodávku elektrické energie. Je také nutné vytvořit dostatečnou rezervu na straně vysokého napětí, a to z důvodu případné poruchy (zejména na kabelovém vedení), kdy je obtížné lokalizovat a následně opravit porušené vedení. [1]

1. Základní typy distribučních sítí nízkého napětí

Jak bylo již zmíněno, s rozvojem populace a následnými požadavky na dodávku elektrické energie, bylo nutné vytvoření tolik potřebných sítí. Proto existuje několik typů sítí od jednodušších po poměrně složité. Každé z nich se vyznačují svými specifickými vlastnostmi, které lze aplikovat dle konkrétních požadavků na ně kladené v daném místě.

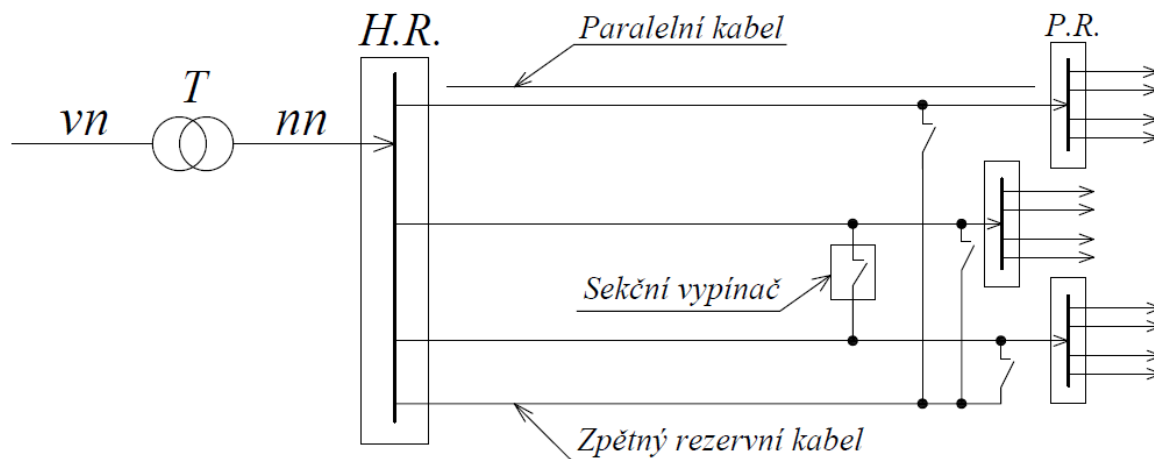
1.1 Paprsková síť

Napájení této sítě je realizováno jen z jednoho místa (z transformovny) a na konci jednotlivých vedení (paprsků) jsou umístěny odběry, ve kterých se vyskytuje značné kolísání napětí, proto je výhodné použít dvojitého vedení. [1] Paprsky jsou vedeny samostatně a nelze je mezi sebou propojovat. [2]

Rozvod je velice jednoduchý (viz. *Obrázek 2*) a tudíž poměrně finančně výhodný (z hlediska výstavby a prvotních investic), avšak z pohledu jistoty dodávky elektrické energie méně výhodný. To se projeví nejvíce při poruše, kdy dochází k výpadku celého paprsku a následná oprava může být v rozsahu až dní. [1]

Existuje několik způsobů pro zlepšení možnosti zálohy dodávky elektrické energie při případné poruše. Prvním je umístění tzv. paralelního kabelu do výkopu k tomu paprsku, který chceme zálohovat. Tento paralelní kabel není za normálního provozu zapojen. Připojí se až poté, co vznikne na souběžném paprsku porucha. Druhým způsobem je položení tzv. zpětného rezervního kabelu, který je pomocí vypínačů připojen k jednotlivým paprskům tak, aby při poruše bylo možné tento kabel připojit. Tento rezervní kabel je ale nutné dimenzovat

na maximální zatížení. Třetím způsobem je umístění tzv. sekčního (výkonového) vypínače mezi dva paprsky. Za normálního provozu je opět rozpojený a připojuje se ve chvíli poruchy jednoho z paprsků. Potřebný výkon převezme neporušený sousední paprsek. Toto jsou způsoby jak docílit neustálého provozu zařízení, která jsou připojena k jednotlivým paprskům za cenu vyšších nákladů. [3]



Obrázek 1 Možnosti zálohování vedení paprskové sítě

Ve městech je tento typ sítě nejvíce rozšířen v provedení kabelovém nebo venkovním. Schéma zapojení této soustavy je takové, že transformátor je opatřen nadproudou ochranou a vývody pojistkami. Vznikne-li v některém z paprsků porucha, nadproudá ochrana zareaguje a vyřadí celou transformovnu s příslušnou sítí. Odběratelé postižení výpadkem elektrické energie nahlásí telefonicky tuto skutečnost dispečinku. Pracovníci energetické společnosti následně odstraní poruchu. Spínací skříně rozdělují vedení na menší úseky, kde lze poruchu snadněji lokalizovat, a také případná porucha nepostihne velké množství odběratelů. [2]

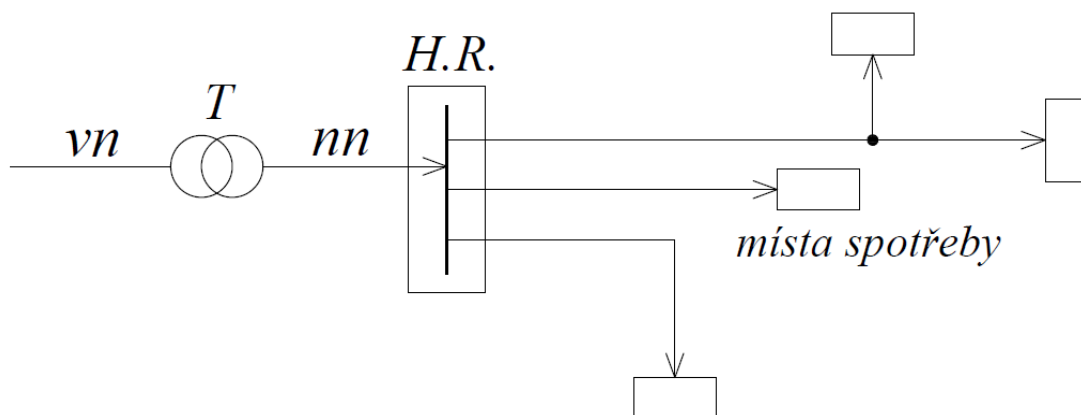
Síť tohoto typu vykazuje řadu výhod, mezi které patří:

- Jednoduchost
- Vysoká přehlednost vedení
- Snadná obsluha
- Finančně výhodná (hospodárná z hlediska výstavby)
- Malé zkratové proudy
- Nedochozí ke zpětnému napětí (každá stanice napájí svoji oblast)

Avšak má i své nevýhody, a to především:

- Malá možnost zálohy při poruše (lze ji z velké části eliminovat)
- Vysoká pravděpodobnost výpadku
- Velké změny napětí a úbytků při změnách odběrů
- Nízké využití transformátorů z důvodu nesouměrného zatěžování
- Vysoké ztráty elektrické energie
- Výpadek napájení v důsledku poruchy na straně vysokého napětí
- Výpadek napájení v důsledku poruchy v síti nízkého napětí

Použití této sítě je především v průmyslových zařízeních, v menších obcích a okrajových oblastech měst (předměstí), kde není potřebné propojení jednotlivých paprsků [2], avšak ochrany proti přetížení a zkratům jsou snadně řešitelné. [1]



