

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**OCHRANA SÍTÍ NN, VN, VVN PROTI PŘEPĚTÍ**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš BENETKA**  
Osobní číslo: **E11N0001K**  
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Ochrana sítí NN, VN, VVN proti přepětí**  
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

Zpracujte problematiku přepětí vyskytujících se v energetické soustavě.

1. Popište různé druhy přepětí vyskytujících se v energetické soustavě a příčiny jejich vzniku.
2. Popište jednotlivé druhy ochrany proti přepětí pro jednotlivé napěťové hladiny a vysvětlete princip jejich činnosti.
3. Navrhnete optimalizaci použití jednotlivých druhů ochrany pro specifické podmínky.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Rusňák, Š., Řezáček, P.: Elektrické přístroje 1, ISBN 80-7082-825-0, Plzeň, 2003
2. Burant, J.: Blesk a přepětí, systémová řešení ochran, ISBN 80-86534-10-3, FCC Public, Praha, 2006
3. Mentík, V. a kol.: Diagnostika elektrických zařízení, BEN, 2008
4. Normy PNE, Normy ČSN, Katalogové listy omezovačů přepětí

Vedoucí diplomové práce:

**Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.**

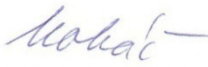
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2012**

Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2013**

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



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

V Plzni dne 15. října 2012

## **Anotace**

Předmětem této diplomové práce je vznik přepětí v našich energetických sítích a jeho působení. Snahou bude vytvořit přehledný popis jednotlivých druhů ochranných zařízení omezujících toto přepětí v daných napěťových hladinách. Práce je dále zaměřena na popis principů jejich činnosti. V poslední části práce řeší optimalizaci použití jednotlivých druhů ochran pro specifické podmínky.

## **Klíčová slova**

přepětí, bleskojistka, Torokova trubice, omezovač přepětí, varistor, zemní lano

## **Abstract**

The subject of this thesis is the creation of surge in our energy networks and its effects. The aim is to create a clear description of the types of protective equipment limit the surge in these voltage levels. The work is also focused on the description of the principles of their activities. The last part deals with optimizing the use of different types of protections for specific conditions.

## **Keywords**

Overvoltage, lightning arrester, Torokova tube, surge arrester, varistor, ground rope

## **Prohlášení**

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

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

.....

V Plzni dne 6.5.2013

Tomáš Benetka

## **Poděkování**

Tímto způsobem bych rád poděkoval Doc. Ing. Karlu Noháčovi, Ph.D. za jeho odborné rady a konzultace pro vypracování této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat svým nejbližším za podporu ve studiu.

## Obsah

1. Přepětí.....	14
1.1 Základní dělení přepětí .....	14
1.2 Časový průběh přepětí .....	15
1.3 Atmosférická přepětí .....	16
1.3.1 Teorie vzniku atmosférických výbojů.....	16
1.3.2 Množství výskytu výbojů.....	17
1.3.3 Bleskem způsobená přepětí.....	18
1.4 Průmyslová přepětí .....	19
1.4.1 Přepětí dočasná.....	19
1.4.2 Přepětí spínací .....	20
1.4.3 Přepětí vzniklé vzájemným působením mezi systémy.....	21
2. Ochrana sítí proti přepětí.....	22
2.1. Zemní lana .....	23
2.2 Koordinační jiskřiště.....	24
2.3 Koordinace izolace .....	25
2.4 Bleskojistky .....	26
2.4.1 Vyfukovací bleskojistky.....	26
2.4.2 Růžkové bleskojistky .....	26
2.4.3 Ventilové bleskojistky.....	27
2.5 Omezovače přepětí .....	28
2.6 Indukčnost a kapacita .....	30
2.7 Varistory .....	31
3. Ochrana sítí VVN.....	34
3.1 Ochrana zemním lanem .....	34
3.2 Omezovače přepětí .....	35
4. Ochrana sítí VN.....	38



4.1	Koordinace izolace .....	38
4.1.1	Snížení poruchovosti.....	38
4.2	Přepětí přímým úderem do vedení.....	38
4.2.1	Sloupy s uzemněnými konzolami .....	38
4.2.2	Sloupy bez uzemněných konzol .....	39
4.3	Indukovaná přepětí .....	39
4.4	Dimenzování omezovačů přepětí.....	39
4.4.1	Volba provozního napětí $U_c$ omezovačů .....	39
4.4.2	Volba energetické třídy .....	40
4.5	Umístování a připojování omezovačů.....	41
4.5.1	Pravidla pro připojení omezovačů .....	41
4.6	Přídavná ochranná opatření .....	42
4.6.1	Uzemnění stožárů před el. stanicí .....	42
4.6.2	Zemní lana.....	42
4.6.3	Sdružené zaústění vedení .....	42
5.	Ochrana sítí nn.....	43
5.2	Přepětí přímým úderem do vedení.....	43
5.2.1	Sloupy s uzemněnými konzolami .....	44
5.2.2	Sloupy bez uzemněných konzol .....	44
5.3	Indukovaná přepětí .....	44
6.	Optimalizace použití jednotlivých druhů ochran pro specifické podmínky .....	45
6.1	Vývoj přepět'ových ochran .....	45
6.2	Přepět'ová ochrana v domovní síti nn .....	46
6.2.1	Stupně ochran.....	46
6.2.2	Volba počtu stupňů a typů ochran.....	47
6.3	Přepět'ová ochrana v sítích vn a vvn.....	47
6.3.1	Porcelánové omezovače přepětí .....	48

---

6.3.2 Silikonové omezovače přepětí .....	48
6.3.3 Příklady ZnO omezovačů přepětí ABB .....	50
7. Závěr.....	54
8. Seznam použité literatury .....	55

## Seznam použitých symbolů

ABB	Asea Brown Boveri
ES	Energetická soustava
ZnO	Oxid zinečnatý
SiC	Oxid křemičitý
V-A	Volt-amperová charakteristika
AlFe	Lanový vodič hliník/ocel
ČSN EN	Česká technická norma s převzatou evropskou normou
PÚ	Přímý úder
EGM	Elektrogeometrický model
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise
DIN	Německá národní norma
T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> , T <sub>3</sub>	Úroveň stupně ochrany
La,Lb	Délky vodičů a, b
nn	Nízké napětí
vn	Vysoké napětí
vvn	Velmi vysoké napětí

