

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra elektrotechniky a energetiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Přepětí v sítích vysokého napětí

autor:

Jiří Malý

2012

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá vznikem, účinky a způsobem ochrany proti přepětí vzniklého v sítích vysokého napětí.

V první části je práce zaměřena na rozdělení, vznik přepětí a charakteristikou. Ve druhé části se pak práce zaměřuje na způsoby ochrany před přepětím.

Klíčová slova

Přepětí, vysoké napětí, provozní přepětí, dočasné přepětí, spínací přepětí, atmosférické přepětí, svodiče, ventilové bleskojistky, vyfukovací bleskojistky, ochranné jiskřiště, koordinace, izolace, izolátory, průchodky.

Abstract

This thesis deals with generation, effects and protection against overvoltage in the electrical power network with high voltage.

In the first part this thesis describes types, generation and characteristics of overvoltage. In the second part the thesis focuses on different ways of protection against overvoltage.

Key words

overvoltage, high-voltage, operating overvoltage, temporary overvoltage, switching overvoltage, atmospheric surge, surge voltage protector, valve gap, expulsion gap, safety gap, insulation co-ordination, insulator, cable bushing

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr 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 plzni dne 6.10.2011

jméno příjmení

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Miroslavovi Hromádkovi, za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Neméně bych Ing. Hromádkovi chtěl poděkovat za jeho trpělivost a vstřícný postoj.

Zadání

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří MALÝ**
Osobní číslo: **E11B0056P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Název tématu: **Přepětí v sítích vysokého napětí**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Popište způsoby vzniku přepětí v sítích vysokého napětí.
2. Charakterizujte vnější přepěťové vlivy.
3. Charakterizujte provozní přepěťové stavy.
4. Uveďte způsoby chránění před přepětím.

Obsah

ZADÁNÍ.....	7
OBSAH.....	8
ÚVOD	10
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	11
SEZNAM TABULEK.....	11
SEZNAM SYMBOLŮ.....	11
1. PŘEPĚTÍ	13
1.1. ZÁKLADNÍ DĚLENÍ PŘEPĚTÍ	13
2. PŘEPĚTÍ DLE PODMÍNEK VZNIKU	13
2.1. DOČASNÉ PŘEPĚTÍ	13
2.2. SPÍNACÍ PŘEPĚTÍ	14
2.2.1. PŘEPĚTÍ V TROJFÁZOVÝCH SOUSTAVÁCH PŘI ZEMNÍM SPOJENÍ.....	14
2.2.2. PŘEPĚTÍ VZNIKLÉ PŘI VYPÍNÁNÍ ZKRATŮ.....	15
2.2.3. PŘEPĚTÍ VZNIKLÁ VYPÍNÁNÍM MALÝCH INDUKČNÍCH PROUDŮ	17
2.2.4. PŘEPĚTÍ VZNIKLÁ VYPÍNÁNÍM KAPACITNÍCH PROUDŮ	17
2.2.5. PŘEPĚTÍ VZNIKLÁ PŘI ZAPÍNÁNÍ NEBO ZNOVUZAPÍNÁNÍ NEZATÍŽENÝCH VEDENÍ.....	17
2.3. ATMOSFÉRICKÁ PŘEPĚTÍ.....	18
2.3.1. <i>Blesk</i>	18
2.3.2. <i>Vznik bouřky</i>	18
2.3.3. <i>Vznik blesku</i>	19
2.3.4. <i>Dělení blesků</i>	19
2.3.5. <i>Atmosférické přepětí - obecně</i>	20
2.3.6. <i>Indukované napětí</i>	21
2.3.7. <i>Přímý úder blesku do fázového vodiče</i>	21
2.3.8. <i>Přímý úder do zemního lana</i>	22
2.3.9. <i>Přímý úder do stožáru</i>	22
3. ZAŘÍZENÍ OMEZUJÍCÍ PŘEPĚTÍ.....	23
3.1. SVODIČE PŘEPĚTÍ	24
3.1.1. <i>Ventilové bleskojistky</i>	24
3.1.2. <i>Vyfukovací bleskojistka</i>	27
3.1.3. <i>Svodiče na bázi ZnO</i>	28
3.1.4. <i>Ochranné jiskřiště</i>	30
3.2. KOORDINACE IZOLACE.....	30
3.2.1. STATISTICKÁ METODA	31
3.2.2. KONVENČNÍ METODA.....	32
3.3. IZOLÁTORY	35
3.3.1. KERAMICKÉ IZOLÁTORY	35
3.3.2. PORCELÁNOVÉ IZOLÁTORY	36
3.3.3. IZOLÁTOROVÉ ŘETĚZCE.....	36

3.3.4. STANIČNÍ PODPĚRKY	37
3.3.5. PRŮCHODKY	37
ZÁVĚR.....	38
POUŽITÁ LITERATURA	39
POUŽITÉ PROGRAMY.....	39

Úvod

Cílem práce je popsat různé přepěťové jevy vyskytující se v sítích vysokého napětí a vyhodnotit nebezpečnost těchto přepětí pro chod sítě vysokého napětí. Jeho rozdělení, účinky a metody ochrany. Přepětí má v provozu sítě a jeho spolehlivosti zásadní roli. Může zařízení poškodit, způsobit nesymetrické provozování sítě a způsobit stárnutí izolace. Z těchto důvodů se snažíme všemožnými opatřeními a zařízeními buď se vzniku přepětí vyhnout anebo ho účinně omezit či svést do míst, kde nadělá nejmenší škody.

Ve druhé části práce popisuje jednotlivé zařízení schopná omezit či svést přepětí do míst, kde způsobí nejmenší poškození. Používaná zařízení se zdokonalovala a obměňovala s rozvojem poznatků a technologií. Nejprve byla využívána nejjednodušší ochranná jiskřiště, která měla velký rozptyl zapalovacího napětí. Poté se používala vyfukovací bleskojistka, která měla velký následný proud, ohrožující izolaci zařízení. Neduhy byly odstraněny použitím ventilové bleskojistky, a však i ventilová bleskojistka je v dnešní době nahrazena svodičem přepětí na bázi ZnO.

Seznam obrázků	Strana
Obr. 1 Způsob uzemnění nulového bodu	15
Obr. 2. Zjednodušené schéma k zotavenému napětí	16
Obr. 3 Mapa bouřkových dnů	20
Obr.4 Ochranný úhel	23
Obr. 5 V - A charakteristika výbojového proudu	25
Obr. 6 V - A charakteristika kompletní bleskojistky	25
Obr. 7 Řez ventilové bleskojistky	27
Obr. 8 Řez vyfukovací bleskojistky	28
Obr. 9 Porovnání svodičů SiC a omezovačů ZnO	29
Obr. 10 Řez varistorového svodiče	30
Obr. 11 Rázové napětí	31

Seznam tabulek	Strana
tab. 1 Doporučené izolační hladiny pro $U_m \geq 300$ kV	33
tab. 2 Příklad výpočtu izolace konvenční metodou	34

Seznam symbolů

i_k [A]	zkratový proud
I_k [A]	obraz ustáleného zkratového proudu
u [V]	okamžitá hodnota napětí
z [Ω]	impedance obvodu
U_m [V]	zdroj harmonického průběhu proudu
L [H]	indukčnost
C [F]	kapacita

ω [rad · s ⁻¹]	úhlová rychlost
U_{zh} [V]	obraz zotaveného napětí
U_{zn} [V] bleskojistky	jmenovité zbytkové napětí
I_n [A] proudu	jmenovitá hodnota výbojového
U_r [V]	rázové zapalovací napětí
U_{mn} [V]	vrcholová hodnota jmenovitého napětí bleskojistky
U_{zs} [V]	zkušební střídavé napětí
U_{zd} [V]	zkušební střídavé napětí za deště
U_s [V]	přeskokové střídavé napětí za sucha
U_{ps} [V]	průrazné střídavé napětí
U_{zr} [V]	zkušební rázové napětí
U_{50} [V] napětí	polovinové přeskokové rázové
U_{pr} [V]	průrazné rázové napětí
U_{rr} [V] MHz	hladina rušivého napětí při 1
R_{ps} [Ω]	povrchový izolační odpor za sucha
R_{pd} [Ω]	povrchový izolační odpor za deště
N_i [-]	četnost indukovaného napětí
N_d [-] vedení	četnost přímého úderu blesku do
N_g [-] 1 Km ²	četnost úderů blesku za 1.rok na
H [m]	výška vední
b [m]	horizontální vzdálenost mezi vodiči
K_o [-]	orografický koeficient
c [-]	činitel vazby fáz. vodiče a zem. lana

1. Přepětí

V každé elektrické soustavě jsou přenášeny různé napěťové hladiny. Přenášené napětí je efektivně sdružené a jeho velikost závisí na potřebě a efektivnosti přenosu. Jestliže se objeví napětí, které je vyšší nežli amplituda nejvyššího přenášeného napětí elektrické soustavy, tak tomuto napětí se říká přepětí. Přepětí může vzniknout v jakémkoliv místě elektrické soustavy i denní době. Šíří se od místa vzniku na obě dvě strany vedení a namáhá vodiče, izolace, zařízení, atd. nežádoucími dynamickými i tepelnými účinky. Přepětí je konkrétně definováno normou ČSN 33 4010.

1.1. základní dělení přepětí

Přepětí rozlišujeme: a) podle místa přiložení
b) podle podmínek vzniku

Podle místa vzniku se dále dělí na přepětí vzniklá vůči zemi a na přepětí vzniklé mezi fázemi. Přepětí vůči zemi se vztahuje k nejvyššímu fázovému napětí soustavy. Přepětí mezi fázovými vodiči se vztahuje k nejvyššímu sdruženému napětí soustavy.

Podle podmínek vzniku dále rozlišujeme na přepětí **dočasná**, přepětí **spínací** (provozní), přepětí **atmosférická**.

Dále se budeme podrobněji zabývat přepětím v bodě b), to jest přepětí podle podmínek vzniku.

2. Přepětí dle podmínek vzniku

2.1. Dočasné přepětí

Obecně je toto přepětí poměrně delšího trvání, které je jen velmi slabě tlumené přechodné nebo kvazistacionární. Kmitočtově dále rozlišujeme toto přepětí ve třech podobách. V první podobě v kmitočtu provozní či téměř provozním, vznikající na otevřeném konci vedení, při nesouměrných poruchách, při ztrátě zatížení, na jednopólově otevřených vodičích. Ve druhé podobě jsou kmitočty vyšší nežli provozní, objevující se při zapnutí transformátoru v bloku s nezatíženým vedením. Ve třetí podobě jsou přepětí vzniklá subharmonickou rezonancí, která se vyznačuje kmitočtem menším než je 50 Hz, na vedeních se sériovou kompenzací.