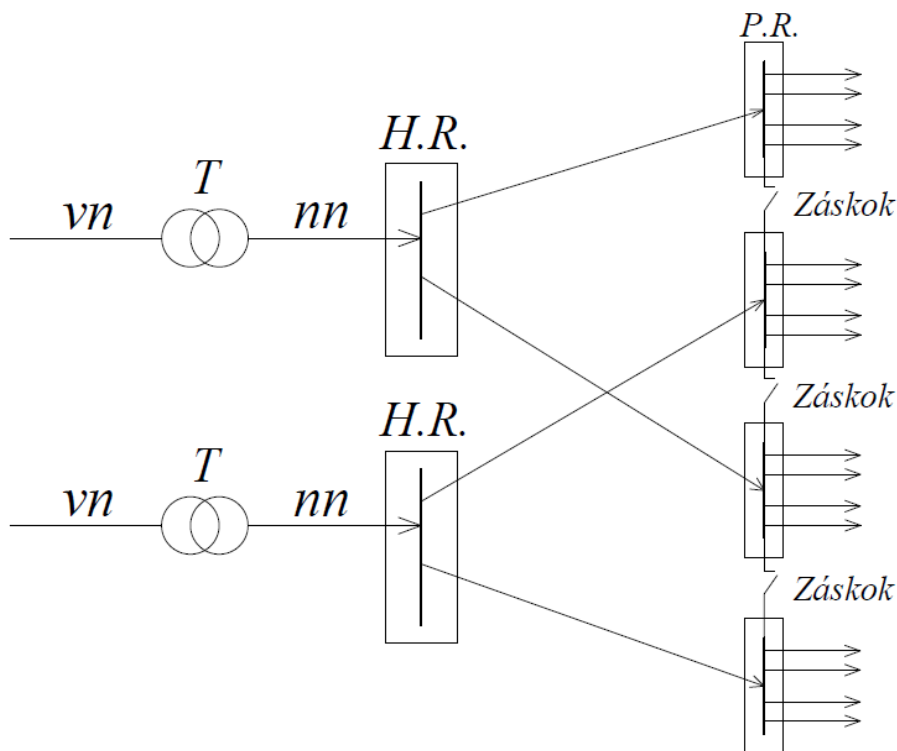
Obrázek 2 Obecné schéma paprskové sítě

1.2 Dvoupaprsková síť

Často označovaná jako síť se dvěma napáječi. Soustava je uspořádaná tak, že v každé stanici jsou umístěny dva transformátory a ty jsou napájeny samostatně (na sobě nezávisle) ze strany vysokého napětí. Principem je to, že pokud dojde k přerušení napájení jednoho z transformátorů, tzv. záskok přepne ve zlomku vteřiny, a ta část sítě napájená z transformátoru, který ztratil napájení ze strany vysokého napětí, je nyní napájena z druhého transformátoru. Pro tento účel je rozvaděč podélně rozdělen jednotlivými záskoky. Toto zapojení zvyšuje bezpečnost (jistotu) dodávky elektrické energie a síť nízkého napětí zůstává stále v provozu. [2]

Vlastnostmi a výhodami se dvoupaprsková síť velice podobá předchozí síti paprskové, oproti níž má hlavní výhodu vyšší jistotu dodávky elektrické energie, avšak za cenu vyšších nákladů na výstavbu a provoz sítě (více transformátorů a vedení v síti), a dále také klesá přehlednost a jednoduchost obslužnosti sítě. [3]

Použití je především pro ta místa, kde je vyžadováno umístění vlastní transformovny nebo pro větší počet obchodních a správních budov. [2]



Obrázek 3 Schéma dvoupaprskové sítě s vyznačením záskoků

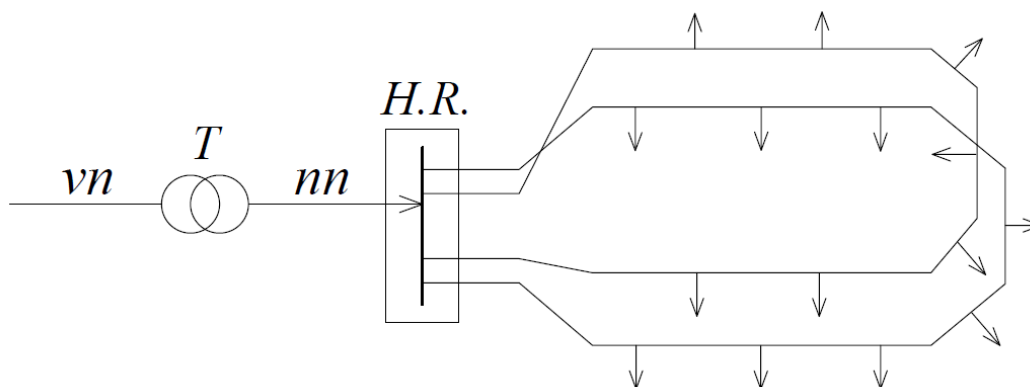
1.3 Okružní síť

Vedení je řešeno jako okružní, přičemž začátek a konec jednoho vedení je připojen k jednomu napájecímu místu. Tímto způsobem je možné napájet jedno místo ze dvou stran, a tím zvýšit jistotu dodávky elektrické energie během poruchy na vedení. [1]

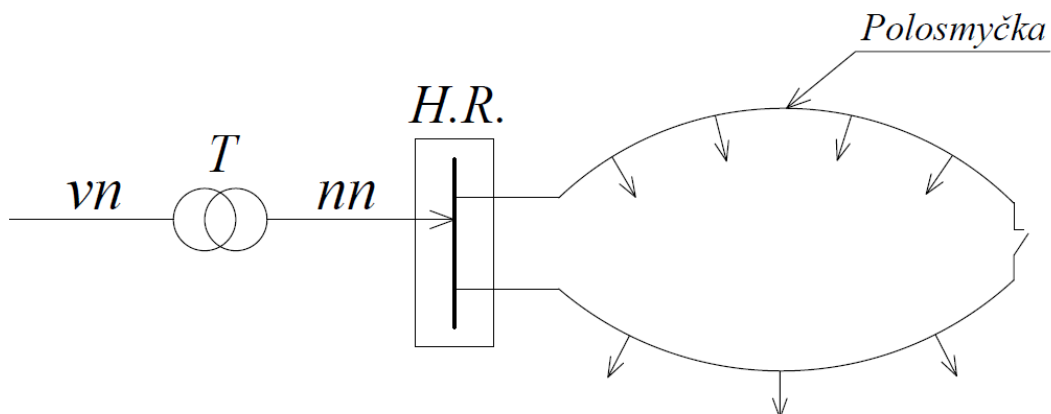
Za běžného provozu jsou smyčky rozepnuté a síť se chová jako paprsková. [1] Zvrat nastává ve chvíli poruchy, kdy dojde ke spojení paprsků (ručně nebo automaticky) a odběrná místa jsou od té chvíle napájena z druhé strany. Je zde nutná potřeba zařízení ke spojení paprsků (polosmyček) a delšího vedení [2], což zvyšuje náklady oproti klasické paprskové síti. Smyčky se provozují v rozepnutém stavu, a to z toho důvodu, že při vzniklé poruše na vedení by jinak v sepnutém stavu tekla do místa zkratu zkratový proud o dvojnásobné velikosti, jelikož by místo zkratu bylo napájeno ze dvou stran. [1]

Vyznačuje se menším kolísáním napětí na odběrových místech než paprsková síť, a to vše při menších průřezech vedení. [1] Naskýtá se zde i možnost odlehčení přetížených vývodů přepnutím části vedení na málo zatížený vývod, což zrovnoměří zatížení vývodů. [2] V ostatních ohledech je shodná se sítí paprskovou (co se týče jednoduchosti a přehlednosti). Ochrany jsou však více složité a náročné než u paprskových sítí. [1] Paprskové a okružní sítě jsou obvykle označovány jako jednoduchá vedení. [4]