---

I	Elektrický proud
A	Amper, jednotka elektrického proudu
U	Elektrické napětí
V	Volt, jednotka elektrického napětí
%	Procento, vyjádření části celku pomocí celého čísla
s	Základní jednotka času v soustavě SI
$\mu$	Předpona soustavy SI $10^{-6}$
m	Základní jednotka délky
log	Logaritmus, logaritmická funkce
J	Joule, jednotka práce a energie
r	Poloměr
h	Výška
$\alpha$	Činitel nelinearity
$\sqrt{\quad}$	Odmocnina z reálného čísla
Uc	Provozní napětí
Ur	Jmenovité napětí
Up	Ochranná hladina napětí
Ures	Zbytkové napětí
t	Označení času
p.u	Poměrná jednotka
S	Ochranná vzdálenost

## Úvod

Téma této diplomové práce se zabývá problematikou vzniku, působení a minimalizací přepětí v energetické soustavě. Přepětí se nevyskytuje pouze od úderu bleskem, ale energetické sítě je třeba chránit také před takzvaným přepětím vnitřním. K vnitřnímu přepětí dochází zejména při spojení fáze se zemí, zkratu, vlivem vyšších harmonických anebo při spínání indukčních nebo kapacitních proudů. Ochrannými zařízeními se snažíme vzniku přepětí buď zcela zabránit, nebo když už přepětí v síti vznikne, odvést ho do míst kde nemůže napáchat velké škody.

Ochranu proti vnějšímu či vnitřnímu přepětí používáme ve všech napěťových hladinách. Od přenosové soustavy zahrnující napětí 400kV a 220kV přes soustavu distribuční 110kV, 35kV, 22kV která je dále transformována na rozvodnou síť nízkého napětí nn 3x400/230V. Tato práce se zabývá druhy ochrany působících proti přepětí v daných napěťových hladinách. Jedná se například o omezovače přepětí, zemní lana, nebo bleskojistky.

## 1. Přepětí

Přepětí je definováno následovně. V provozu soustavy jsou menší napěťové změny zcela přirozené. Pokud napětí nepřesáhne stanovenou mezní odchylku 10% (nejvyšší provozní napětí sítě nebo soustavy) je tento jev v normě. Přesáhne-li však hodnota napětí v jakémkoliv místě soustavy tuto stanovenou mez, jedná se o takzvané přepětí, což je obvykle časově závislé zvýšení napětí mezi fázemi či mezi fází a zemí. Přepětí se šíří na obě strany od místa vzniku a související zvýšená hodnota proudu namáhá vodiče, zařízení a izolace tepelnými a dynamickými účinky. Přepětí je možné vyjadřovat špičkovou hodnotou ve voltech.[2]

Pulzní přepětí je děj trvající nanosekundy až milisekundy. Řadí se k výrazně nejškodlivějším vlivům ohrožujícím obzvláště elektronická zařízení, která obsahují polovodičové součástky. [1]

Přepětí je blíže definováno normou ČSN 33 4010 jako taková velikost napětí, která má vyšší hodnotu než nejvyšší provozní napětí. [2]

### 1.1 Základní dělení přepětí

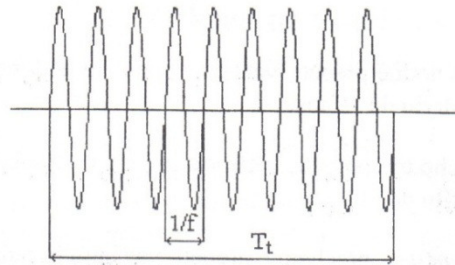
V závislosti na podmínkách vzniku a trvání rozlišujeme přepětí podle:

- Frekvence výskytu
- Velikosti
- Časového průběhu
- Příčiny vzniku

Podle příčiny vzniku dělíme přepětí na:

- Provozní – dočasná nebo spínací
- Atmosférická

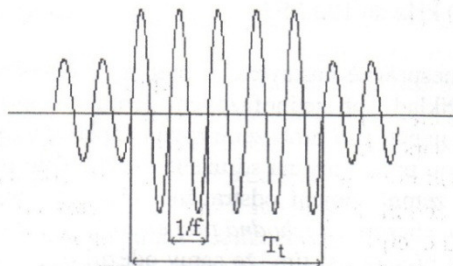
## 1.2 Časový průběh přepětí



Trvalé přepětí

$$f = 50 \text{ nebo } 60 \text{ Hz}$$

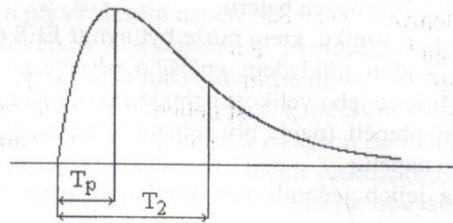
$$T_t \geq 3600 \text{ s}$$



Dočasné přepětí

$$500 \text{ Hz} > f > 10 \text{ Hz}$$

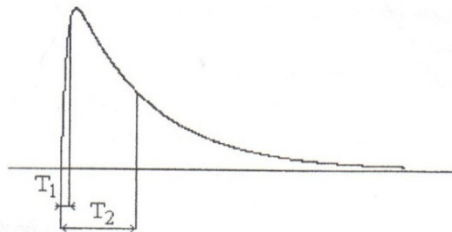
$$3600 \text{ s} \geq T_t \geq 0,03 \text{ s}$$