Čím je vyšší jmenovitá napěťová hladina v provozované elektrické soustavě, tím musíme brát větší zřetel na dočasné přepětí. Podle velikosti dočasného přepětí se vybírají bleskojistky ve zvláště vysokých napěťových hladinách jmenovitého napětí. V minulosti bylo zvykem, volit bleskojistky s ohledem na očekávanou výši maximální hodnoty dočasného přepětí v síti. Velikost bleskojistik se volila ve stejné výši nebo

vyšší než očekávaná maximální hodnota. Nový typ bleskojistek umožňuje dočasné napěťové přetížení, proto odpadáva nutnost dimenzovat bleskojistky se zbytečnou rezervou maximálního napětí.

2.2. Spínací přepětí

Vzniká při prudkých změnách parametrů sítě, jako je vypnutí, ať už plánované nebo havarijní či zapnutí sítě. Dále při zemních spojeních a zkratech. Charakter přechodových jevů přepětí má oscilační průběh.

2.2.1. Přepětí v trojfázových soustavách při zemním spojení

Podle způsobu uzemnění ve třífázové soustavě rozlišujeme:

Soustavu s neúčinně uzemněným nulovým bodem. Nulový bod je spojen se zemí přes Petersonovu tlumivku, činný odpor či Bauchův transformátor.

Používá se tlumivka pro snížení (kompenzaci) kapacitních proudů. Tlumivka musí být regulovatelná, aby se dala přizpůsobit její velikost zemnímu proudu.

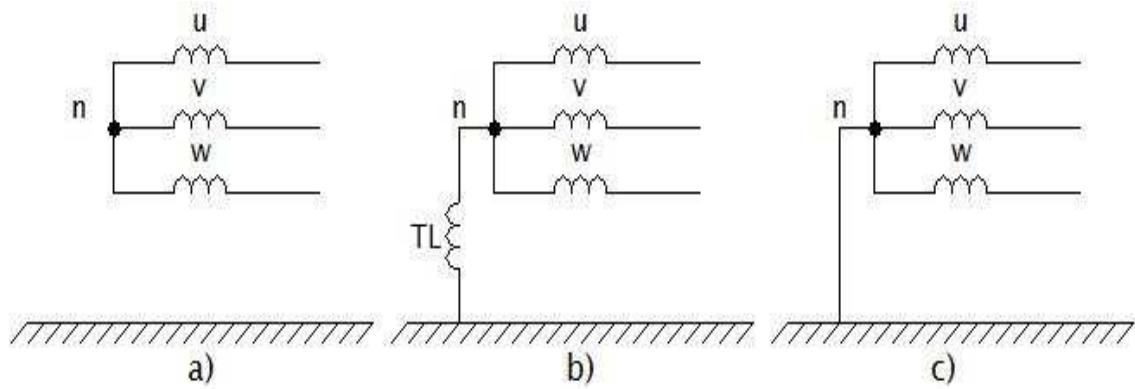
Kompenzace kapacitní složky zemních proudů má přínos zejména v ekonomičnosti výstavby sítě, neboť vykompenzování kapacitní složky proudu, vede k úspoře u dimenzování uzemnění stožáru, jelikož se dimenzuje pouze na zbytkový proud s ohledem na bezpečnost před nebezpečným dotykovým napětím. [2.]

Soustavu s účinně uzemněným nulovým bodem. Nulový bod je přímo spojen se zemí nebo přes malý impedanční či činný odpor. Soustava se považuje za účinně uzemněnou, nepřesáhne-li maximální efektivní napětí nepoškozených fází 80 % nejvyššího sdruženého napětí. Pokud soustava nevyhoví těmto podmínka, pak se soustava považuje za neúčinně uzemněnou.

Rozhodující faktor hraje indukčnost transformátorů, vedení a činný odpor. Napětí uzlu vůči zemi je fázové. Sítě jsou dimenzovány na fázové napětí, jsou proto levnější nežli izolované. Vedení se však nedá dále při poruše provozovat, jelikož poruchový proud nabývá velmi velkých hodnot. Soustava se musí v co nejkratším čase odpojit. [2.]

Soustava s izolovaným nulovým bodem je taková soustava, která nemá spojen nulový bod se zemí, kromě poruchového stavu. Měřicí přístroje, ochranné přístroje a návěstidla se do obvodu připojují přes velkou impedanci.

Při vzniku zemního spojení, dojde k nárůstu napětí na uzlu vinutí vůči zemi z nulové hodnoty na napětí fázové. Napětí nepoškozených fází nabude hodnot sdruženého. Izolovaná síť se používá zejména proto, jelikož síť se dá dále provozovat i se zemním spojením. Nutné je však zařízení dimenzovat na hodnoty sdruženého napětí. Nevýhodou izolované sítě je vznik kapacitních proudů, jejichž velikost závisí na velikosti kapacity zdravých fází. [2.]



Obr. 1 Způsob uzemnění nulového bodu: a) izolovaný nulový bod, b) neúčinně uzemněný nulový bod, c) účinně uzemněný nulový bod

Jen v soustavách izolovaných nebo neúčinně uzemněných může nastat při poruchovém stavu zemní spojení. Při tomto spojení, které je trvalého rázu v uvedených soustavách, vznikají dočasná přepětí s kmitočtem 50 Hz. Toto přepětí je rizikové v napěťových hladinách nad 35 kV.

V izolované soustavě mohou nastat dočasná přepětí oscilačního charakteru v těchto případech:

- 1) při zapínání trvalého zemního spojení
- 2) při vypínání trvalého zemního spojení
- 3) při zemním spojení, které je přerušované

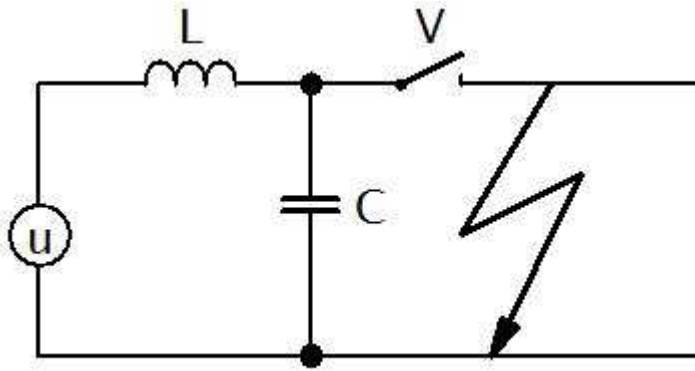
Přepětí vzniklá při zemních spojení ovlivňuje impedance vedení a odrazy na vedení. Platí, že čím větší impedance vedení, tím větší přepětí. Velikost přepětí se dá omezit Petersonovou tlumivkou.

2.2.2. Přepětí vzniklé při vypínání zkratů

Průběh přepětí vzniklý při vypínání zkratů velmi ovlivňuje vypínač (rychlost odskoku elektrod, tvar elektrod) a síť. Při vypínání sítě vzniká mezi elektrodami vypínače oblouk, napájený zdrojem proudu, až do uhašení oblouku. Pro další úvahy budeme předpokládat, že proud je vypínán ideálním vypínačem, se kterým jsou spjaty tyto předpoklady:

- 1) před přerušením obvodu má vodič nekonečnou vodivost
- 2) po přerušení proudu nevzroste skokově odpor k nekonečnu
- 3) dojde k přerušení proudu při průchodu nulou harmonického průběhu

Po odtažení kontaktů vypínače vznikne na kontaktech zotavné napětí, které bude dáno v našem případě jen parametry sítě.



Obr. 2 Zjednodušené schéma k zotavenému napětí

Pro názornost máme obvod na obrázku 2. V obvodu se nachází zdroj harmonického průběhu u , impedance L , kapacita C a vypínač V . Obvod je přes vypínač V zapojen do zkratu. Obvodem prochází ustálený zkratový proud, který rozpojíme vypínačem V . Ustálený zkratový proud vypočteme pomocí vzorce (1).

$$i_k = \frac{U_m}{\omega L} \sin \omega t \quad (1)$$

kde U_m odpovídá amplitudě napětí zdroje u o kmitočtu 50 Hz. Obraz ustáleného zkratového proudu získáme Wagnerově – Carsonově transformací.

$$I_k = \frac{U_m}{L} \times \frac{p}{p^2 + \omega^2} \quad (2)$$

Pomocí Theveninovy věty určíme zotavné napětí pomocí přidání proudu opačného smyslu do obvodu zdroje, než který má přerušovaný proud. Velikost přerušovaného proudu je dána vzorcem (1) a obraz proudu je dán vzorcem (2). Impedance obvodu zdroje od svorek vypínače je dána vzorcem (3).

$$Z = \frac{pL}{1 + p^2LC} = \frac{1}{C} \times \frac{p}{\omega_0^2 + p^2} \quad (3)$$

odkud

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (4)$$

je dáno vlastním kmitočtem obvodu

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (5)$$

Pak obraz zotaveného napětí je

$$u_{zn} = ZI_k = \frac{U_m}{LC} \times \frac{p}{p^2 + \omega^2} \times \frac{p}{p^2 + \omega_0^2} \quad (6)$$

Pozorování v praxi se ukázalo, že pro $\omega_0 \gg \omega$, je možné ω^2 oproti ω_0^2 zanedbat. Potom dostaneme

$$u_{zn} \cong U_m(\cos\omega t - \cos\omega_0 t) \quad (7)$$

Dle uvedeného předpokladu uvažujeme, že dojde k vypnutí proudu při průchodu nulou. Napětí zdroje bude tedy v maximální hodnotě. Po přerušení proudu lze jen krátce považovat $U_m \cos \omega t$ za konstantní, tudíž můžeme napsat

$$U_m \cos \omega t = U_m \quad (8)$$

pak platí

$$u_m = U_m(1 - \cos\omega_0 t) \quad (9)$$

Z rovnice číslo 5 je patrné, že pokud přerušíme proud, na vypínači se objeví zotavené napětí s kmitočtem 50 Hz, o kolo které kmitá přechodná složka s kmitočtem odpovídajícím vlastnímu kmitočtu obvodu zdroje.

Norma označuje tuto složku o průmyslovém kmitočtu jako obnovené napětí.

Činný odpor, který není zakreslen na obr. 2, však ve skutečnosti přechodnou složku velmi rychle utlumí.

Uvedená teorie je však jen v idealizovaném měřítku. Má přiblížit principy vzniku ustáleného zkratového proudu a s ním souvisejícího zataveného napětí. [1.]