Použití této sítě je především ve větších obcích a menších městech. [2]



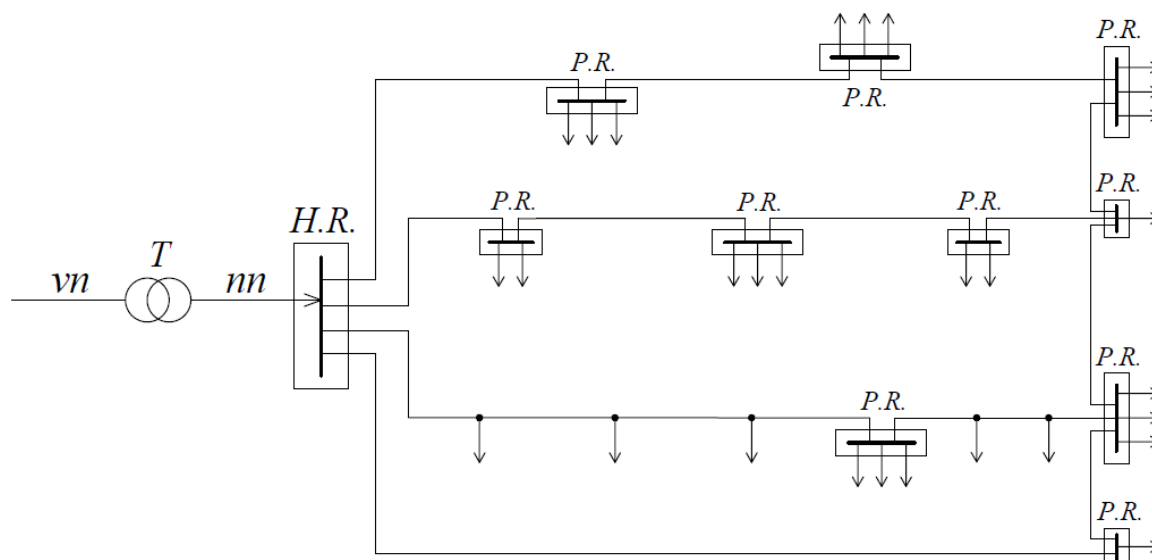
Obrázek 4 Obecné schéma okružní sítě [1]



Obrázek 5 Schéma okružní sítě s vyznačením spínání polosmyček [2]

1.4 Hřebenová síť

Charakterem se nápadně podobá síti okružní, ale navíc je zde propojení mezi jednotlivými smyčkami. Toto propojení sice zvedá náklady, snižuje přehlednost, ale tato cena je vyvážena daleko vyšší spolehlivostí dodávky elektrické energie a kratší dobou odstávky při případné poruše. [3]



Obrázek 6 Schéma hřebenové sítě

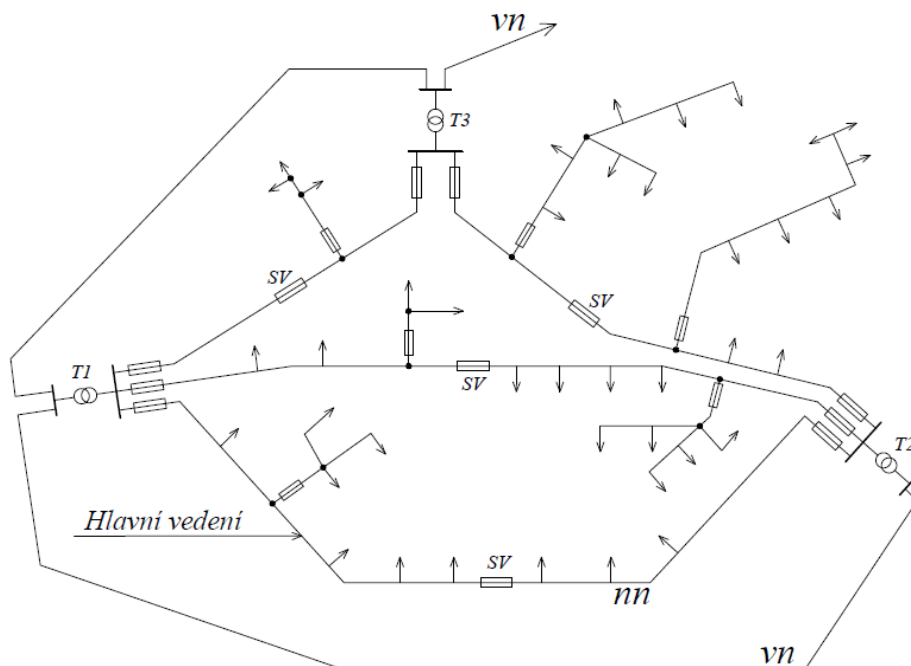
1.5 Zjednodušená mřížová síť

K vytvoření této sítě je nutné splnit podmínku, kdy pracují alespoň dva transformátory do téže sítě, mezi kterými je vytvořeno okružní spojení hlavních (kmenových) vedení stejných průřezů. Toto vedení je jištěno výkonovými pojistkami. Do míst slabé vazby SV (kritického průřezu) se umístí pojistky a toto místo se označuje tzv. přechodným místem na vedení napájeného ze dvou stran. Odbočky z hlavního vedení jsou chráněny opět pojistkami dle průřezu odbočky. [2]

Při vzniklé poruše zareaguje nejprve pojistka slabé vazby a poté hlavní pojistka v transformovně a zbylá síť je nadále v provozu. Tímto způsobem se vytvoří síť poměrně odolná, jež není citlivá na běžné poruchové stavy spotřebičů. Jmenovité hodnoty proudů pojistek chránících hlavní vedení a pojistek chránících odbočky by měly být v poměru 2:1 až 3:1. Největší úbytek napětí se vyskytuje přibližně v polovině vzdálenosti mezi stanicemi (transformovnami), a tak se tento problém řeší přidáním transformátoru právě do tohoto místa největšího úbytku napětí. [2]

Takto vytvořená síť je klidnější s lepšími napěťovými poměry a menšími ztrátami na vedení, reagující na poruchy na straně nízkého napětí, a nikoliv na straně vysokého napětí. Opět dochází ke zlepšení již zmíněného napěťového úbytku, snížení ztrát, k lepšímu využití transformátorů a stabilizace jistoty dodávky elektrické energie. Nevýhodou je velikost zkratových proudů a vyšší složitost sítě. [3]

Použití této sítě je zejména na venkovní vedení na stožárech a v menších městech nebo obcích, tam kde je síť napájena alespoň dvěma transformovnami. [2]



Obrázek 7 Schéma zjednodušené mřížové sítě [2]

1.6 Uzlová a mřížová síť

Vedení je realizováno do mříže (například v městské zástavbě jsou to ulice a chodníky mezi budovami, apod.) [1]