Přechodné přepětí s dlouhým čelem

$$5000 \mu\text{s} \geq T_p > 20 \mu\text{s}$$

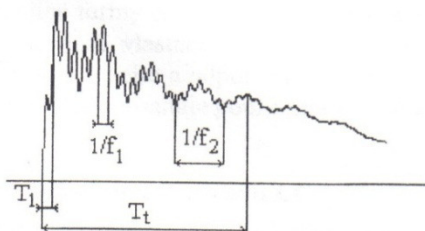
$$T_2 \leq 20 \text{ ms}$$



Přechodné přepětí s krátkým čelem

$$20 \mu\text{s} \geq T_1 > 0,1 \mu\text{s}$$

$$T_2 \leq 300 \mu\text{s}$$



Přechodné přepětí s velmi krátkým čelem

$$100 \text{ ns} \geq T_1 \geq 3 \text{ ns}$$

$$T_t \leq 3 \text{ ms}$$

$$0,3 \text{ MHz} < f_1 < 100 \text{ MHz}$$

$$30 \text{ kHz} < f_2 < 300 \text{ kHz}$$

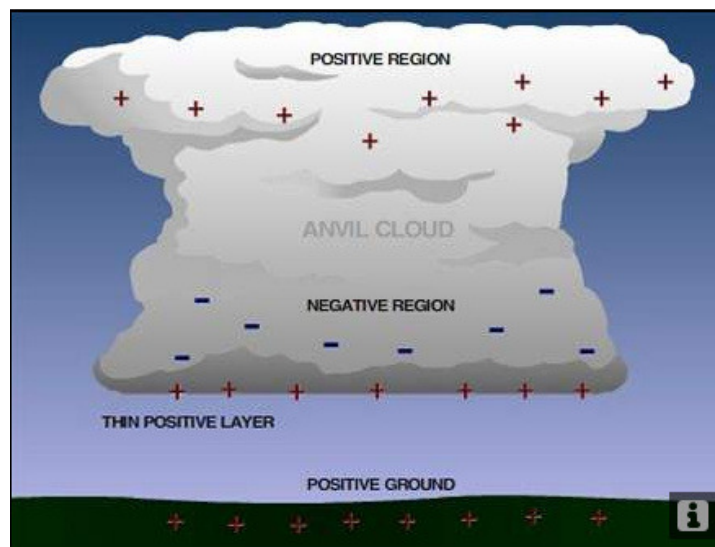
Obr. 1 Časové průběhy přepětí [4]

## 1.3 Atmosférická přepětí

Atmosférické přepětí je přepětí vyvolané bleskem. Může nastat mezi fází a zemí, nebo mezi fázovými vodiči. Je způsobené především bouřkovou činností, konkrétně bleskovými výboji. Nejvíce se přepětí z blesku projevuje na venkovních vedeních a v úsecích nestíněných kabelů. [3]

### 1.3.1 Teorie vzniku atmosférických výbojů

Blesk představuje obrovský jiskrový výboj, kterým se vyrovnává rozdíl potenciálů mezi mrakem a zemí, nebo mezi mraky. V bouřkových mracích, pohybem vzduchových hmot, vznikají nabité částice vzduchu, které se bez přestání spojují v neutrální částice. Některé se však nespojí, což vede k tomu, že kladně nabitě částice se shromažďují ve vyšších vrstvách a záporné níže, blíž zemskému povrchu. Tím dojde k vyváženému stavu mezi oběma místy s intenzitou elektrického pole 100-200V/m. Když dojde k přiblížení kladně nabitěho mraku k záporně nabitěmu, vznikne mezi nimi elektrické napětí, které může dosáhnout takové velikosti, která si vynutí vyrovnání potenciálů výbojem, tedy bleskem. Toto napětí musí být tak velké, aby překonalo elektrickou pevnost vzduchu. Existují i mraky, u nichž se opačné náboje vytvoří na jejich protilehlých koncích a blesk tak přeskočí uvnitř. Při přiblížení nabitěho mraku k zemi se v důsledku elektrické indukce vytvoří náboj opačné polarity a tím pak může dojít k výboji buď od země, nebo k zemi. [10] [1]



Obr. 2 Polarizace elektrického náboje v bouřkové oblačnosti [23]

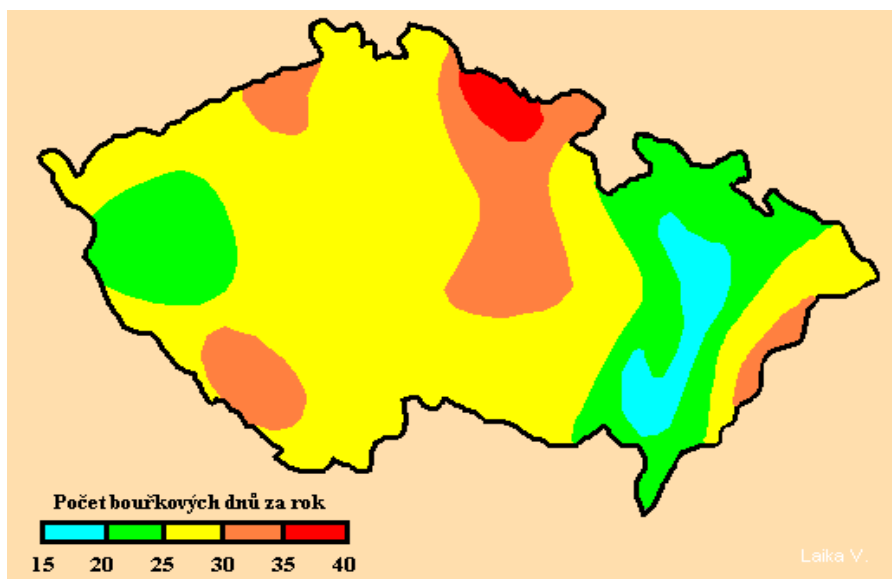


Většina blesků pochází ze záporně nabitých mraků. Blesk je možné elektricky vysvětlit jako proudový impuls ze zdroje proudu s vrcholovou hodnotou proudu od jednotek po desítky, či stovky kA. Doba čela je ve většině případů  $2\mu\text{s}$ . Četnost výskytu blesku s amplitudou proudu větší než 10kA byla v ČR zjištěna v 84%, dále pak s amplitudou proudu větší než 100kA v 1,8%. Ze statistik vyplývá přítomnost 29,2 úderů do 100km venkovních vedení ročně. [5]

### 1.3.2 Množství výskytu výbojů

Obecně platí, že čím dále od rovníku jsme, tím je výskyt bouřek a tím i blesků menší. Nicméně skutečné množství výbojů závisí na příslušných geografických podmínkách. Pro příklad, v hornatém terénu je větší počet geografických bouřek a tím i větší počet bleskových výbojů. Proto se již mnoho let zpracovávají údaje o výskytu bouřek a vytvářejí se tzv. bleskové mapy.