2.2.3. Přepětí vzniklá vypínáním malých indukčních proudů

Toto přepětí vzniká u vypínání transformátorů při chodu naprázdno a u vypínání reaktorů. Dále také u vypínání motorů vn s kotvou nakrátko za rozběhu. Vzniklé přepětí namáhá vypínací dráhu vypínače. Vypínací dráha se obvykle vlivem přepětí prorazí a tak dochází k tzv. opětovnému zápalu. Tento jev se opakuje do té doby, dokud vzdálenost kontaktů není tak velká, aby nedošlo k opětovnému přeskoku mezi kontakty v daném prostředí vlivem nárůstu zotaveného napětí. Pokud nejsme schopni zabránit vzniku přepětí vhodně uzpůsobeným vypínačem či paralelními odpory u vypínače, montují se ventilové bleskojistky na svorky transformátoru. [1.]

2.2.4. Přepětí vzniklá vypínáním kapacitních proudů

Vzniká, pokud vypneme kapacitní zdroj (baterii) v okamžiku, kdy proud prochází nulou. V tomto okamžiku, je napětí na svém maximu. Na straně zdroje se napětí projeví tlumeným zakmitáním a poté pokračuje sinusovým průběhem. Však na straně kapacity si napětí podrží maximu, které mělo v okamžiku vypnutí vypínače. To zapříčiní rozdílné napětí na kontaktech vypínače, což může vést k proražení dráhy vypínače. Přepětí se projeví oscilacemi, které jsou posléze utlumeny. Přepětí se může opakovat. [1.]

2.2.5. Přepětí vzniklá při zapínání nebo znovuzapínání nezatížených vedení

Přepětí vzniklá vypínáním kondenzátorové baterie, transformátoru naprázdno, reaktorů, atd. nejsou nebezpečná pro izolaci, jelikož se dají omezit vhodnými vypínači či bleskojistkami a proto se na ně nebere zřetel při dimenzování izolace. Však co může ohrozit izolaci je zapínání nebo znovuzapínání nezatíženého vedení.

2.3. Atmosférická přepětí

2.3.1. Blesk

Lidstvo je fascinováno bleskovými výboji již od dávných časů. V dobách, kdy nebylo možné bleskový výboj vysvětlit, lidé přicházeli s různými mytologickými vysvětleními. Zásadní roli v popsaní blesku sehrál Benjamin Franklin, který jako první dokázal elektrickou podstatu blesku. Dalších pokroků se dosáhlo až s rozvojem techniky, zejména rotační kamery a katodového osciloskopu.

Bleskový výboj může být tvořen jedním výbojem, ale také může být tvořen několika impulzy. Délka vodivého kanálu může dosahovat až 10 Km a šířky 0,4 m. Doba trvání blesku bývá v rozmezí tisícin až desítitisíciny sekundy. Teplota v trajektorii blesku se pohybuje okolo 20 000 °C, amplituda proudu nabývá hodnot až 100 000 A, napětí může být až 10 000 000 V. V letních měsících převládají blesky zejména se zápornou polaritou, naopak v zimních měsících převládají blesky s kladnou polaritou.

Výboj je doprovázen zvukovým efektem, který vzniká při rozpínání vzduchu ve výbojovém kanále. Zvuk se však pohybuje pomaleji nežli světlo a tím vzniká časový posuv mezi obrazem a zvukem v místě pozorování. [5.]

2.3.2. Vznik bouřky

Bouřkové mraky vznikají ve výškách v rozmezí jednoho kilometru až pěti kilometrů, zapříčiněním teplého počasí a větru. Výška mraku se pak pohybuje v rozmezí pěti až dvanácti kilometrů. Teplý vlhký vzduch stoupá vzhůru a ve větších výškách vodní pára z kondenzuje a uvolní další teplo nutné pro podporu proudění.

Vlivem kosmického záření, pohybem vzduch a radioaktivního záření Země, vznikají nabitě částice. Nabité částice se dále spojují s částicemi opačné polarity a vznikají neutrální částice. Některé částice se však nespojí a naakumulují se. V místech akumulace vzniká prostorový náboj stejné polarity. V blízkosti Zemského povrchu se akumuluje záporný náboj a v ionosféře je naakumulovaný kladný náboj. Náboje jsou za normálních podmínek v rovnováze. Intenzita elektrického pole mezi různě nabitými prostředími dosahuje 100 - 200 V / m. Rovnovážný stav narušuje bouřková aktivita, kdy dochází k proudění vlhkého vzduchu vzhůru, vlivem velkého množství vlhkého vzduchu vzniknou mraky. Když horní část mraků dosáhne výšky s teplotou desítky stupňů Celsia pod nulou, utvoří se krystalky ledu, které jsou těžké a začnou padat dolů. Na své cestě k povrchu Země naráží v nižších vrstvách mraku na molekuly vody. Pohybem teplého vlhkého vzduchu vzhůru a sestupem krystalek ledu dochází k proudění vzduchu uvnitř mraku. Prouděním vzduchu a srážkami krystalů s vodními molekulami dochází ke tření a oddělování nábojů.

V současné době vznik elektrického náboje vysvětlují dvě poněkud rozdílné teorie.

První teorii vypracoval Phillip Lenard a vychází z dlouhodobého pozorování a pokusů. Lenardovi se podařilo prokázat, že při tření vzdušných mas, dochází k elektrickému

nabíjení kapek. Při následných srážkách se oddělují kapky s kladným nábojem od kapek se záporným nábojem. Plášť kapky má záporný náboj a jádro kapky zase kladný náboj.

Druhá teorie nahlíží na mrak jako na soubor kladně a záporně nabitých iontů, vzniklých ve vrchních vrstvách atmosféry při nárazech kosmického záření s molekulami vzduchu. Kladné ionty soustředěné na vrcholu mraku, přitahují záporné ionty z atmosféry. Záporné ionty jsou strhávány krystalky ledu do spodní části mraku, kde se soustřeďují. Tímto se vytvoří elektrické pole. Vytvořený blesk má potom zápornou polaritu. Tato teorie by také dokázala popsat vznik kladně orientovaného blesku, při pouhé záměně celkového náboje mraku. [5.]

2.3.3. Vznik blesku

Blesk vzniká, pokud je velká intenzita mezi různě nabitými prostředími a je přesažena elektrická pevnost daného prostředí. Pokud se přiblíží různě nabitě mraky nebo různě nabitý mrak a zem, dojde k výboji, při kterém se vyrovnají potenciály. Bleskový výboj se šíří rychlostí 90 Km / s. Elektrony cestou mezi prostředími ionizují další molekuly vzduchu. Tím dojde k emisi dalších elektronů a k následnému větvení vodivého kanálu. Mezitím dojde v cílové oblasti vlivem magnetické indukce k akumulaci opačného náboje nežli je polarita blesku. Pozorováním úderů blesků na zemi byly objeveny takzvané vstřícné výboje. Tyto výboje míří naproti blesku až do výšky 50 m. Z tohoto vyplývá, že ke skutečnému uzavření obvodu dochází nad zemí. Místo spojení neustále stoupá rychlostí 80 000 Km / s, což je označováno jako zpětný úder, způsobený neustálou ionizací atomů vzduchu. Takto se celý děj opakuje v průměru čtyřikrát. V tomto okamžiku jsme schopni pozorovat blesk, který se nám jeví jako by směřoval do země. Následně k pozorovateli dolehne hluk hromu vyvolaný roztahováním vzduchu ve vodivém kanále. [5.]

2.3.4. Dělení blesků

Blesky se dělí na:

- a) čárové – připomíná lomenou či klikatou jasně svítící čáru
- b) rozvětvený – nejčastější, připomíná obrácenou korunu stromu
- c) plošný – vytváří se pouze uvnitř mraku, pozorovateli se jeví jako jasné světlo uvnitř mraku
- d) perlový – je tvořen několika kolovými útvary spojenými jednou čarou. Kolové útvary se objeví naráz, ale zmizí postupně jeden po druhém
- e) kulový

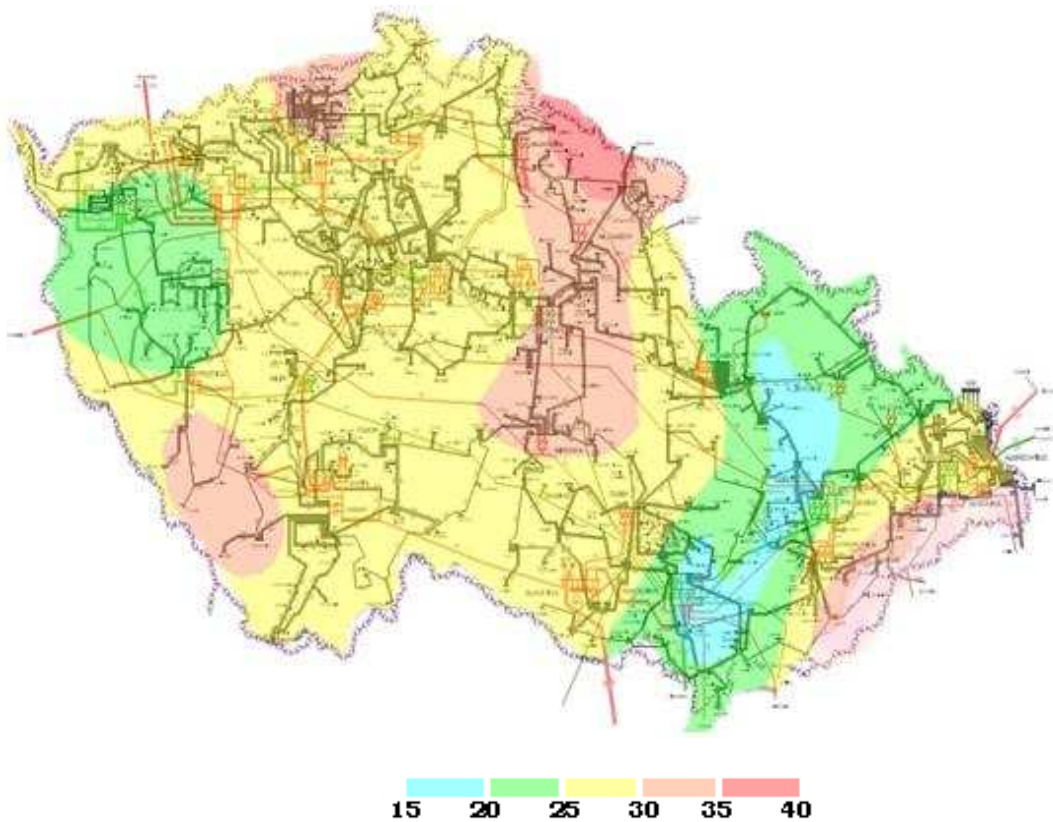
Dále je možné pozorovat tyto případy:

- a) výboj mezi mrakem a zemí
- b) výboj mezi zemí a mrakem
- c) výboj s kladnou polaritou
- d) výboj se zápornou polaritou

[5.]