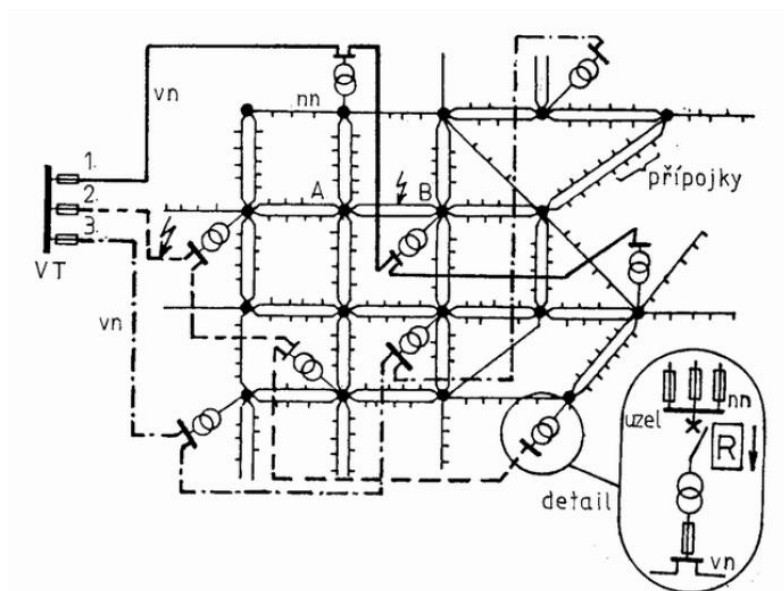
Několik transformoven je napájeno minimálně dvěma napájecí (až pěti) vysokého napětí. [2] Tyto transformovny následně napájí jednotlivé odběry. Tímto způsobem je bezpečnější jistota dodávky elektrické energie, jelikož odběry jsou napájeny z několika stran. [1] Vedení je spojeno v křižovatkách ulic do tzv. uzlů, jež jsou provedeny jako pojistné skříně (jistíci a spínací) vhodně umístěné. [2]

Při vzniklé poruše na vedení mezi dvěma sousedními skříněmi se proud v ideálním případě rozdělí a dojde k přetavení pojistky právě na porušeném vedení (z důvodu vyššího zkratového proudu) a nikoliv na zdravém vedení, ačkoliv jsou všechny pojistky stejné hodnoty. Tímto způsobem se vyřadí pouze přerušený úsek (selektivní vyřazení) a nikoliv zbylá síť, která zůstává nadále v provozu. Při poruše na napájecí na straně vysokého napětí jde do místa zkratu proud jak ze strany vysokého napětí, tak i ze strany sítě nízkého napětí. Proto je každý transformátor opatřen na straně nízkého napětí jističi ovládanými zpětnými relé, které ovládají vypínání vadného napáječe. V ten samý okamžik dojde k vypnutí vypínače

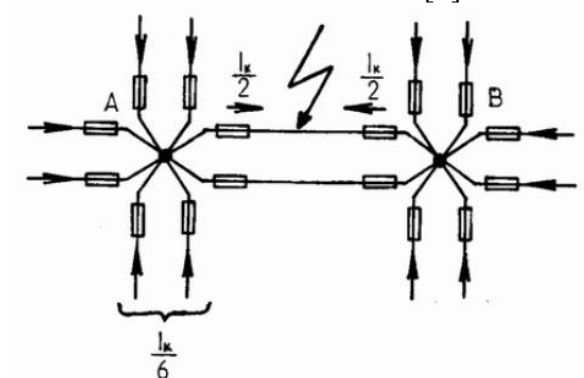
v napájecí stanici a tak daný napáječ bude bez napětí. Zbývá síť nízkého napětí zůstane v provozu. [2]

Kolísání napětí je zde nejmenší oproti předchozím sítím a rozloženo rovnoměrněji s průřezy vodičů menší jak u okružní sítě. Problematictější je však řešení ochrany proti přepětí a větším zkratovým proudům, ale velkou výhodou je možnost snadného rozšíření počtu stanic [1] (bez nutnosti rekonstrukce přidáním transformoven do vhodných uzlů) a tím pádem počtu odběrných míst. Lze také připojovat velká soustředná zatížení (motory nakrátko), přičemž není nutnost vytváření paralelně uložených sítí pro světla a průmysl. [2]

Tato síť se používá především ve velkých průmyslových podnicích, dále ve velkých městech a aglomeracích s vysokou hustotou zástavby nebo tam, kde se plánuje v budoucnu rozšíření počtu odběrných míst. [1]



Obrázek 8 Schéma mřížové sítě [2]



Obrázek 9 Rozdělení proudů během zkratu v mřížové síti [2]

2. Úbytky napětí a výkonové ztráty

Od počátku výroby elektrické energie (v generátorech), přes její transformaci (v transformovnách a motorech), přes vedení, až po koncové odběry dochází ke značným ztrátám. Ztrátou elektrické energie rozumíme tu část, kterou nedovedeme nebo nedokážeme efektivně zužít. Toto řídí všudypřítomné fyzikální zákony, které určují, kolik energie se přemění pro nás v užitečnou energii a kolik v nežádoucí (teplo). Právě uniklé teplo podle Jouleova zákona je nejvýraznější v konečné transformaci a rozvodu nízkého napětí. [5]

Elektrická energie vyrobená v elektrárnách je dopravována distribučními sítěmi koncovému spotřebiteli. Snahou je dopravit energii v maximální kvalitě a bez nežádoucích vlastností. Jedním ze základních požadavků je, aby spotřebiče v celé síti byly zásobovány přibližně jmenovitým napětím. Pokud tato podmínka není dodržena, dochází k nesprávné činnosti spotřebičů. [2] Zvýšené napětí má za následek snižování životnosti, zejména u žárovek. Naopak snížené napětí snižuje moment motorů. Udržení napětí v patřičných (předepsaných) mezích se realizuje regulací na generátorech nebo regulačními transformátory a také řádně navrženou a provedenou sítí. [3]

Vyroběný výkon je však snížen o řadu ztrát, jakými jsou například ztráty v přenosových vedeních a transformátorech ke krytí Jouleových ztrát, korunou, únikem nedokonalou nebo špatnou izolací, nesouměrným zatěžováním fází, apod. V sítích nízkého napětí jsou významné především Jouleovy ztráty. [2]

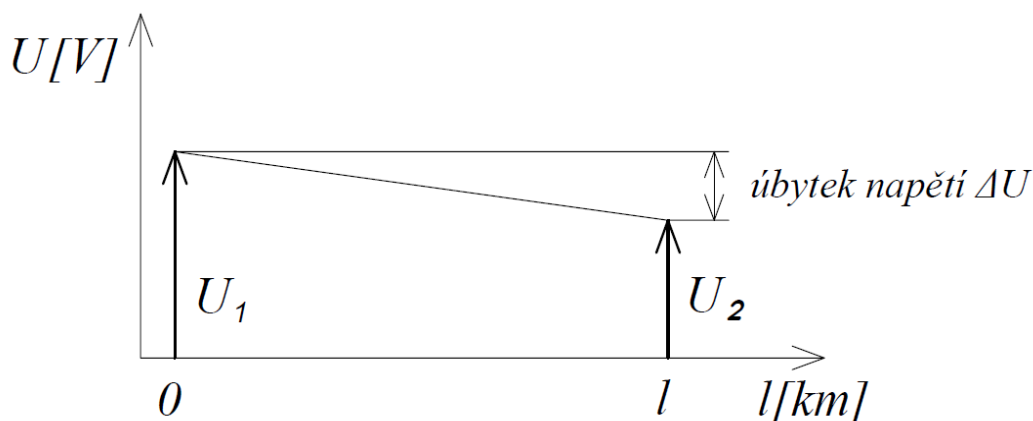
Dále se velikost napětí během času v jakémkoli místě vedení mění. Ke změně napětí dochází dvojím způsobem. Pomalé změny způsobené režimem v elektrárnách a transformovnách a rychlé změny způsobené zkraty a krátkodobými proudovými rázy při zapínání velkých spotřebičů. První změny způsobují odchylky od jmenovitého napětí a druhé kmitání napětí. [2]

2.1 Úbytky napětí a výkonu ve stejnosměrném rozvodu

Pro výpočet úbytku napětí v rozvodu stejnosměrného proudu vycházíme Ohmova zákona. Jelikož se jedná o stejnosměrný rozvod, bereme v úvahu pouze činný odpor vodiče R a proud I , který jím prochází. [6]