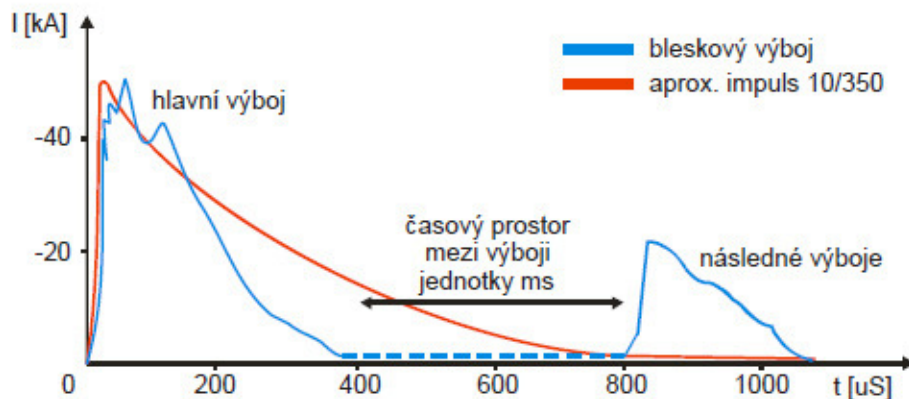
Na území České republiky dochází k bouřkovým činnostem v průměru v 10-ti až 40-ti dnech v roce.[10]



Obr. 3 Izokeraunická mapa počtu bouřkových dnů na území ČR [24]

### 1.3.3 Bleskem způsobená přepětí

Pokud blesk zasáhne fázový vodič, dochází v čase několika milisekund k uvolnění obrovského množství energie. Přepětí tohoto typu jsou nejnebezpečnější hlavně proto, že mají za následek velmi strmé přepětěvé impulsy s nejvyšší hodnotou napětí až několika megavoltů. V této hodnotě se však impulsy k zařízením na vedení nedostanou díky instalovaným izolátorům, jež slouží jako přirozené chrániče proti přepětí. I přes tuto ochranu však mohou hodnoty přepětí po přeskoku na izolátorech dosahovat hodnot až 10 p.u. Doba náběhu a poklesu se může výrazně zmenšit a s tím i amplituda. Přepětěová vlna se šíří po vedení na obě strany a při tom namáhá izolaci proti zemi. Současně přepětěová vlna v jednom vodiči indukuje napětí ve vodičích sousedních.[5]



Obr. 4 Porovnání bleskového výboje a aproximačního impulsu 10/350[5]

I v případě, kdy blesk zařízení nezasáhne přímo, může mít velmi destruktivní charakter. Do vedení se totiž indukuje napětí vlivem elektromagnetické a elektrostatické indukce. Šíří se rychlostí světla stejně jako vlny s malým útlumem a při vstupu do stanice může vyvolat nebezpečná přepětí.

Dále mohou atmosférická přepětí vzniknout díky přímému úderu do zemních lan v rozpětí, nebo také přímým úderem do stožáru. Přímý úder do zemního lana způsobí na laně vlny, které se šíří na obě strany od místa úderu blesku. Tyto vlny zapříčiňují indukci napětí ve vodičích, což způsobuje zatěžování izolace.

Toto zatížení je dáno rozdílem napětí na laně a na vodičích. Je-li hodnota tohoto napětí vyšší než hodnota přeskokového napětí, dojde mezi vodičem a zemním lanem ke zpětnému přeskoku. Přímý úder do stožáru způsobuje na špičce stožáru přepětí, jehož velikost je závislá

na vlnové impedanci fázových vodičů a stožáru, zemních lan, na délce rozpětí, na indukčnosti stožáru a na strmosti proudu blesku. I v tomto případě může dojít k zpětnému přeskoku. [3]

## 1.4 Průmyslová přepětí

Činnost člověka na planetě odedávna směřuje k ulehčení jeho života. Bohužel je při tom zapomínáno na negativní vlivy, které svou činností způsobuje. V oblasti elektrotechniky se jedná o negativní vznik průmyslového, neboli transientního přepětí. Toto transientní přepětí vzniká v důsledku nedokonale technicky vyřešených spínacích procesů. Provozní přepětí tedy vzniká, pokud v síti v danou chvíli probíhá přechodový jev.

Přepětí se negativně podepisuje na součástech a zařízeních připojených k dané rozvodné síti. V důsledku existence kapacitních a indukčních vazeb se však může přenášet i do jinak samostatných rozvodných soustav.[1]

Průmyslová přepětí je možné dělit podle vzniku na:

- Přepětí dočasná
- Přepětí spínací
- Přepětí způsobená vzájemným působením mezi signály

### 1.4.1 Přepětí dočasná

Dočasná přepětí jsou oscilační přepětí mezi fází a zemí nebo mezi fázemi v daném místě sítě, které mají poměrně dlouhou dobu trvání a jsou buď netlumené, nebo jen mírně tlumené (Veverka1982, str. 203). Obvykle mají vyšší hodnotu než  $\sqrt{3}p.u.$  Dočasná přepětí bývají způsobena buď nelinearitou (vyššími harmonickými, ferorezonančními jevy), zkraty, nebo spínacími operacemi jako např. odpojením zátěže. Je možné charakterizovat je amplitudou, útlumem, oscilačními kmitočty, nebo také celkovou dobou trvání.

Význam dočasných přepětí se zvyšuje tím, čím je vyšší hodnota napětí v provozované elektrické soustavě. Právě podle velikosti dočasného přepětí se vybírají bleskojistky v síti zvlášť vysokého napětí.[5]

## 1.4.2 Přepětí spínací

Zkratkou SEMP (Switching Electromagnetic Pulse) se označují spínací přepětí.