2.3.5. Atmosférické přepětí - obecně

Atmosférickým napětím rozumíme napětí, které vzniklo buďto přímo (úderem blesku do vedení) nebo nepřímo (indukcí) bouřkovou činností. Bouřková aktivita může mít pouze lokální charakter nebo také může převládat na celém území.



Obr. 3 Mapa bouřkových dnů, [7.]

Atmosférické přepětí vždy nejvíce ohrožovalo a stále ohrožuje spolehlivost distribuční sítě. Dosahuje vyšších úrovní než spínací.

Blesky v drtivé většině pochází od záporně nabitých mraků. Tvar proudu z blesku má tvar vlny a je aperiodický. Doba čela se pohybuje kolem 2 μ s. U nás se zjistilo, že množství blesků s amplitudou proudu vyšší jak 10 kA je kolem 84 %. Amplituda větší jak 100 kA je kolem 1,8 %.

Na venkovním vedení vznikají atmosférická přepětí těmito způsoby:

- nepřímými úderý blesků
- přímým úderem blesku do fázového vodiče
- přímým úderem blesku do zemního lana
- přímým úderem do stožáru

[1.]

2.3.6. Indukované napětí

Indukované napětí vzniká, pokud blesk neuhodí přímo do vodiče. Šíří se pomocí elektrostatické a elektromagnetické indukce, rychlostí světla. Pokud proniknou do stanice, mohou vyvolat nebezpečná přepětí. [1.]

Pro výpočet četnosti indukovaného napětí fáze proti zemi za jeden rok na vzdálenosti 100 km vedení, bychom vycházeli z následujícího vzorce:

$$N_i = 0,19 \left[3,5 + 2,5 \log \left(30 \frac{(1-c)}{U} \right) \right]^{0,75} N_g H \quad (10)$$

z toho

c činitel vazby zemního lana a fázového vodiče. Pokud vedení není vybaveno zemním lanem, činitel vazby je roven 0. Pokud je zemní lano uzemněné na každém stožáru, hodnota činitele vazby by byla v rozmezí $c = 0,3 \div 0,4$. Pokud však vedení není uzemněno na každém stožáru, hodnota činitele vazby se snižuje. V případě, že bychom chtěli znát omezující účinek přepětí zemního lana, hodnotu činitele vazby přenásobíme 100 a získáme hodnotu omezujícího účinek přepětí zemního lana v procentech.

N_g četnost úderů blesků za jeden rok do země na jeden kilometr čtverečný

H výška vedení v metrech

[3.]

2.3.7. Přímý úder blesku do fázového vodiče

Přímý úder blesku do fázového vodiče vyvolá přepětí vlnou, která se šíří na obě strany od místa úderu blesku. Tato přepětí vlna namáhá izolaci vůči zemi. Přepětí vlna má amplitudu dosahující několik milionů voltů. Na takovéhle hodnoty není rázová pevnost izolace dimenzována. Přepětí vlna v jednom vodiči, indukuje napětí i v ostatních vodičích. [1.]

Při výpočtu četnosti přímého úderu blesku do vedení vysokého napětí za jeden rok na délce 100 Km, by se vycházelo z toho vzorce:

$$N_d = 0,1 K_o N_g (b + 10,5 H^{0,75}) \quad (11)$$

z toho

N_g je četnost úderů blesků za jeden rok do země na jeden kilometr čtverečný

H výška vedení v metrech

b horizontální vzdálenost mezi vodiči na kraji

K_o orografický koeficient

Orografický koeficient zohledňuje členitost terénu a jeho stínící vliv na trasu vedení. Vedení v otevřeném terénu má koeficient rovný $K_o = 1$. Vedení vedené v údolí pak dosahuje koeficientu $K_o = 0,03$, naopak vedení vedené na vyvýšeném místě může mít koeficient rovný 3. [3.]

2.3.8. Přímý úder do zemnicího lana

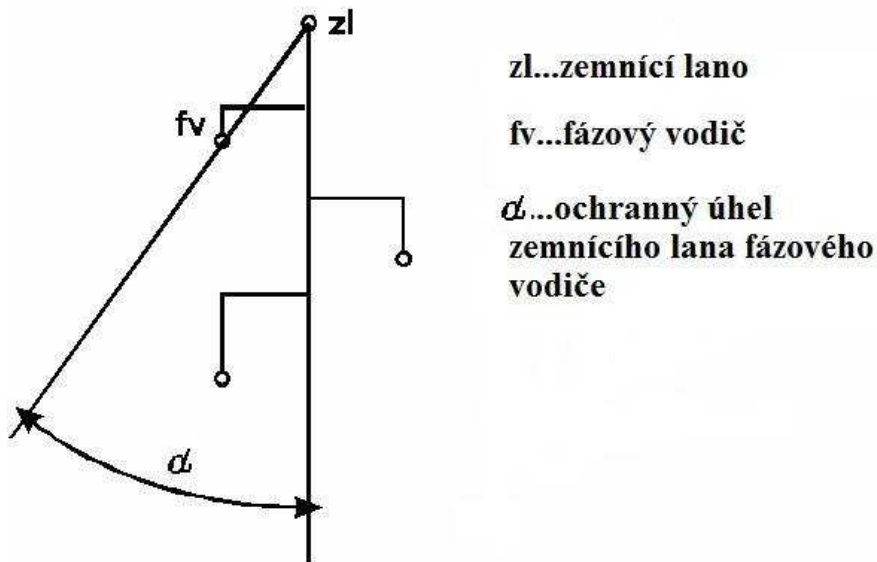
Přímý úder do zemnicího lana vyvolá přepět'ovou vlnu, která se šíří na obě strany po vodiči od místa úderu. Přepět'ová vlna způsobuje vlivem elektromagnetické vazby indukované napětí do ostatních vodičů. Napětí působící na izolaci je dáno rozdílem napětí na laně a vodičích. Pokud je elektrická pevnost prostředí menší než rozdílové napětí, dojde k přeskoku mezi lanem a vodiči, a také může dojít ke zpětnému přeskoku z vodiče na lano. Z tohoto důvodu se snažíme co nejvíce zmenšit impedanci zemnicí desky a zemnicího odporu. Impedance zemnicí desky je ovlivněna výškou stožáru, která musí zajišť'ovat dostatečnou výšku vodičů nad zemí. [1.]

2.3.9. Přímý úder do stožáru

Přímý úder do stožáru dává vzniknout přepětí na vrcholu stožáru. Velikost toho přepětí je dána impedancí vedení, vlnové impedanci zemnicích lan, na délce rozpětí stožáru, na odporu uzemnění zemnicích lan, indukčnosti a vlnové impedanci stožáru a strmosti proudu z blesku.

Na atmosférická napětí se koordinuje izolace až do napět'ové hladiny 245 kV, a však i napětí vyšších hladin se musí chránit proti přepětí.

Zemnicí lano chrání vedení před přímými údery blesku a je uzemněno na každém nebo nejméně na každém druhém stožáru. Vedení může mít i několik zemnicích lan. Zemnicí lana mají pozitivní vliv na snižování indukovaných napětí, jelikož zvyšují kapacitu proti zemi a také stíní vodiče. Optimální úhel ochranného úhlu zemnicího lana se zjišťuje ve zkušebnách simulací úderů blesků a zaznamenává se počet úderů do vedení. Při simulaci atmosférických podmínek je třeba vyjít z mechanismu bleskového výboje, který nám není zcela znám. Vycházíme dnes z toho, že místo úderu blesku je určeno posledním stupněm sestupného stupňovitého výboje nad zemí vzhledem k uzemněným předmětům. Střední délka posledního stupně je 50 m nad zemí, umístíme proto tento bod také do výšky 50 m nad zemí. V posledním stupni se rozhoduje, zdali blesk uhoří do zemnicího lana, vedení anebo úplně mimo. Ochranný úhel je úhel mezi spojnicí zemnicího lana a vodiče a mezi svislicí. Výsledky měření jsou založeny na pravděpodobnosti, čím budeme mít více rázů, tím bude i vyšší přesnost. Obvykle zjišťujeme stínící efekt zemnicího lana při daném uspořádání vodičů a posouváním bleskové elektrody. Také se dá zjišťovat pravděpodobnost zásahu fázového vodiče při neměnné poloze bleskové elektrody a proměnlivém uspořádání soustavy zem, zemnicí lano, fázový vodič. Ochranné úhly jsou dány normou. Ochrana pomocí zemnicího lana postrádá smyslu u vedení s malou izolační pevností fázových vodičů vůči zemnicímu lanu nebo svodové cestě, tj. vedení vn na kovových stožárech nebo na izolačních stožárech s kovovými konzolami. U těchto vedení dochází z pravidla ke zpětnému přeskoku i při úderu blesku s malou proudovou amplitudou. Ochrana se v těchto případech provádí pomocí svodičů přepětí a cyklu opětovného zapnutí.



Obr.4 Ochranný úhel, [6.]

Odolnost vedení vůči atmosférickým přepětím se v praxi zvětšuje přidáním nevodivé konzoly, vytvořené ze dřeva či lisováním, lepením dřevěných hmot. Přidáním nevodivé konzoly, se zvětší rázové přeskokové napětí vedení a také se dokáže eliminovat množství poruch, jelikož při přeskoku napětí, dřevo uhasí vzniklý oblouk.

Venkovní vedení pokud není chráněno zemnicím lanem, chráníme Torokovými trubicemi. Zpravidla je to napětí do 22 kV.

Přeskoky napětí na izolátorech nejsou nebezpečné, nedojde-li k oblouku nebo je-li oblouk uhašen v krátké době. Na to se používají zhášecí transformátory a tlumivky. Oblouky zpravidla uhasíme vypnutím sítě a opětovným zapnutím pomocí cyklu OZ.

Rázové namáhání vlnami téhož tvaru a proměnlivé amplitudy nám ukazuje elektrické vlastnosti jednotlivých článků přenosové soustavy. [1.],

[6.]

3. Zařízení omezující přepětí

Zařízení, které by účinně dokázalo omezit přepětí, se postupem času vyvíjelo. Budovy rozvodu se chrání proti přímému úderu blesku pomocí bleskosvodu, kdežto venkovní vedení vn a vvn jsou vybaveny jímači přepětí umístěnými na rozvodně.

Nejdůležitější ochranou stanic je ventilová bleskojistka a také svodič přepětí, který však je limitován ochranou vzdáleností. Ventilová bleskojistka chrání zařízení rozvodné stanice omezením přepětí na přijatelnou mez, tak aby se nepoškodila izolace zařízení. [1.]