Uvažujme vedení délky l s odporem R napájené napětím U_1 , které napájí spotřebič napětím U_2 . Rozdíl hodnot U_1 a U_2 se nazývá úbytkem napětí, který je roven součinu činného odporu a proudu. Úbytek napětí lze spočítat dle následujícího vztahu: [6]

$$\Delta U = U_1 - U_2 = 2R \cdot I \quad [V] \quad (1)$$



Obrázek 10 Obecné pojetí úbytku napětí [6]

Odpor R zde vystupuje o dvojnásobné velikosti ($2R$), a to z toho důvodu, že spotřebič je napájen vedením, které se vrací zpět do zdroje. Čili tam i zpět jde o dvojnásobnou délku vedení, proto $2R$. [6]

Vyjádříme-li činný odpor R pomocí měrné hustoty ρ a průřezu s , dále proud I pomocí přenášeného výkonu P a napětí U_n , dostaneme vztah: [6]

$$\Delta U = \frac{2\rho \cdot l}{s} \cdot \frac{P}{U_n} \quad [V] \quad (2)$$

Pro procentní vyjádření úbytku napětí ve stejnosměrném rozvodu použijeme vztah:

$$\Delta u_{\%} = \frac{200\rho \cdot l}{s} \cdot \frac{P}{U_n^2} \quad [\%] \quad (3)$$

Úbytek napětí je tedy součin $2RI$ a jedná se o kladnou hodnotu. Pokud bychom se na tuto situaci dívali ze strany spotřebiče, jednalo by se o tzv. přírůstek napětí a součin $2RI$ by byl v tomto případě záporný. [6]

Obdobně postupujeme při výpočtu ztrát výkonu. Ztráty výkonu závisejí na zatížení a vznikají v důsledku průchodu proudu zařízením nebo vedením. [5] Berme případ, kdy je vedení na jednom konci napájeno zdrojem stejnosměrného proudu a na druhém konci je toto vedení zatíženo spotřebičem. Ztráty výkonu se pak rovnají součinu kvadrátu proudu a činného odporu vodiče, kterým proud prochází. Zapsáno ve vztahu:

$$\Delta P = \frac{2\rho \cdot l}{s} \cdot \frac{P^2}{U_n^2} \quad [W] \quad (4)$$

Opět zde vystupuje člen $2R$ z důvodu dvojnásobné délky vedení (od zdroje ke spotřebiči a zpět). [6]

Pro procentní vyjádření úbytku výkonu ve stejnosměrném rozvodu použijeme vztah:

$$\Delta p_{\%} = \frac{200\rho \cdot l}{s} \cdot \frac{P}{U_n^2} \quad [\%] \quad (5)$$

2.2 Úbytky napětí a výkonu ve střídavém rozvodu

Dle normy ČSN EN 50160 jsou stanoveny hodnoty jmenovitých napájecích napětí U_n pro veřejnou síť nízkého napětí takto: [7]

- $U_n = 230V$ mezi fázovým a středním vodičem pro čtyřvodičové trojfázové soustavy
- $U_n = 230V$ mezi fázovými vodiči pro třívodičové trojfázové soustavy

Dále norma upravuje odchylky od jmenovitého napětí U_n takto: [7]

- Při měření v intervalech 10 minut musí být průměrné efektivní hodnoty U_n v mezích $U_n +10\% / -15\%$

- V případě rychlých změn způsobených změnami zatížení by odchylka napětí neměla obecně překročit hodnotu 5% z U_n a ve výjimečných případech 10% z U_n

2.2.1 Zanedbání reaktance

Při výpočtu sítí bereme v úvahu vedení dlouhá a vedení krátká. Dále musíme brát zřetel na několik parametrů, které výrazně ovlivňují přesnost výpočtů. Těmito parametry jsou ohmický odpor R , indukčnost L (reaktance X), kapacita C a svod G . Jelikož se v této práci zabýváme distribučními sítěmi nízkého napětí, odpadá nám ve výpočtu kapacita C a svod G . Tyto parametry se totiž vyskytují pouze u dlouhých vedení na vysokém napětí. Proto budeme počítat s krátkými vedeními, u kterých se vyskytuje pouze ohmický odpor R a reaktance X . [6]

Pro výpočet reaktance X 1km vodiče trojfázového vedení vycházíme ze vztahu:

$$X = 0,145 \cdot \log \frac{d}{0,78 \cdot r} \quad [\Omega/km] \quad (6)$$

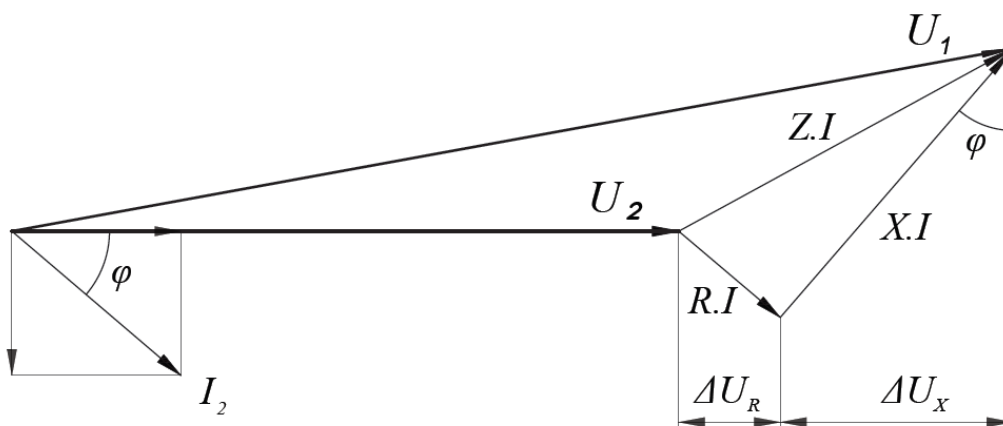
kde d označuje střední vzdálenost vodičů od sebe a r označuje poloměr jednoho vodiče. Jelikož v sítích nízkého napětí je rozvod elektrické energie prováděn převážně krátkými kabely nebo vodiči umístěnými blízko sebe, vychází hodnota reaktance X velice malá. Z výše uvedeného vyplývá, že hodnoty reaktance X vycházejí mnohem menší v porovnání s hodnotami ohmického odporu R . Z praxe byly dosaženy poznatky, že pokud vychází při výpočtu jedna hodnota 10x a více menší jak druhá, lze tuto menší hodnotu zanedbat, přičemž se nedopustit značné chyby. Proto budeme ve výpočtech uvažovat pouze ohmický odpor R a tímto způsobem se také výpočty značně zjednoduší. [6]

2.2.2 Úbytky napětí a výkonu v jednofázovém a třífázovém rozvodu

Pro výpočet menších střídavých sítí a krátkých vedení nízkého napětí uvažujeme pouze ohmický odpor, dále indukčnost (reaktanci) a fázový posun, nikoliv kapacitu a svod. [6] Navíc na základě předchozí kapitoly můžeme zanedbat dokonce i reaktanci, a tím zjednodušit výpočty.