Vyskytují se v sítích nízkonapěťových i vysokonapěťových. Jak zkratka SEMP napovídá, mají původ v nejrůznějších spínacích procesech. Vrcholová hodnota přepětí závisí na uspořádání a impedanci sítě a zátěže a na druhu sítě. Spínací přepětí bývají zpravidla utlumena a trvají pouze krátkou dobu. Objevují se většinou z následujících důvodů: [1]

- Zemní spojení v třífázových soustavách
- Vypínání kapacitních proudů
- Vypínání malých indukčních proudů
- Zapínání nebo opětovné zapínání nezatížených vedení
- Vypínání zkratů

### 1.4.2.1 Zemní spojení v třífázových soustavách

Zprvu je potřeba říci, že rozeznáváme, podle spojení uzlu se zemí, tři druhy soustav.

Soustavu s izolovaným uzlem, což je soustava, která nemá nulový bod (uzel) spojený se zemí. Dále pak soustavu s uzemněným uzlem. V tomto případě se jedná o soustavu, která má nulový bod (uzel) spojený se zemí přímo.

A v neposlední řadě soustavu s nepřímým uzemněným uzlem, což je soustava, která má nulový bod (uzel) spojený se zemí např. přes zhášecí tlumivku, nebo odpor. Tyto součástky mají malý činný odpor, aby při zemních zkratech redukovaly přechodné oscilace a vylepšily podmínky pro selektivní zemní ochranu.

### 1.4.2.2 Vypínání kapacitních proudů

Při požadavku vypnutí kondenzátorové baterie je nutné proud ve vypínači přerušit a to v době, kdy je průchod nulový a napětí na baterii maximální. Na straně zdroje probíhá napětí po tlumeném zakmitání dále podle sinusovky zdroje a napětí na baterii zůstává na hodnotě, kterou mělo v okamžiku vypnutí. Díky této situaci vzniká na kontaktech vypínače mezi těmito napětími rozdíl a může tak dojít k průrazu dráhy vypínače. Dojde ke vzniku oscilací, které však jsou brzy utlumeny. Je možné, že se jev může opakovat. Tomuto stavu se předchází především volbou nejvhodnějšího vypínače.

### 1.4.2.3 Vypínání malých indukčních proudů

Při tomto přechodovém ději přepětí vzniká při vypínání transformátorů ve stavu naprázdno, při vypínání reaktorů a při vypínání motorů vn s rotorem nakrátko. Vypínací dráha vypínače je namáhána přepětím a zpravidla se během vypínání prorazí a dojde tak k takzvanému opětovnému zápalu. K tomu dochází do té doby, dokud není vzdálenost mezi kontakty dostatečně velká. Pokud se proti tomuto jevu nelze bránit jinak, montují se na svorky transformátoru ventilové bleskojistky.

### 1.4.2.4 Zapínání nebo opětovné zapínání nezatížených vedení

Přepětí při tomto typu přechodového jevu se uplatňuje hlavně při dimenzování izolace.

Rozdělujeme ho na dva druhy - *přepětí proti zemi* a *přepětí mezi fázemi*.

### 1.4.2.5 Vypínání zkratů

Děje vznikající při vypínání zkratových proudů výrazně ovlivňují jak samotnou síť, tak i vypínač (tvar a rychlost odskoku elektrod). Při vypínání se kontakty vypínače začnou oddalovat a tím mezi nimi začne hořet oblouk udržovaný zdrojem proudu. Hořící oblouk trvá až do dostatečného oddálení kontaktů, kdy dojde k přerušení proudu.

Budeme předpokládat, že vypínáme vypínačem, který má následující vlastnosti: vypínací dráha má nekonečně velkou vodivost před přerušením proudu, napětí oblouku je nulové. Po okamžiku přerušení proudu bude mít nekonečně velký odpor a k přerušení proudu dojde v okamžiku průchodu sinusovky v nule. Ihned po přerušení proudu se na kontaktech objeví zotavené napětí, které bude určeno jen vlastnostmi sítě (platí u ideálního vypínače). [3]

### 1.4.3 Přepětí vzniklá vzájemným působením mezi systémy

Průmyslová přepětí se mohou šířit také z důvodu vzájemných vazeb mezi systémy a to díky elektromagnetické indukci. Častým případem bývá ovlivňování slaboproudých vedení silnoproudými, kdy jsou tato vedení umístěna blízko sebe. Hodnota přepětí není v tomto případě tak vysoká a působí nepravidelně. Hrozí však nebezpečí, že se indukované napětí navýší po zkratu v silovém vedení a tím může dojít k poškození elektronických zařízení v slaboproudém obvodu. [1]

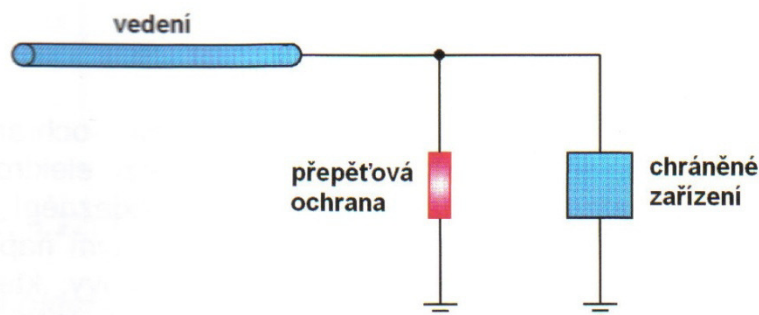
## 2. Ochrana sítí proti přepětí

Zařízení sloužící k ochraně proti přepětí, tzv. přepět'ové ochrany, slouží k ochraně před účinky přepětí v energetických sítích. Jejich úkolem je zajistit, aby se na chráněné zařízení nedostalo napětí vyšší než dovolené. Princip činnosti všech těchto ochran je, že využívají změnu impedance v závislosti na napětí. Avšak v závislosti na konstrukci se jejich vlastnosti mohou vzájemně lišit. Způsob připojení přepět'ové ochrany je patrný z obrázku níže. Pro spolehlivou funkci přepět'ové ochrany je důležité, aby zvolená ochranná hladina byla v jistém odstupu pod úrovní elektrické pevnosti chráněného zařízení.[11]