[1.]

3.1. Svodiče přepětí

3.1.1. Ventilové bleskojistky

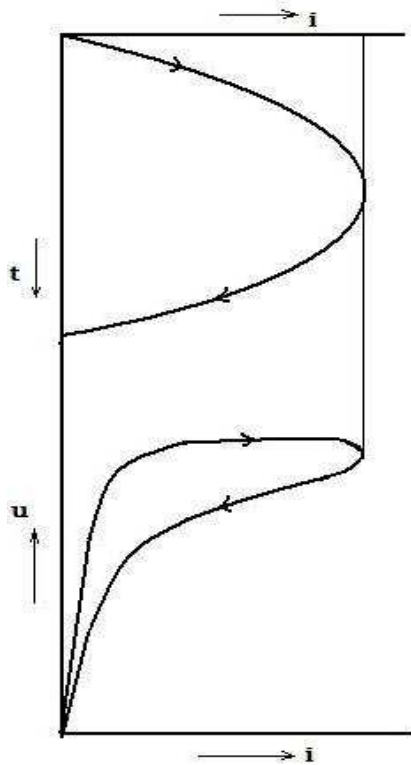
Ventilové bleskojistky se montují zpravidla co nejbližší k zařízení, jež mají ochránit proti přepětí. To jsou transformátory, respektive vinutí transformátorů, které jsou i nejdražšími zařízeními ve stanici.

Ventilové bleskojistky jsou tvořené sériovým jiskřištěm a nelineárním odporem. Pro menší jmenovitá napětí je použito pouze jedno sériové jiskřiště a nelineární odpor. Pro vyšší jmenovitá napětí jsou tyto prvky použity v sérii vícekrát. Sériové jiskřiště je tvořeno řadou jiskřišť v sérii, která jsou hermeticky uzavřena. Obsah takovéto komory je naplněn třeba suchým vzduchem. Jiskřiště díky tomu nekorodují a nemění se proto parametry bleskojistky. Jiskřiště bleskojistky je tvořeno kotouči, vzdálenými od sebe desetinou milimetru, ve kterých se pravidelně mění tvar (např. plochý a vydutý, atd.). To zajišťuje dobrou předionizaci a bleskojistka díky tomu může fungovat velmi rychle již při strmých vlnách napětí. Předionizace rovněž způsobuje malý rozptyl v rázovém zapalovacím napětí. Vhodné předionizace se dosahuje nastavením keramických vložek s velkou poměrnou permitivitou a plochými elektrodami. Tím vzniká mezi jiskřišti ionizační vzduchová mezera. Ploché elektrody mají poloviční zapalovací napětí oproti sériovým jiskřištím. Sériové řazení jiskřišť je rovněž optimální z hlediska chlazení a deionizaci oblouku. Obě tyto vlastnosti slouží k optimálnímu zhášení oblouku a tím zamezují nadměrnému opalování jiskřišť. Zotavené napětí je na jiskřištích rozloženo rovnoměrně pomocí kapacit či napěťově závislými odpory. Nelineární sériový odpor je tvořen z bloků připomínající plné válce s metalizovanými čelními plochami. Materiál nelineárního sériového odporu je siliciumkarbid. Pokud přivedeme na bleskojistku zapalovací napětí, stane se nelineární sériový odpor velmi vodivým a v podstatě odvede všechnu energii tak, aby nedošlo k výraznému nárůstu energie nad hranici zapalovacího napětí. Sériový odpor má za úkol:

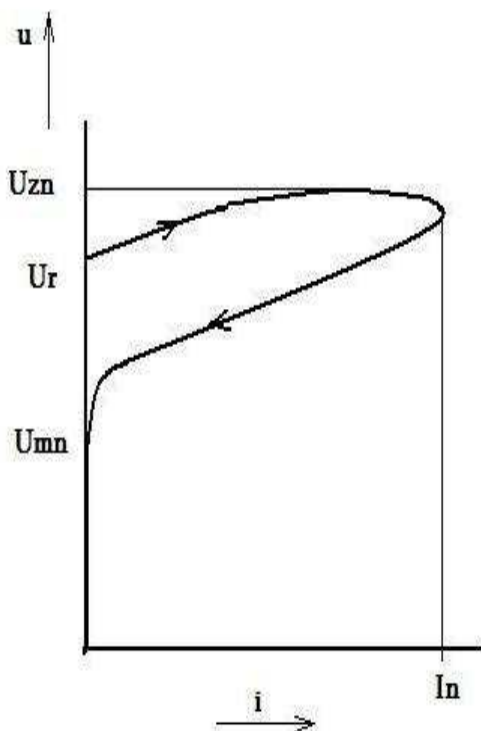
1. udržet napětí na svorkách při působení bleskojistky co možná na konstantní hodnotě, tak aby nedošlo při reakci bleskojistky k náhlému poklesu napětí, které by mohlo poškodit závitovou izolaci transformátorů a točivých strojů.
2. pokud odezní přepětí, musí odpor vzrůst na velikost, která zaručí, že bleskojistka připojená na síť nezpůsobí zkrat nebo proudový ráz.
3. díky omezení proudu odporem, zanikne tento proud na sériovém jiskřišti při dalším průchodu harmonické funkce nulou.

Od napěťové hladiny 110 kV se používají ochranné kruhy, mající za následek zrovnoměrnění napětí na jednotlivé díly bleskojistky.

Přeskokové napětí izolátorů na venkovním vedení omezuje amplitudy atmosférického přepětí vstupujícího do stanice. Proud, který jsou odváděny bleskojiskami z vedení, mají velikost desetinou proudů v bleskovém kanále. Ochranný poměr bleskojistky je dán poměrem ochranné hladiny a efektivní hodnoty jmenovitého napětí bleskojistky. Doba trvání atmosférických přepětí jsou stovky až tisíce mikrosekund. Z pozorování bylo zjištěno, že ventilové bleskojistky si ve většině případů poradí i se spínacím přepětím. Na obr. 5 je znázorněna V-A charakteristika výbojového proudu ve tvaru vlny, při průchodu odporovým blokem. V-A charakteristika kompletní bleskojistky je znázorněna na obr.6. V-A charakteristika znázorňuje zbytkové napětí bleskojistky (u) v závislosti na výbojovém proudu (i). Při jmenovitém výbojovém proudu je vrcholová hodnota zbytkového napětí jmenovité zbytkové napětí bleskojistky U_{zn} . Proud I_n je vrcholová hodnota jmenovitého výbojového proudu. U_r je rázové zapalovací napětí, U_{mn} je vrcholová hodnota jmenovitého napětí bleskojistky.



Obr. 5 V - A charakteristika výbojového proudu



Obr. 6 V - A charakteristika kompletní bleskojistky

Charakteristika bleskojistky je plochá a rázovitá. Tato charakteristika je nejpříhodnější na ochranu izolace proti jejímu stárnutí nebo dokonce zničení. Velké rázové proudy

jsou propouštěny sériovým nelineárním odporem, kdežto díky nelineárnímu odporu roste napětí při rostoucím rázovém proudu na bleskojistce jen málo. Pokud rázové napětí klesá, odpor strmě roste a následný proud sítě je tedy potlačen na nebezpečnou hodnotu, který je přerušen jiskříštěm na bleskojistce.

rázové zapalovací napětí bleskojistky je napětí nacházející se při rázu mezi síťovou a zemní svorkou bleskojistky předtím, nežli proteče výbojový proud.

střídavé zapalovací napětí bleskojistky je nejnižší hodnota střídavého napětí průmyslového kmitočtu, při kterém dojde k zapálení bleskojistky. Nejnižší střídavé napětí bleskojistky je normováno.

zbytkové napětí na bleskojistce je napětí naměřitelné mezi svorkou sítě a svorkou zemí bleskojistky procházeného výbojovým proudem (proud po zapálení bleskojistkou). Zjišťuje se rázovou vlnou proudu charakteru 8/20. Čelo vlny proudu je 10 a 90 % vrcholové hodnoty. Jmenovité výbojové proudy, tj. vrcholová hodnota vlny proudu, jsou pro:

jmenovité napětí bleskojistky 3,6 až 336 kV 10 kA

jmenovité napětí bleskojistky 3,6 až 123 kV 5 kA

jmenovité napětí bleskojistky 3,6 až 37 kV 2,5 kA

jmenovité napětí bleskojistky 0,5 až 0,85 kV 1,5 kA

jmenovité zbytkové napětí bleskojistky je vrcholová hodnota napětí vzniklé při průchodu jmenovitého výbojového proudu.

jmenovitý výbojový proud bleskojistky je dán vrcholovou hodnotou a tvarem vlny. Určuje třídu bleskojistky s ohledem na její životnost a vlastnosti jištění.

ochranná hladina bleskojistky je dána jmenovitým zbytkovým napětím nebo rázovým zapalovacím napětím. Vlna zapalovacího napětí musí mít strmost náběžné hrany vlny 1,2/50 nebo vlna napětí musí plynule stoupat, dokud nedojde k zapálení bleskojistky. Její strmost je předepsaná normou.

jmenovité napětí bleskojistky se měří mezi síťovou svorkou a zemní svorkou bleskojistky a je to nejvyšší hodnota efektivního napětí s průmyslovým kmitočtem. Při tomto napětí je bleskojistka schopna vypnout následný proud při průchodu výbojového proudu. Pokud budeme zapojovat bleskojistku mezi fázový a zemní vodič, musí se volit jmenovité napětí bleskojistky podle uzemnění sítě. U sítí se zhášecí tlumivkou, tj. neúčinně uzemněná síť a síť izolovaná, musí být hodnota jmenovitého napětí rovna anebo větší jak nejvyšší efektivně sdružené napětí sítě. U sítí přímo uzemněných, tj. účinně uzemněné, musí být hodnota jmenovitého napětí rovna 80 % nejvyššího efektivně sdruženého napětí sítě.