Při přenosu výkonu P s fázovým posunem (o úhel φ) vedením o impedanci Z vznikají úbytky napětí a též výkonu. Celkový ohmický úbytek $R \cdot I$ přičteme k napětí U_2 . Ten vzniká ve

vodiči na základě činné složky a je ve fázi s proudem I_2 . Zároveň tento proud prochází i reaktanční složkou impedance, kde napětí předbíhá proud o $\pi/2$ a tím vzniká reaktanční (induktivní) úbytek napětí $X.I$, který je kolmý na ohmický úbytek. Spojnice počátku a úbytku napětí na vedení $Z.I$ nám dává napětí na začátku vedení U_1 (viz. *Obrázek 11*). [3]



Obrázek 11 Fázorový diagram úbytku napětí v jedné fázi [1]

Sdružený úbytek napětí ΔU se vypočte u trojfázového proudu z úbytku napětí v jedné fázi ΔU_f podle následujícího vztahu: [6]

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot \Delta U_f \quad [V] \quad (7)$$

Úbytek napětí v jedné fázi (v jednom vodiči) u trojfázového proudu je dán rozdílem napětí na začátku vedení U_1 a na jeho konci U_2 (na spotřebiči). Zapsáno vztahem: [6]

$$\Delta U_f = U_1 - U_2 \quad [V] \quad (8)$$

Pro přesný výpočet fázového úbytku napětí ΔU_f použijeme vztah:

$$\Delta U_f = R I \cdot \cos \varphi + X I \cdot \sin \varphi \quad [V] \quad (9)$$

kde první člen $R I \cos \varphi$ označuje celkový ohmický úbytek napětí vyvolaný ve vodiči činnou složkou a druhý člen $X I \sin \varphi$ označuje celkový induktivní úbytek způsobený jalovou složkou střídavého proudu. [6]

Častěji používané procentní vyjádření celkového sdruženého úbytku napětí, které nám poskytuje informaci o kvalitě vedení, spočteme podle následujícího vztahu:

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U \cdot 100}{U} \quad [\%] \quad (10)$$

kde U je sdružené napětí.

Při výpočtu ztrát třífázového výkonu vycházíme ze vztahu součinu napětí, proudu a cosinu úhlu fázového posunu, zapsáno ve vztahu:

$$\Delta P = 3U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad [W] \quad (11)$$

kde součin $U \cdot I \cdot \cos \varphi$ je fázovým úbytkem napětí, a proto se tento součin (u třífázového proudu) násobí 3x pro získání celkového úbytku výkonu. [3]

Pro procentní vyjádření trojfázového úbytku výkonu použijeme vztah:

$$\Delta p_{\%} = \frac{\Delta P \cdot 100}{P} \quad [\%] \quad (12)$$

Budeme-li se zabývat jednofázovým rozvodem proudu, budeme vycházet z předchozích výpočtů pro třífázový proud. [3]

Celkový úbytek napětí je dán dvojnásobkem fázového úbytku, zapsáno ve vztahu:

$$\Delta U = 2 \cdot \Delta U_f = 2(RI \cdot \cos \varphi + XI \cdot \sin \varphi) \quad [V] \quad (13)$$

Pro procentní vyjádření výsledného jednofázového úbytku napětí použijeme vztah:

$$\Delta u_{\%} = \frac{200(RI \cdot \cos \varphi + XI \cdot \sin \varphi)}{U} \quad [\%] \quad (14)$$

kde U je fázové napětí.

Při výpočtu ztrát jednofázového výkonu vycházíme ze stejného vztahu jako u třífázového výkonu, jen s tím rozdílem, že součin fázového úbytku $U \cdot I \cdot \cos \varphi$ násobíme 2x a nikoliv 3x. [3] Zapsáno ve vztahu:

$$\Delta P = 2U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad [W] \quad (15)$$

A pro procentní vyjádření jednofázového úbytku výkonu použijeme vztah:

$$\Delta p_{\%} = \frac{200U \cdot I \cdot \cos \varphi}{P} \quad [\%] \quad (16)$$

3 Dimenzování sítí

Dimenzování je činnost, kterou se rozumí navržení a kontrola vedení distribučních sítí tak, aby byly schopny odolávat dynamickým a tepelným účinkům zkratových proudů. Správně navržená a zkontrolovaná síť má ty nejlepší předpoklady pro dlouholetý a bezporuchový provoz. To vede ke spokojenosti koncových spotřebitelů a také k jednodušší obsluze. Dále stanovuje minimální a hospodárný průřez a zahrnuje kontroly na dynamické a tepelné účinky zkratových proudů a kontrolu na úbytek napětí. [2]

3.1 Navržení vodičů sítí

Při výpočtech postupujeme tím způsobem, že nejdříve spočteme výpočtové zatížení, tzv. instalovaný příkon P_p . Tento je dán součtem výkonů jednotlivých zařízení (instalovaných výkonů P_i), které musí vodiče přenést a snížené o tzv. koeficienty soudobosti β . Koeficient soudobosti β vyjadřuje závislost provozu (využití) zařízení v čase. Jedná se o stav kdy zařízení je v provozu, či nikoliv a dále zahrnuje využití z jeho maxima výkonu. [8] Ze známého P_p a účinníku $\cos\varphi$ lze podle vztahu:

$$S_p = \frac{P_p}{\cos\varphi} \quad [VA] \quad (17)$$

spočítat zdánlivý výkon S_p . Známe-li S_p , jsme schopni spočítat výpočtový elektrický proud I_p , který bude přenášet námi navrhovaný vodič podle vztahu:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad [A] \quad (18)$$

Na základě získaného výsledku výpočtového proudu I_p určíme podle tabulek průřez vodiče s , který je schopen přenést tento proud za normálního (bezporuchového) stavu. [8]

3.2 Kontrola navržených vodičů

Jakmile navrhujeme vodič s konkrétním průřezem, musíme přistoupit k jeho kontrole na účinky zkratových proudů, dále na úbytek napětí a v neposlední řadě musíme provést kontrolu minimálního průřezu. Všechny tyto kontroly provádíme za účelem zjištění, zda námi navrhovaný vodič vyhoví všem podmínkám, které na něho mohou a budou působit během jeho provozu. Mimo zmíněné kontroly, které podrobněji popíšeme dále, provádíme též zhodnocení, zda neumístit namísto námi navrženého a zkontrolovaného vodiče takový vodič, který se bude vyznačovat nižšími ztrátami (Jouleovými). Touto kontrolou se rozumí takový kontrolní postup, kdy se snažíme nalézt neoptimálnější řešení, tak aby byly v rovnováze celkové prvotní investiční náklady při výstavbě vedení a provozní náklady během životnosti vedení. Jouleovy ztráty jsou dány součinem odporu R a kvadrátu průchozího proudu I_p . Vodič s menším odporem R vykazuje menší ztráty a za dobu životnosti se prvotní investiční náklady vrátí, což je podnětem pro umístění takového vodiče. Tohoto se využívá především u celoročně zatížených elektrických vedení. [8]

Zkratový proud se vyznačuje několika charakteristickými hodnotami, které využíváme ke konkrétním kontrolám. Mezi tyto hodnoty patří nárazový (dynamický) zkratový proud i_p , který se využívá pro kontrolu na dynamické účinky zkratového proudu, dále rázový zkratový proud I_k'' a třetí hodnotou je ekvivalentní oteplovací (termický) zkratový proud $I_{th,Tk}$ používající se pro kontrolu na tepelné účinky zkratového proudu. [9]

3.2.1 Kontrola na dynamické účinky zkratového proudu

Pro kontrolu vodičů na mechanické a silové účinky zkratového proudu se využívá tzv. nárazový (dynamický) zkratový proud i_p . Jde o největší okamžitou hodnotu (amplitudu) z průběhu zkratového proudu. [9]

Veškeré výpočty vycházejí ze znalosti tzv. rázového zkratového proudu I_k'' , který je efektivní hodnotou zkratového proudu v jeho počátku. Abychom vypočetli hodnotu rázového zkratového proudu, musíme znát velikost zkratové impedance Z_k v místě zkratu, kterou spočítáme podle vztahu: [9]

$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2} \quad [\Omega] \quad (19)$$

Následně spočítáme námi hledaný rázový zkratový proud I_k'' dle vztahu: [9]

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} Z_k} \quad [A] \quad (20)$$

kde c je napěťový součinitel respektující nejvyšší dovolené napětí sítě a U_n je fázové napětí.