Přepět'ové ochrany by měly splňovat několik kritérií:

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

Přepětí v elektroenergetické soustavě je nežádoucí jev, který může způsobit poruchy elektroizolačních systémů připojených zařízení, nebo jejich nesprávnou funkci. Důsledkem často bývají výpadky v dodávce elektrické energie. Přepětím způsobené škody znamenají spolu s přerušením dodávky značné finanční ztráty. Proti takovým škodám jsou žádoucí instalace zařízení, která přepětí v síti minimalizují. Neméně důležité je i jejich správné rozmístění. [4]



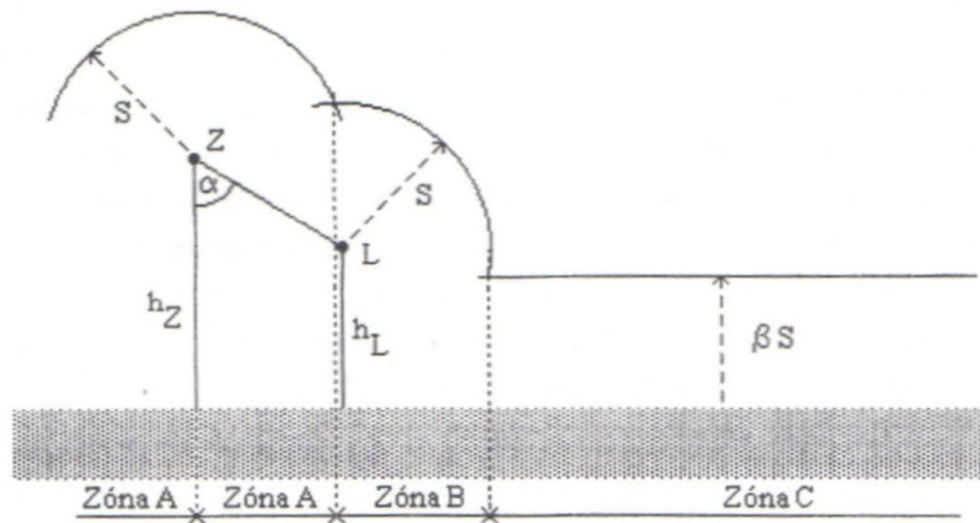
Obr. 5 Připojení přepět'ových ochran [11]

## 2.1. Zemní lana

Největším nebezpečím v oblasti atmosférických přepětí jsou bezesporu přímé úderý bleskového výboje do vedení. Základním opatřením proti tomuto přímému úderu je použití uzemněných zemních lan, která jsou tažena souběžně s fázovými vodiči ES. Jsou umístěna tak, aby pravděpodobnost úderu blesku do nich byla větší než pravděpodobnost úderu blesku do chráněných fázových vodičů. Umístění těchto zemních lan vychází z teorie ochranného prostoru. Vysvětlení této teorie vyplývá z výstavby bleskového výboje. Tento děj si můžeme vysvětlit tak, že vůdčí stupňovitý výboj je od určité vzdálenosti od země přitahován nejvyšším objektem v okolí svojí dráhy šíření. Ta vzdálenost, na kterou je výboj přitahován, se nazývá ochranná vzdálenost. Ta je poloměrem daného ochranného prostoru se středem v místě vzniku výboje. Obvykle je výboj totožný s nejvyšším bodem daného objektu. Ochranná vzdálenost je dána vztahem, kde  $S$  je ochranná vzdálenost a  $I$  velikost proudu v kiloampérech:

$$S = 10 * I^{\frac{2}{3}}$$

Na obrázku 6 je uvedena konstrukce ochranných prostorů vedení se zemním lanem. Umístění zemního lana je dáno ochranným úhlem  $\alpha$ . Obrázek ukazuje, že při přibližování výboje k zemi v oblasti A, bude přitahován k zemnímu lanu Z. Při šíření v oblasti C, bude přitahován k povrchu země. Zóna B je nechráněný prostor, ve kterém bude blesk přitahován k fázovému vodiči L. Nechráněný prostor B se zmenšuje s rostoucím proudem bleskového výboje. Velikost prostoru B lze také zmenšit zvolením menšího ochranného úhlu nebo instalací dvou zemních lan.



Obr. 6 Konstrukce ochranných prostorů vedení se zemním lanem[4]

Při navrhování vedení s použitím zemních lan, je rozumné brát v potaz několik kritérií. Je třeba uvážit četnost výskytu bouřek v té dané oblasti, kde vedení navrhujeme. Ve většině případů je totiž zcela dostatečné instalovat zemní lana pouze několik kilometrů od rozvodu. Takovýmto lanům se říká výběhová lana. Těmito výběhovými lany se zajistí ochrana rozvodu při úderu blesku blízkého rozvodně. Při vzdálenějších úderech do nechráněného vedení je možné se spolehnout na aspekty snižující atmosférické přepětí (vliv odporu vedení, korona atd.) I přesto, že zemní lano zabraňuje přímému úderu blesku do vedení, nedokáže zabránit vzniku přepětí ve fázových vodičích vlivem indukce napěťových a proudových vln v zemním laně. Používání zemních lan tedy musí být chápáno jako základní opatření ochrany před atmosférickým přepětím působícím na ES. Vždy je nutné tuto ochranu kombinovat s dalšími ochranami. [2] [4] [11]

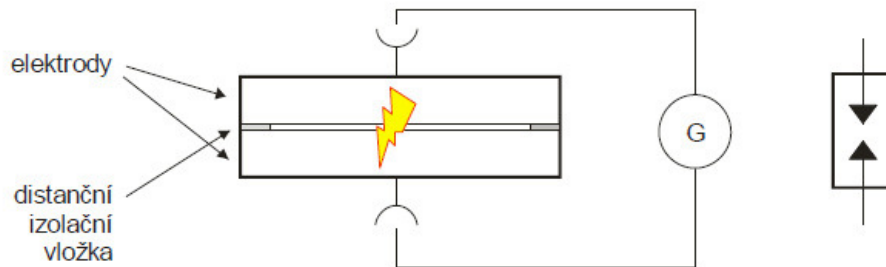
## 2.2 Koordinační jiskřiště

Koordinační jiskřiště je nejjednodušším svodičem přepětí. Svodiče přepětí se připojují k chráněným zařízením paralelně a mají za úkol zajistit, aby na těchto chráněných zařízeních nevzniklo napětí vyšší hodnoty než dovolené. Svodiče přepětí se vyskytují v různých konstrukcích s různými vlastnostmi, avšak jejich společným principem je změna impedance s rostoucím napětím.