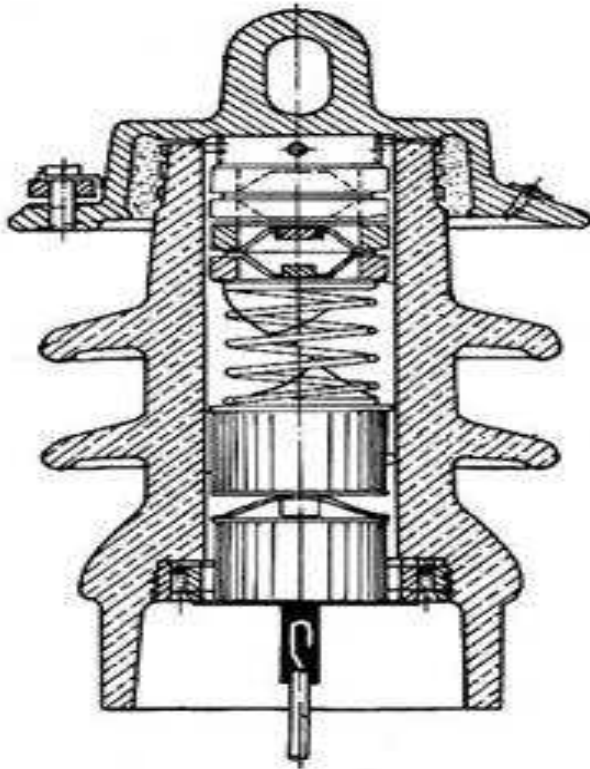
zkouška ventilové bleskojistky se provádí na mechanickou pevnost, ochranu proti korozi, pórovitost porcelánových plášťů a zkoušky izolace napětí zejména:

- zkouška střídavého zapalovacího napětí
- zkouška rázového zapalovacího napětí vlnou 1,2/50
- zkouška rázového zapalovacího napětí v čele vlny
- zkouška zbytkového napětí
- zkouška velkým proudem
- zkouška dlouhou vlnou
- zkouška pracovního cyklu je prováděna proudem s kmitočtem od 45 do 62 Hz. Rovněž se na bleskojistku pouští proudové rázy o parametrech 8 / 20 s vrcholovou hodnotou rovnajícímu se proudu bleskojistky podle norem. Při každém rázu se generuje následný proud, který musí být bleskojistka schopna přerušit.

směrnice pro volbu jmenovitého napětí bleskojistky

Jmenovité napětí bleskojistky, která je zapojena v trojfázové soustavě mezi fází a zemí, musí být jmenovité napětí rovné nebo větší očekávanému dočasnému přepětí v síti.

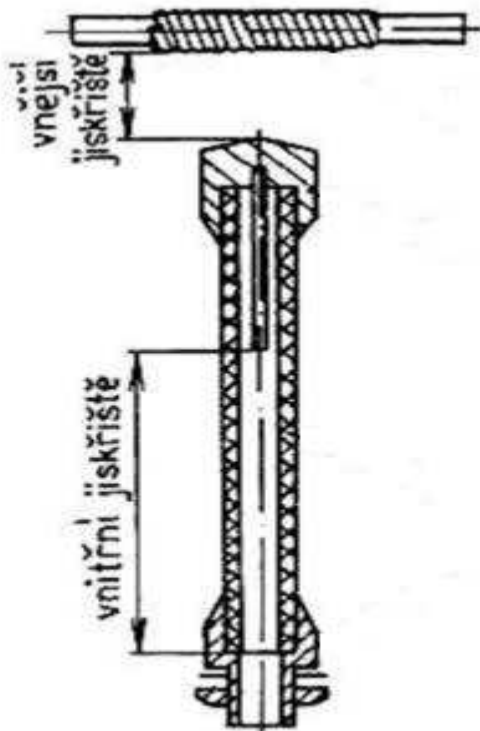
Druhy ventilových bleskojistek a jejich použití s ohledem na výbojové proudy, jsou uvedeny v normě [1.]



Obr. 7 Řez ventilové bleskojistky, [7.]

3.1.2. Vyfukovací bleskojistka

Vyfukovací bleskojistka (Torokova trubice), vyřešila nedostatky ochranného jiskřiště. Je tvořena jiskřištěm uzavřeným v trubce ze speciální směsi tvrzené pryže nebo fibru a tyčového jiskřiště umístěného ve vzduchu. Obě tato jiskřiště jsou k sobě v sérii. Po vzniku přepětí se zapálí obě jiskřiště. Vzniklý oblouk na jiskřišti uzavřeném v trubce, žářem odpaří část obalu jiskřiště. Vzniklý plyn vytvořený odparem je tvořen materiálem trubky a neionizovanou vodní párou z absorbované vody. Plyn ochlazuje oblouk a deionizuje okolí oblouku, čímž oblouk ztratí energii na udržení a při průchodu harmonického průběhu nulou, oblouk zhasne. Následný proud má však velkou hodnotu oproti ventilové bleskojistce. Proud může nabýt hodnoty až 1000 A. Po zapálení se vytvoří kusá vlna. Velký pokles napětí způsobený úbytkem oblouku v trubici, má za následek ohrožení mezizávitové izolace transformátoru. Proto se neinstaluje na svorky transformátoru, ale užívá se na venkovní vedení, kde zabraňuje přeskokům napětí na izolaci. Výhody oproti ochrannému jiskřišti jsou vykoupěny krátkou životností. Dále se používaly ventilové bleskojistky. [1.]



Obr. 8 Řez vyfukovací bleskojistky, [7.]

3.1.3. Svodiče na bázi ZnO

Jejich největší předností je velká nelinearita volt-ampérové charakteristiky. To způsobuje rychlý přechod mezi izolačním a vodivým stavem, proto nezpůsobují následné proudy. Nelinearity se dosahuje spékáním granulemi z materiálu ZnO s příměsí a speciální technologií výroby. Mezi zrny se vytváří polovodičový přechod. Charakteristika varistoru je symetrická, proto se hodí jak do stejnosměrného rozvodu, tak i do střídavého, neboť nezáleží na zapojení.

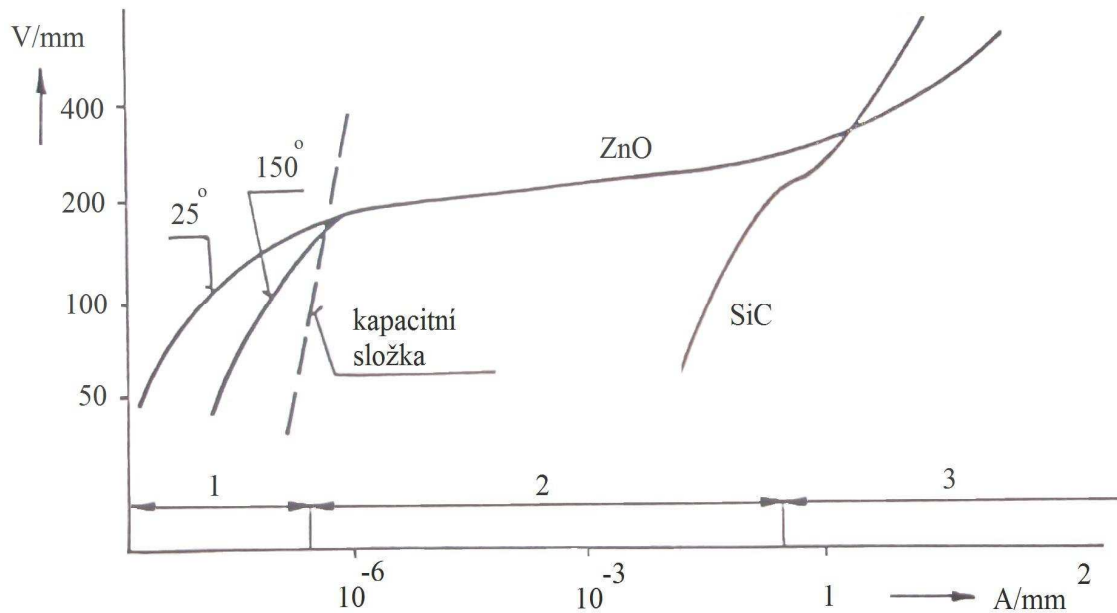
Výhodou omezovače přepětí na bázi kysličníku zinečnatého je, že není třeba použít zapalovací jiskřiště, neboť proud protékající odporem ZnO je o řády nižší, než u svodičů SiC. Tím se svodič ZnO stává nezávislým na strmosti přepětí. Nejdůležitější předností je však ve volbě jmenovitých napětí a v chování při dočasných přepětí. Ventilová bleskojistka musí mít jmenovité napětí nad hodnotou maximálního dočasného přepětí. Pokud by nebyla dodržena tato podmínka, jiskřiště bleskojistky by nemuselo zhasnout a vedlo by to k tepelnému poškození bloku SiC. Omezovače na bázi ZnO mohou být zatěžovány napětím vyšším nežli jmenovité napětí avšak jen po určité době, aby nedošlo k tepelnému poškození.

Porovnání omezovačů se svodiči

Jak je uvedeno výše, podstatný rozdíl spočívá ve velikosti jmenovitých napětí. Další předností omezovačů přepětí je větší spolehlivost. Bleskojistky při ztrátě těsnosti mají vyšší poruchovost vlivem koroze jiskřiště. Jejich konstrukce je rovněž složitější, což

opět vede k vyšší pravděpodobnosti poruchy a nutnosti velké obezřetnosti při montáži. Hmotnost bleskojistek může být pro nižší hladiny napětí až o 50 % vyšší. V neposlední řadě není nutno při kontrole omezovače jej odpojovat od napětí na rozdíl od svodičů.

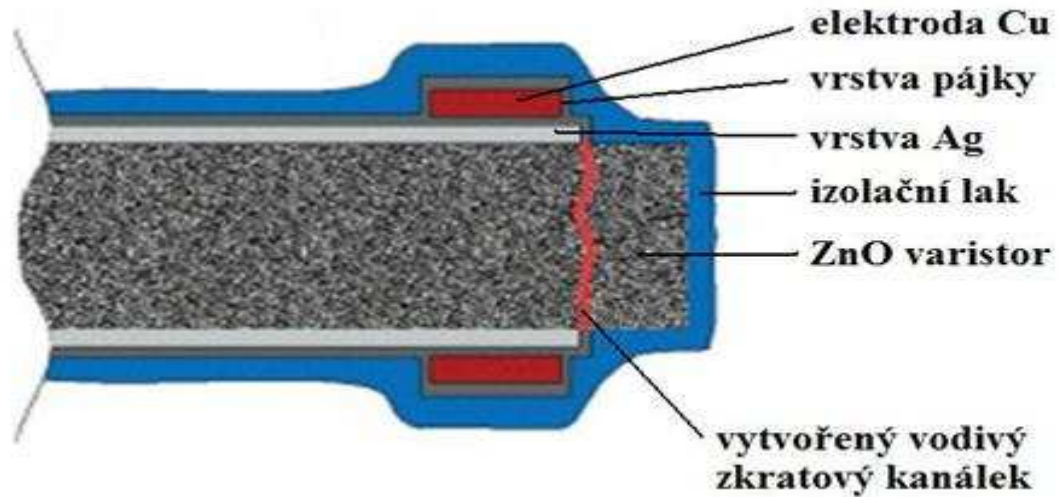
[8.]