Nyní jsme schopni spočítat nárazový zkratový proud i_p dle následujícího vztahu: [9]

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' \quad [A] \quad (21)$$

kde κ (kappa) je součinitel respektující závislost poměru činné R a jalové X složky zkratové impedance Z_k . Hodnotu součinitele κ lze určit z grafu nebo za pomoci následujícího vztahu:

$$\kappa = 1,02 + 0,98e^{-3\frac{R}{X}} \quad [-] \quad (22)$$

Pomocí nárazového zkratového proudu i_p kontrolujeme tuhé a pevně uložené vodiče, dále podpěrné izolátory, průchodky a svorky přístrojů na mechanické namáhání. [9]

Pro silové účinky F_m nárazového zkratového proudu i_p působící mezi pevnými fázovými vodiči délky l a uložené v účinné vzdálenosti a_m , použijeme následující vztah: [10]

$$F_m = 2 \cdot k \cdot \frac{i_p^2}{a_m} \cdot l \cdot 10^{-7} \quad [N] \quad (23)$$

kde: l označuje délku souběhu vodičů mezi podpěrkami

a_m označuje účinnou vzdálenost mezi vodiči závislou na geometrickém uspořádání a tvaru vodičů

k je koeficient respektující uspořádání fázových vodičů a také fázový posun proudu v jednotlivých fázích

i_p označuje nárazový zkratový proud

3.2.2 Kontrola na tepelné účinky zkratového proudu

Vodič, kterým prochází elektrický proud, se přirozeně zahřívá. Vzniklé teplo jsou Joulovy ztráty a jsou přímo úměrné součinu odporu R a kvadrátu proudu I , který vodičem protéká. Snahou je navrhnout takový vodič, u kterého nebude docházet k nadměrnému zahřívání nebo se bude teplota držet v patřičných mezích. Přehřívání vodiče extrémně zatěžuje izolaci a tím značně zkracuje její životnost. Rozsah teplotní použitelnosti vodiče určuje materiál izolace a způsob uložení, neboť záleží, jakým způsobem dochází k předání vzniklého tepla ve vodiči do okolního prostředí. [10]

Za tímto účelem byl zaveden tzv. ekvivalentní oteplovací (termický) proud $I_{th,Tk}$. Jedná se o efektivní hodnotu proudu konstantní amplitudy, který za jmenovitou dobu trvání zkratu T_{kr} , vyvine stejné tepelné účinky jako skutečný průběh zkratového proudu za stejnou dobu. Ekvivalentní oteplovací proud $I_{th,Tk}$ se mimo kontrolu na tepelné účinky zkratového proudu také využívá pro výpočet minimální hodnoty průřezu vodiče S_{min} . [9]

Pro výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu $I_{th,Tk}$ použijeme vztah: [10]

$$I_{th,Tk} = I_k'' \sqrt{m+n} \quad [A] \quad (24)$$

kde: m je součinitel respektující časově závislý tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu

n je součinitel respektující časově závislý tepelný účinek střídavé složky zkratového proudu

Dále vypočteme minimální hodnotu průřezu vodiče podle vztahu: [8]

$$S_{min} = \frac{I_{th,Tk} \cdot \sqrt{T_{kr}}}{K} \quad [mm^2] \quad (25)$$

kde T_{kr} je jmenovitá doba trvání zkratu a K je koeficient respektující teplotu jádra vodiče před a po zkratu.

Získané výsledky proudů a průřezu porovnáme hodnotami, které uvádí výrobce u námi navrženého vodiče, a vyhodnotíme, zda vyhovuje, či nikoliv. V případě nevyhovění je nutné vodič vyměnit za jiný, který bude splňovat všechny požadované parametry. [8]

3.2.3 Kontrola na dovolený úbytek napětí

Zatížení vodičů a následný průchod elektrického proudu způsobuje vlivem odporu vodiče úbytek napětí. Pokles napětí může negativně ovlivňovat činnost připojených zařízení, a proto je důležité správně navrhnout síť, aby úbytek napětí nepřesahoval předepsanou mez stanovenou normou. Není-li příslušnou normou stanoveno jinak, uvažujeme dovolený úbytek napětí v síti nízkého napětí maximálně 5%. [8]

Pro výpočet fázového úbytku napětí použijeme následující vztah: [8]

$$\Delta U_f = R \cdot l \cdot I_p \cdot \cos \varphi + X \cdot l \cdot I_p \cdot \sin \varphi \quad [V] \quad (26)$$

kde: R označuje odpor vodiče

X označuje reaktanci vodiče

l označuje délku vodiče

I_p označuje průchozí elektrický proud vodičem

φ označuje fázový posun

Pro procentní vyjádření celkového (sdruženého) úbytku napětí použijeme vztah:

$$\Delta u_{\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta U_f \cdot 100}{U_n} \quad [\%] \quad (27)$$

kde U_n označuje jmenovité napětí (sdružené)

V případě nevyhovění na úbytek napětí je třeba použít vodič s lepšími vlastnostmi (s nižšími hodnotami R a X) tak, aby výsledný úbytek napětí byl vyhovující. [8]

4 Zhodnocení výhod a nevýhod použití jednotlivých typů sítí

Nejdříve provedeme popis vlastností sítě mřížové a zjednodušené mřížové pro lepší přehled rozdílů, kterými se liší v následující tabulce. [2]

Tabulka 1 Vlastnosti sítě mřížové a zjednodušené mřížové

	Mřížová síť	Zjednodušená mřížová síť
Způsob napájení	Dva až pět napáječů pro jednu mřížovou síť nn	Pouze jeden napáječ vn
Situace při výpadku napájení	Při výpadku jednoho napáječe vypadnou všechny transformátory, které jsou na tento napáječ napojeny. Ostatní napáječe pracují nepřerušeně. Síť nn zůstává nadále v provozu.	Při výpadku napáječe vn je kompletně celá síť bez proudu.
Realizace vedení sítě nn	Je kabelová, nejlépe stejných průřezů. Vytváří pravidelné mříže (oka). Na křižovatkách ulic jsou kabely vyvedeny do pojistkových skříní, kde vytváří uzly dané sítě.	Je obvykle venkovní. Průřezy hlavních (kmenových) spojovacích vedení jsou obvykle stejného průřezu.
Likvidace poruchy na vedení vn, jištění	Zkrat odepne vypínač s nadproudovou ochranou na začátku napáječe, u transformátoru jsou pojistky vn (někdy také odpínač bez nadproudové ochrany). Odpojení u transformátoru provede spínač na straně nn s ovládacím zpětným relé.	Napáječ vn představuje obvykle vedení vn až 25 km i více dlouhé, které napájí několik obcí. Vedení se odpojí vypínačem ve spínací nebo transformátorové stanici 110 kV/vn. U transformátorů jsou pojistky vn.
Likvidace poruchy na vedení nn, jištění	Při poruše se selektivně vyřadí jen postižený úsek mezi dvěma uzly, pojistkami stejné charakteristiky umístěnými v uzlech sítě (v pojistkových skříních). Délka úseku je asi 150, 200 i více m.	Při poruše se vyřadí postižený úsek pojistkou slabé vazby a pojistkou u transformátoru. Délka úseku je různá, dělá asi polovinu délky vedení mezi transformovny.