Koordinační jiskřiště jsou nejjednoduššími přepět'ovými ochranami. Mění svoji impedanci zapálením elektrického výboje mezi elektrodami jiskřiště. Při napětí nižším, než je



napětí zapalovací, má jiskřiště impedanci danou svodem, který je vlastně zanedbatelný. Nevýhodou ochranného jiskřiště je, že má malou impedanci i po odeznění přepětí, protože oblouk mezi elektrodami je dále udržován jmenovitým napětím sítě. K uhašení oblouku mezi elektrodami je nutné danou část sítě vypnout. [11]



Obr. 7 Model koordinačního jiskřiště [5]

### 2.3 Koordinace izolace

Koordinace izolace popisuje volbu elektrické pevnosti zařízení ve vztahu k napětím, jež se mohou vyskytovat v síti, ve které je zařízení nainstalováno a s přihlédnutím k charakteristikám napěťových ochran, které jsou k dispozici. Cílem je zmenšit z hlediska ekonomického a provozního míru pravděpodobnosti, že výsledná namáhání zařízení napětím poškodí jejich izolaci nebo ovlivní provoz. Vychází se ze statického charakteru přepětí a z výpočtů četnosti výskytu parametrů přepětí vzhledem k izolačním hladinám zařízení. Hodnoty nejvyšších přepětí jsou uvedeny v ČSN 33 2000-4-443.

Elektrická pevnost daného zařízení se volí podle provozních podmínek vzhledem k napěťovým namáháním, kterým může být zařízení zatěžováno. [12]

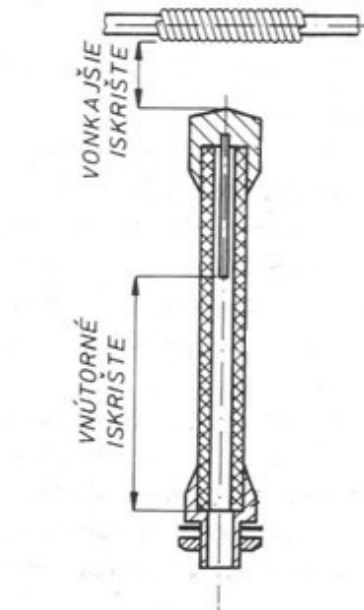
Provozní podmínky jsou:

- Atmosférická přepětí
- Dočasná přepětí
- Spínací přepětí
- Střídavá napětí za normálních podmínek s průmyslovým kmitočtem

## 2.4 Bleskojistky

### 2.4.1 Vyfukovací bleskojistky

Vyfukovací bleskojistka, nebo také Torokova trubice se skládá ze dvou do série zapojených jiskřišť. Vnější plní funkci odpojovače a druhé, umístěné v trubce z plynotvorného materiálu, zajišťuje zhášení elektrického oblouku. Odstraňuje nevýhodu ochranných jiskřišť. Po zapálení přeruší hořící oblouk expanzí plynů vyvolanou hořením oblouku na jiskřišti, které je umístěno v trubici a zapojeno v sérii se zapalovacím jiskřištěm. Tento postup zhášení oblouku zapříčiňuje velkou závislost mezi strmostí zotaveného napětí a velikostí proudu procházejícího bleskojistkou. Dále souvisí s krátkou životností bleskojistky z důvodu degradace plynotvorné látky. Vyfukovací bleskojistka vydrží 20 až 30 výbojů a poté je nutné ji vyměnit. V současnosti se již vyfukovací bleskojistky nepoužívají, protože jejich vypínací schopnost vyhovuje pouze v určitém intervalu proudu. [11]



Obr. 8 Vyfukovací bleskojistka [25]

### 2.4.2 Růžkové bleskojistky

Růžková bleskojistka je vůbec nejjednodušší. Tvořena je dvěma kovovými růžky tvarovaných do písmena V, které jsou uchyceny na podpěrných izolátorech. Jeden z dané dvojice je připojen k vedení a druhý je uzemněný.

Po zapálení oblouku je zhášení zajištěno prodlužováním oblouku na růžcích, které se oddalují. Oddalování vyplývá z elektrodynamických sil a teplotního vztlaku. Nevýhodou růžkových bleskojistek je závislost elektrické pevnosti na počasí a nízká vypínací schopnost.

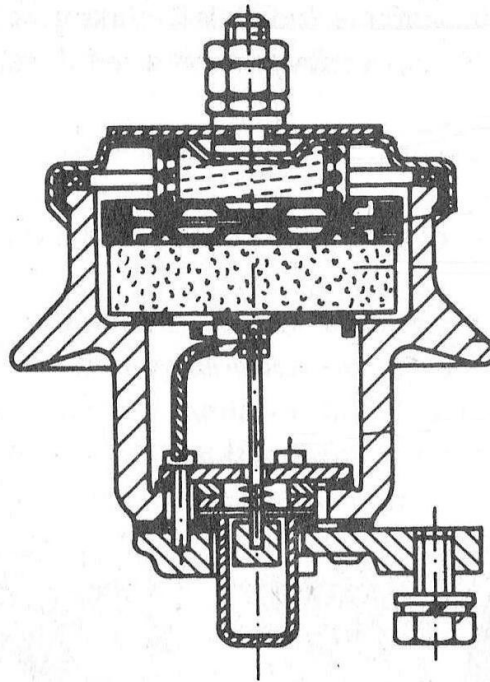
Z tohoto důvodu se využívají na málo významných vedeních, nebo jako ochrana záložní s použitím dokonalejšího svodiče přepětí. [2]