Obr. 9 Porovnání svodičů SiC a omezovačů ZnO [9.]

Na Obr. 10 je patrný vodivý zkratový kanál, který má světle červenou barvu. Tento vodivý kanál může být způsoben tepelným průrazem nebo velkou intenzitou elektrického pole mezi elektrodami.

[4.]



Obr. 10 Řez varistorového svodiče, [4.]

3.1.4. Ochranné jiskřiště

Ochranné jiskřiště se skládá ze dvou růžků montovaných na podpěrný nebo závěsný izolátor nebo ze dvou čtyřhranných či kulatých tyčí umístěných na průchodkách transformátoru. Ochranné jiskřiště se již moc nepoužívá, neboť má podstatné nevýhody, jako jsou: velký rozptyl zapalovacího napětí, ochranné hladiny a povinnost vypínat oblouk po zapálení. Proto se musí používat v sítích vybavených opětovným zapnutím (OZ). Její rázová charakteristika je velmi nepříznivá a po zapálení může nastat zkrat. Tyto nedostatky byly vyřešeny použitím vyfukovacích bleskojistek. [1.]

3.2. Koordinace izolace

Koordinace izolace je výběr elektrické pevnosti s přihlédnutím na napětí vyskytující se v provozované síti. Musí se však přihlédnout k charakteristikám jisticích prvků, užitých na síti, tak aby nedošlo k poškození izolace, ale aby izolace nebyla zbytečně dimenzována s velkou napěťovou rezervou.

napěťové namáhání izolace se provádí při těchto stavech:

- napětí v normálním provozu
- dočasná přepětí
- spínací přepětí
- atmosférická přepětí

Odolnost izolace při zkoušce za normálního provozu a při dočasném přepětí se provádí při dielektrických zkouškách za průmyslového kmitočtu. Zařízení jmenovitého napětí 300 kV a výše se zkouší spínací vlnou s parametry 250/2500 μ s. Zařízení jmenovitého napětí pod 300 kV se provádí minutová zkouška při provozním kmitočtu. Atmosférické přepětí se testuje rázovou vlnou tvaru 1,2/50 μ s.

koordinace izolace pro normální provoz a pro dočasná přepětí se nastavuje tak, aby byla izolace schopna trvale odolat nejvyššímu jmenovitému provoznímu napětí. Přepětí dlouhého charakteru v praxi zpravidla nepřesahuje hodnotu $1,5 U_m / \sqrt{3}$ po dobu jedné

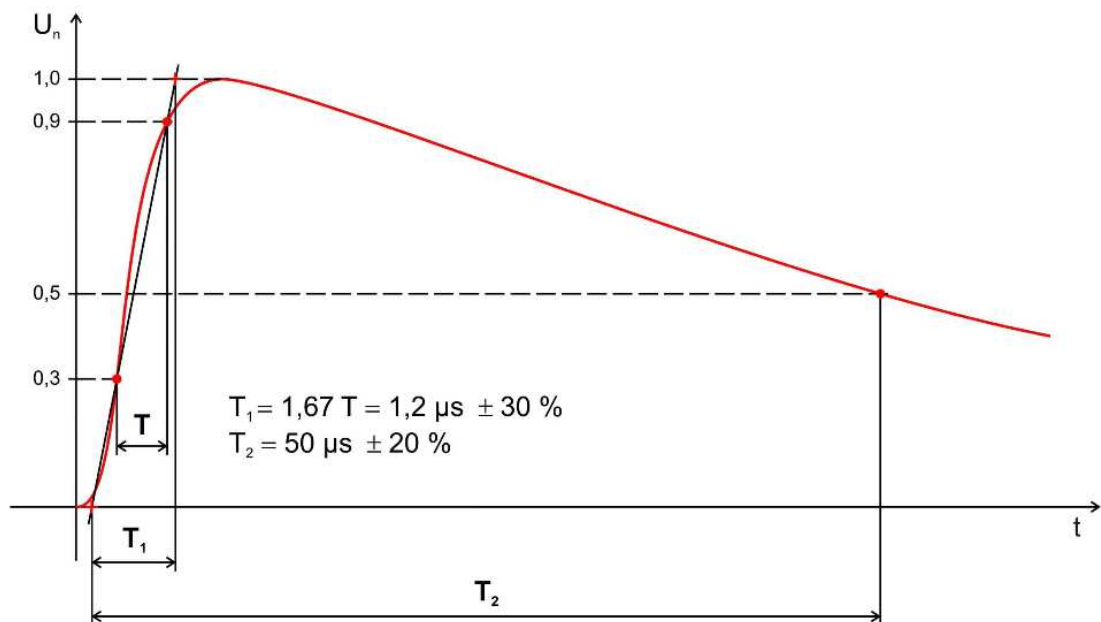
sekundy. Znečištěná izolace se testuje na odolnost při napětí fáze proti zemi nejméně $U_m / \sqrt{3}$, za předem daných znečištění. Odolnost na částečné výboje a na tepelnou nestabilitu se má podle norem provádět při napětí proti zemi vyšším než $U_m / \sqrt{3}$.

koordinace izolace na spínací a atmosférická přepětí se provádí nastavením izolace na odhadovanou velikost přepětí a reakci svodičů přepětí. Musí se vzít v úvahu, že bleskojistka neovlivňuje dočasná přepětí. Koordinace izolace se provádí statistickou nebo konvenční metodou. [1.]

3.2.1. Statistická metoda

Pro koordinaci izolace statistickou metodou je potřeba znát rozložení spínacích a atmosférických přepětí a také elektrickou pevnost izolace v jednotlivých místech. Při užití statické metody umístíme dva reprezentující body. Jeden reprezentující bod umístíme na rozložení elektrické pevnosti, jež označuje bod statistické výdrže napětí. Druhý bod se umísťuje na rozložení přepětí. Tento bod se nazývá bod statického přepětí. Bod statistické výdrže napětí se volí s předepsanou rezervou nad statistickým přepětím. Předepsaná rezerva se označuje jako statistický bezpečnostní úhel. Bezpečnostnímu statistickému úhlu odpovídá určitá míra poruchovosti, která musí být zohledněna při navrhování s ohledem na spolehlivost a ekonomičnost.

Statická výdrž napětí – je to charakteristika, kterou získáme, když statisticky porovnáme výsledky zkoušek. Izolace by měla odolat napětí v dohodnuté pravděpodobnosti, která se bere, jako 90 % odolá napětí a deset procent z výsledků zkoušky izolace neodolá. Toto napětí bývá rovno nebo vyšší než jmenovité napětí, podle kterého se bere izolační hladina zařízení. Kontrola izolační hladiny zařízení na jmenovité napětí, se provádí zkouškou. Zkoušku provádíme buďto známým rázovým napětím anebo spínací vlnou. Rázová vlna musí mít tuto vlastnost: 1,2/50. První hodnota označuje dobu čela (náběžnou hranu neboli strmost) v μs a druhý parametr označuje sestupnou hranu (týl) v μs , obr. 10. Spínací vlna pak musí mít tuto vlastnost: 250/2500. [1.]



Obr. 11 Rázové napětí

statistické přepětí – je vyvolané zapnutím vedení, úderem blesku, atd. a jeho amplituda překročí dohodnutou pravděpodobnost.

3.2.2. Konvenční metoda

Používá se u zařízení (transformátory, reaktory, atd.), která nemají schopnost regenerace izolace (tj. různé izolační pásy a jiné pevné izolanty). Průraz u těchto zařízení zůstává trvalý. Zde není doporučeno používat statistickou metodu, nýbrž metodu konvenční. Konvenční metoda se provádí přivedením malého počtu impulsů o velikosti jmenovitého napětí. Konvenční výdržná pevnost musí být vyšší nežli konvenční maximální přepětí, vyhodnocené ze zkušeností. Dostatečná rezerva se volí taktéž na základě zkušeností.

Pro zařízení, která jsou chráněna bleskojistkou v tab. 1 jsou zmíněny hodnoty doporučeného jmenovitého spínacího výdržného napětí a jmenovitého rázového výdržného napětí pro nejvyšší napětí.

tab.1 Doporučené izolační hladiny pro $U_m \geq 300\text{kV}$

Nejvyšší napětí zařízení, efektivní hodnota	Základ poměrné hodnoty	pro	Jmenovité výdržné spínací napětí, vrcholová hodnota(v závorce je poměrná hodnota)	Jmenovité výdržné rázové napětí, vrcholová hodnota	Poměr mezi výdržným rázovým a spínacím napětím
$U_m[\text{kV}]$	$U_m \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}[\text{kV}]$		[kV]	[kV]	
300	245	↗	750 (3,06)	850 – 950	1,13 – 1,27
		↘	850 (3,47)	950 – 1050	1,12 – 1,24
362	296	↗	(2,87)		
		↘	950 (3,20)	1050 – 1175	1,12 – 1,24
420	343	↗	(2,77)		
		↘	1050 (3,06)	1175 – 1300 – 1425	1,12 – 1,24 – 1,36
525	429	↗	(2,45)		
		↘	1175 (2,74)	1300 – 1425 – 1550	1,11 – 1,21 – 1,32
765	625	↗	1300 (2,08)	1425 – 1550 – 1800	1,1 – 1,19 – 1,38
		→	1425 (2,28)		

	↘	1550 (2,48)	1550 – 1800 – 2100	1,09 – 1,26 – 1,47
			1800 – 1950 – 2400	1,16 – 1,26 – 1,55

Příklady výpočtu koordinace izolace konvenční metodou

Příklady výpočtu se týkají transformátorů, které jsou chráněny proti přepětí bleskojistkou montovanou na jejich svorkách.