Nyní v této části přistoupíme ke zhodnocení výhod a nevýhod sítě paprskové, zjednodušené mřížové a také klasické mřížové sítě opět vše v následující tabulce.

Tabulka 2 Zhodnocení výhod a nevýhod jednotlivých sítí

	Klasická mřížová síť	Zjednodušená mřížová síť	Paprsková síť
	Výhody		
1.	Menší variace napětí v různých místech sítě v provozu (změny napětí při změnách zatížení nejsou tak veliké jako u sítí paprskových, světlo neblíká).	Napětí se zlepšuje až asi na poloviční úbytek než v síti paprskové.	Nemá-li paprsková síť možnost sepnutí na sousední paprsek, je likvidace poruchy zdoluhavá a výpadek elektrické energie značný. Je-li možné sepnutí, porucha se značně zkrátí a omezí.
2.	Lepší napětí v celé síti nn. Úroveň napětí je rovnoměrnější.	Umožňuje připojovat koncentrované odběry asi do čtvrtiny výkonu transformátoru.	Zkratové proudy při poruše jsou nejmenší ve srovnání s ostatními sítěmi.
3.	Umožňuje připojovat motory nakrátko a větší koncentrovaná zatížení až do poloviny výkonu transformátoru i více (je-li u stanice).	Považuje se za jeden z nejlepších způsobů rozšíření a zajištění dalšího růstu odběru.	Nedochází ke zpětnému napětí (každá stanice napájí svoji oblast).
4.	Není nutnost vytvářet paralelně uložené sítě (světelnou a průmyslovou) z důvodu dostatečné rezervy sítě.	Poruchy na vn postihnou celou obec. Poruchy v kmenových vedeních nn se omezí jen na úsek mezi dvěma pojistkami.	Síť je v provozu velice přehledná.
5.	Ušetří se na celkovém výkonu transformátoru asi 30 %.	Větší jistota zásobování oproti paprskové síti.	Nízká cena sítě.
6.	Využívá lépe vedení.		
7.	Při postupném vývoji spotřeby se síť nerekonstruuje, přidávají se nové transformovny.		
8.	Hospodárnější provoz (ztráty výkonu jsou v dobře navržených a řízených uzlových sítích menší než u sítí jednoduchých až o 30 %).		
9.	Poruchy napáječů vn se nepřenesou do sítě nn. A poruchy na síti nn se		

	omezí na malý úsek 150 až 200 m.		
10.	Minimální pravděpodobnost výpadků (1 při poruše vyjádřený v kWh/r).		
11.	Velká jistota zásobování oproti zjednodušené mřížové a paprskové síti.		
12.	Vysoká efektivita využití transformátorů a vedení.		
13.	Poruchy v síti vn neovlivní napájení jednotlivých odběrných míst stejně jako poruchy v síti nn.		
Nevýhody			
1.	Má vysoké zkratové proudy při poruše.	Větší zkratové proudy při poruše oproti paprskové síti.	Napětí je nestabilní, velké změny napětí a úbytků při změnách odběrů.
2.	Při rozpojení pojistkami mají kontakty zpětné napětí.	Možnost zpětného napětí.	Využití transformátoru i vedení je malé. Transformátory jsou nesterjně zatěžovány, vyrovnaní zatížení mezi nimi je obtížné, musí se přepínat některé úseky sítě z přetížené stanice na jinou málo zatíženou.
3.	Velmi malá přehlednost sítě.	Asi 4 až 5 krát větší pravděpodobnost výpadku oproti klasické mřížové síti.	Neumožňuje připojovat větší koncentrované odběry.
4.	Relativně vysoké náklady na výstavbu (v závislosti na instalovaném výkonu)		Vysoké ztráty elektrické energie.
5.	Poměrně početně složité výpočty pro návrh a kontrolu sítě.		Nízká jistota dodávky elektrické energie.
6.	Potřeba kontrol skříní s pojistkami.		Při uplatnění větších požadavků na racionalizaci nemá paprsková síť budoucnost.
7.	Problematičtější hledání závady na kabelovém vedení.		Asi až 9 000 krát větší pravděpodobnost výpadku oproti klasické mřížové síti.
8.			Ztráta napájení odběrů v důsledku poruchy jak na straně vn, tak na straně nn.

Závěr

V této práci byl proveden rozbor jednotlivých typů distribučních sítí nízkého napětí. Z jejich vlastností a charakteristických rysů vyplývá použití sítí v daném místě. Pro zajištění napájení menších obcí, průmyslových zařízení (jednotlivých budov nebo provozů závodu) nebo okrajových částí měst se využívá především síť paprsková nebo okružní. Pro napájení více koncentrovaných odběrů, jakými jsou centra měst nebo husté městské zástavby, se používá síť mřížová, popřípadě zjednodušená mřížová.

Rozhodnutí o vybudování, či rozšíření stávající sítě, vychází z návrhu, který nutně obsahuje kritéria pro volbu sítě, hustotu a velikost odběrů, výpočty provozních a poruchových stavů včetně dimenzování. Součástí kritérií je důležitá znalost jistoty dodávky elektrické energie. Za tímto účelem jsou z hlediska výpadku napájení podle důležitosti zavedeny tři stupně. První stupeň zajištění dodávky (nejvyšší priorita), kdy nesmí dojít k přerušení dodávky elektrické energie. Dále druhý stupeň zajištění dodávky, u kterého se při poruše přepíná pomocí automatického záskoku na záložní zdroje (diesel agregát nebo akumulátorové baterie). Posledním je třetí stupeň zajištění dodávky (bez zálohy), kdy je provoz sítě přerušen do odstranění poruchy. V neposlední řadě je rozhodnutí ovlivněno ekonomickou stránkou pro výstavbu a následný provoz dané sítě.

Elektrická síť je složité uspořádání velkého množství zařízení a materiálu. Pro její správnou a dlouhou funkci je důležité správně provedené dimenzování a provádění údržby. Jedině provozuschopná síť je zárukou spokojenosti energetických závodů a koncových spotřebitelů.

Použitá literatura

- [1] REISS, L.; MALÝ, K.; PAVLÍČEK, Z.: *Teoretická elektroenergetika I*. Bratislava, 1967. ISBN DT 621.3.
- [2] PAVLOVSKÝ, B.: *Elektrické sítě v městech a sídlištích*. Praha: SNTL, 1975. ISBN DT 621.316.12.17.001.1.
- [3] PAVLOVSKÝ, B.; LIST, V.: *Elektrotechnika XI - Elektrické sítě I*. Praha: SNTL, 1964. ISBN DT 621.316.1.
- [4] FEJT, Z.; ČERMÁK, J.: *Elektroenergetika*. Praha: ČVUT, 1989. ISBN 80-01-00060-5.
- [5] PAVLOVSKÝ, B.: *Ztráty v přenosu a rozvodu elektrické energie*. Praha: SNTL, 1959. ISBN DT 621.316.1.017.
- [6] LIST, V.: *Elektrické sítě*. Praha, 1951. ISBN DT 621.315/.316
- [7] Český normalizační institut, ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA ČSN EN 50160: *Elektrotechnika všeobecně – Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí*, únor 2011
- [8] TESAŘOVÁ, M.: Výpočtové zatížení, přednášky [online]. [cit. 2012-5-25]. Dostupné z: [http:// http://home.zcu.cz/~tesarova/](http://home.zcu.cz/~tesarova/)
- [9] Český normalizační institut, ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA ČSN EN 60909-0: *Elektrická rozvodná vedení – Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách*, květen 2002
- [10] Český normalizační institut, ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA ČSN EN 60865-1. *Zkratové proudy - Výpočet účinků*, srpen 1997