tab. 2 příklad výpočtu izolace konvenční metodou

1. základní údaje	Příklad 1	Příklad 2
nejvyšší napětí zařízení, efektivní hodnota U_m [kV]	420	765
odpovídající napětí fáze k zemi $\frac{U_m}{\sqrt{3}}$ [kV]	243	442
dočasné přepětí stanovené ze studií soustavy (v závorce je poměrná hodnota vztažená na $\frac{U_m}{\sqrt{3}}$ [kV])	320 (1,32)	605 (1,37)
minimální bezpečnostní činitel		
a) pro spínací přepětí	1,15	1,15
b) pro atmosférická přepětí	1,25	1,25
2. charakteristické údaje bleskojistky		
jmenovité napětí, efektivní hodnota [kV]	324	612
maximální zapalovací napětí pro spínací přepětí [kV]	765	1230
a) maximální zapalovací napětí pro atmosférické přepětí [kV]	805	1400
b) maximální zapalovací napětí v čele vlny [kV]	1010	1660
c) maximální zbytkové napětí při jmenovitém výbojovém proudu [kV]	735	1400
3. ochranná hladina pro spínací přepětí – rovná se maximálnímu zapalovacímu napětí pro spínací přepětí (v závorce je poměrná hodnota vztažená na $\frac{U_m\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ [kV])	765 (2,23)	1230 (1,97)
pro atmosférická přepětí - rovná se největší hodnotě ze tří údajů pod 2 a), 2 b), 2 c),		

příčemž hodnota podle 2 b), se například dělí činitelem 1,15 (v závorce je poměrná hodnota) [kV]	$\frac{1010}{1,15} = 878 (2,56)$	$\frac{1660}{1,15} = 1440 (2,30)$
<p>4. Izolační hladina</p> <p><i>Spínací přepětí</i></p> <p>Minimum pro volbu výdržného spínacího napětí (v závorce je poměrná hodnota) [kV]</p> <p>Jmenovité výdržné spínací napětí – zvolena nejbližší vyšší hodnota podle tab.1, (v závorce je uvedená poměrná hodnota) [kV]</p> <p>Poměr jmenovitého výdržného spínacího napětí k ochranné hladině pro spínací přepětí</p>	<p>765 x 1,15 = 880 (2,23 x 1,15 = 2,57)</p> <p>950 (2,77)</p> <p>1,24</p>	<p>1230 x 1,15 = 1415 (1,97 x 1,15 = 2,26)</p> <p>1425 (2,28)</p> <p>1,16</p>
<p><i>Atmosférická přepětí</i></p> <p>Minimum pro volbu výdržného rázového napětí (v závorce je poměrná hodnota) [kV]</p> <p>Jmenovité výdržné rázové napětí – zvolena nejbližší vyšší hodnota podle tab.1 (v závorce je poměrná hodnota) [kV]</p> <p>Poměr jmenovitého výdržného rázového napětí k ochranné hladině pro rázové napětí</p>	<p>878 x 1,25 = 1100 (2,56 x 1,25 = 3,20)</p> <p>1175 (3,42)</p> <p>1,33</p>	<p>1440 x 1,25 = 1800 (2,30 x 1,25 = 2,88)</p> <p>1800 (2,88)</p> <p>1,25</p>

[1.]

3.3. Izolátory

3.3.1. Keramické izolátory

Keramický izolátor je zařízení, které elektricky izoluje a zároveň mechanicky spojuje části s různým potenciálem. Jak již název napovídá je vyroben z keramiky. Dále rozlišujeme na izolátor holý a izolátor vystrojený. Izolátoru vystrojenému rozumíme jako izolátoru, který již nese veškerou výstroj a je připraven k montáži. Naopak izolátor holý je bez výstroje. Keramické izolátory se v technice označují zkratkami obsahující písmena a číslice.

1. první písmeno uvádí způsob využití:

vedení	- energetická	V
	-trolejová	D
	-sdělovací	N
stanice a přístroje	-kryté	I
	-venkovní	C
2. druhá a třetí pozice označuje konstrukční provedení a způsob upevnění vodiče:

závěs	-talířový	ZU
	-dřívkový	ZD
	-tyčový	ZL
podpěrka	-roubíková	PR
	-plnojádrová	PA
	-dutá	PB
průchodka	-stěnová	BS
	-vstupní	BV
	-transformátorová	BT
3. Pokud bude izolátor použit v prostředí, které označujeme III. nebo IV. stupněm znečištění, dává se na čtvrté místo písmeno M. Pokud bude izolátor využit v oblasti s mírou znečištění I. a II., nedáváme na tuto pozici nic.
4. Za pomlčku se uvádějí další charakteristické vlastnosti izolátoru, např. rozměry izolátoru, elektrické, mechanické, atd.

U izolátoru s plným průřezem se nosná část nazývá dřík, u izolátoru s dutým průřezem se nosná část nazývá stěna.

Na obvod stěny nebo dříku se dává stříška, která částečně chrání izolátor před deštěm, spadem a zvětšuje jeho plochu.

Důležité veličiny izolátoru jsou: jmenovité napětí (U_n), zkušební střídavé napětí (U_{zs}), a za deště (U_{zd}), přeskokové střídavé napětí za sucha (U_s) a za deště (U_d), průrazné střídavé napětí (U_{ps}), zkušební rázové napětí (U_{zr}), polovinové (50 %)přeskokové rázové napětí (U_{50}), průrazné rázové napětí (U_{pr}), hladina rušivého napětí při 1 MHz (U_{rr}), povrchový izolační odpor za sucha (R_{ps}) a za deště (R_{pd}), mechanická pevnost v tahu, v ohybu, v tlaku, v kroucení, v kombinovaném namáhání, elektromechanická pevnost, zkušební namáhání v tahu. [1.]

3.3.2. Porcelánové izolátory

Porcelánové izolátory rozdělujeme podle uchycení na:

Izolátory roubíkové

Izolátory závěsné

Roubíkové izolátory jsou používány do napěťové hladiny 35 kV. Nasouvají se na ocelové roubíky a na krček jsou přivazována ocelová lana.

Závěsné izolátory jsou uzpůsobeny tak, aby se daly napojovat do izolátorových řetězců a zároveň bylo možné výkyvné zavěšení. Izolátory jsou namáhány tahem. [1.]

3.3.3. Izolátorové řetězce

Z výsledků měření se ukázalo, že v izolátorovém řetězci má každý izolátor jinou kapacitu vůči uzemněnému stožáru a vodiči. Napětí je proto na izolátorovém řetězci za sucha rozloženo nerovnoměrně. Pokusným měřením se ukázalo, skutečné rozložení napětí na izolátoru. Nejvíce jsou zatíženy izolátory u vedení, naopak nejméně nedaleko uzemněného konce. Zvýšené napětí se dá však pozorovat i u uzemněného konce. Obecně se dá potom říct, že čím máme více izolátorů v řetězci, tím bude i nerovnoměrnější rozložení napětí.

Skutečné rozložení napětí na izolátorech je pak dáno atmosférickými podmínkami, na velikosti přiloženého napětí (zejména přeskokového), na míře znečištění izolátoru.

Pro linearizaci napěťového zatížení se používají kapacitní kruhy. [1.]

3.3.4. Staniční podpěrky

Je to vystrojený izolátor určený k mechanické podpoře vodičů v rozvodnách.

Staniční podpěrky dělíme:

- podle použití
 - venkovní
 - vnitřní
- podle mechanické pevnosti v ohybu
- podle zkušebního rázového napětí

Podpěrky jsou dimenzovány s ohledem na mechanické namáhání a na velikost přeskokového napětí. Velikost (výška) podpěrky je dána střídavým přeskokovým napětím s dostatečnou rezervou. Žebra jsou u podpěrek z důvodu, aby zvyšovaly přeskokové napětí u vlhkých nebo znečištěných podpěrek.

3.3.5. Průchodky

Jejich úkol je elektricky izolovat vodič při průchodu stěnou a zároveň mechanicky propojovat oba konce kabelu. Je to v podstatě vystrojený průchodkový izolátor. Dle užití rozeznáváme průchodku pro transformátory, pro měřicí transformátory, stanice a přístroje. Uvnitř průchodkového izolátoru je vodič, který tvoří vnitřní elektrodu. Vně izolátoru je objímka, sloužící k uchycení ve stěně. Objímka se používá jako druhá elektroda.

podle způsobu užití, dělíme:

1. umístěné ve vzduchu
 - vnitřní
 - venkovní
 - venkovní – vnitřní
2. průchodky částečně nebo zcela ponořené
 - vnitřní ponořené
 - venkovní ponořené
 - úplně ponořené

Prostředí je rozhodující pro délku vodiče (vnitřní elektrody). Elektrody jsou mezi sebou izolovány pomocí porcelánu a vzduchu, jen porcelánu, papíru. [1.]

Závěr

Z hlediska možných přepětí ohrožující síť, je nejhorší atmosférické přepětí. Dosahuje vyšších hodnot nežli spínací přepětí, taktéž strmost nárůstu energie je větší. Fázové vodiče se proto na trase stíní zemnicími lany, aby se snížila pravděpodobnost přímého úderu blesku do fázového vodiče. Rovněž i stožáry jsou vybaveny bleskosvody a jsou uzemněny tak, aby představovaly pro blesk (proud) cestu nejmenšího odporu.

Zařízení schopná omezit přepětí se během doby postupně zdokonalovala a zdokonalovala. Dříve používaná zařízení jsou dnes již využívána spíše na méně důležitých místech sítě, popřípadě pro zálohu hlavního jištění. Dnes nejrozšířenějšími svodiči přepětí jsou ventilové bleskojistky a také se již dnes instalují, svodiče na bázi ZnO. Svodiče na bázi ZnO mají oproti klasickým svodičům přepětí řadu výhod. V první řadě velkou nelinearitu V - A charakteristiky, která vede k téměř nulovému následnému proudu. Ve druhé řadě mají absenci jiskřiště, potřebující pro svoji reakci určité zapalovací napětí. U klasických jiskřišť proto docházelo, že pokud nebyla dosažena hodnota zapalovacího napětí, ochrana nezareagovala.

Použití novějších a dokonalejších přepět'ových prvků vede ke snížení potřeby vysokých izolačních hladin, které jsou úzce spjaty s ekonomičností výstavby.

Použitá literatura

- [1.] VEVERKA, Antonín. *Technika vysokých napětí*. 3. přepr. vyd. Praha: SNTL, 1982, 301 s. ISBN technika vysokých napětí.
- [2.] Doc. Ing. MERTLOVÁ, CSc, Jiřina, Ing. KOČMICH, Martin. *Elektrické stanice a vedení*. 1994
- [3.] SEDLÁČEK, Roman. *Technika vysokých napětí*. Bakalářská práce, 2009
- [4.] RNDr. DUDÁŠ, CSc, Josef [ONLINE]. 2006 [cit. 2012-05-10] Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26801,
- [5.] [ONLINE]. [cit. 2012-05-10] Dostupné z: http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=456c656b74f8696e612061206d61676e657469736d7573h&key=424
- [6.] Doc. Ing. LAURENC, CSc, Jiří. *Návody na měření z techniky vysokého napětí, návod 14*.
- [7.] JAROŠ, Filip. *Použití svodičů přepětí*. Bakalářská práce, 2010
- [8.] Ing. HASMAN, Csc, Tomáš. *Přepětí v elektroenergetických soustavách*. Vydavatelství ČVUT, 1997, ISBN 80-01-01699-4
- [9.] Ing. KUČERA, DrSc, Jaroslav. *Omezovače přepětí a jejich použití v sítích*. EGÚ Praha a.s.

Použité programy

1. malování
2. ProfiCAD
3. Microsoft office