Obr. 9 Růžková bleskojistka

### 2.4.3 Ventilové bleskojistky

Ventilová bleskojistka je nejpoužívanější z důvodu její nejvyšší spolehlivosti. Skládá se ze sériového jiskřiště a sériového odporu. Jiskřiště se skládá z řady stejných menších jiskřišť zapojených v sérii (za sebou), které jsou uzavřeny v neprodyšném porcelánovém válci, který je naplněný tzv. suchým vzduchem. Tím je jiskřiště chráněno před vzdušnou vlhkostí a tím nemůže změnit zapalovací napětí. Menší jiskřiště se skládají z kovových kotoučků, vzdálených od sebe jen několik desetin milimetru. Jsou vhodně předionizované, aby bleskojistka zapůsobovala co možná nejrychleji. Řazení jiskřišť za sebou vede k velmi účinnému chlazení a deionizaci oblouku, což oboje vede k velmi dobré zhášecí schopnosti jiskřiště. Princip činnosti je následující: při vzniku přepětí na svorkách ventilové bleskojistky dojde k zapálení jiskřišť a odporovými kotoučky prochází proud do země. Čím vyšší je přepětí, tím nižší je odpor kotoučků a tím větší proud prochází do země. Naopak ale musí být procházející proud dostatečně malý, aby došlo k jeho přerušení při průchodu sinusovky proudu nulou. Po přerušení průchodu proudu v jiskřišti dochází k odpojení kotoučků od napětí a tím dojde k přerušení průchodu proudu do země. Napětí, při kterém začíná bleskojistka působit je určeno především vlastnostmi jiskřiště. Zapalovací napětí jiskřiště je značně závislé na strmosti přepětí. Přepětí, kterými může být bleskojistka namáhána, jsou velmi rozdílná a chování bleskojistek je na nich velmi závislé. Napětí, které se může na bleskojistce objevit, závisí z velké míry na impedanci bleskojistky z hlediska úbytku napětí při průchodu proudu a na okamžiku zapálení jiskřiště. [4][11]



Obr. 10 Ventilová bleskojistka [25]

## 2.5 Omezovače přepětí

Díky použití napěťově závislých odporů, většinou kysličníku zinečnatého ZnO, mají omezovače schopnost omezit následný proud po odeznění přepětí. Jejich vlastnost umožnila použití těchto odporů ZnO jako svodičů přepětí bez zapalovacích jiskřišť.

Jako název svodičů této konstrukce se nejčastěji používá omezovač přepětí, nebo také bezjiskřišťové bleskojistky či bleskojistky ZnO. Velikost odporů ze ZnO je závislá nejen na napětí, ale také na teplotě z důvodu toho, že dlouhodobé zvýšení napětí na omezovači způsobí nárůst proudu z důvodu poklesu jeho odporu a tím i zvýšení tepla, které je nutné odvádět. Toho je důsledkem tepelná nestabilita vedoucí v krajních případech až k havárii omezovače. Parametry, podle kterých jsou omezovače voleny a podle kterých jsou popisovány, se odlišují od parametrů, kterými se popisují ventilové bleskojistky. Je možné je rozdělit na parametry, které popisují vlastnosti omezovačů a na parametry, které vyjadřují jejich odolnost proti přetížení. Parametry, podle kterých omezovače navrhujeme, jsou následující:

- Trvalé provozní napětí omezovače  $U_C$
- Jmenovité napětí omezovače  $U_r$

Trvalé provozní napětí omezovače  $U_C$  představuje nejvyšší hodnotu napětí připojeného trvale na svorky omezovače při síťové frekvenci.

Jmenovité napětí omezovače  $U_r$  představuje nejvyšší efektivní hodnotu napětí, na kterou je omezovač konstruován při zachování správné funkce v podmínkách dočasného přepětí za síťové frekvence. Toto napětí je nadefinováno jako napětí, kterému je omezovač vystaven na 10 sekund po předchozím namáhání. Poměr mezi napětími  $U_C$  a  $U_r$  se pohybuje kolem 0,8.

Ve vztahu:

$$I = k * U^\alpha$$

kde  $k$ =konstanta napěťové úrovně svodiče, platí, že exponent  $\alpha$  není konstantní a podle jeho velikosti lze volt-ampérovou charakteristiku omezovače rozdělit na 4 části. První část platí pro proudy do 2mA a exponent  $\alpha$  nabývá hodnoty 4 až 8. Je to oblast trvalého provozního a jmenovitého napětí omezovače. V druhé části nabývá exponent  $\alpha$  hodnoty 15 až 25. Tato část charakteristiky odpovídá oblasti přepětí dočasných. Proudů se pohybují od 2mA do 2A. V třetí části nabývá  $\alpha$  hodnoty 15 až 25, proudy od 2A do 2kA. A v poslední čtvrté části V-A charakteristiky se exponent  $\alpha$  pohybuje v rozmezí od 7 do 10, napětí odpovídá atmosférickým přepětím a proud je od 2kA výše. Charakteristika omezovačů je v každé části měřena různým způsobem. V části, která odpovídá dočasným a provozním přepětím, se měří při střídavém nebo stejnosměrném napětí. Pomocí impulzů proudových nebo napěťových generátorů se měří křivka odpovídající atmosférickým nebo spínacím přepětím. Schopnost omezit přepětí je nejvíce ovlivněna energetickými pochody, ke kterým u svodiče při zapůsobení dochází. Při zapůsobení a svedení napětí se omezovač zahřeje, ale odvod vzniklého tepla je s podstatně delší časovou konstantou než trvá přepětí. Z tohoto důvodu rozhoduje o tom, zda dojde nebo nedojde k havárii omezovače, jeho tepelná kapacita. Při návrhu omezovače se proto uvádí vztah mezi maximální dobou namáhání omezovače a amplitudou dočasného přepětí. Výrobci tento vztah vyjadřují jako:

$$U_d = U_r * (a - b * \log(t))$$

kde  $U_d$  je velikost dočasného přepětí,  $U_r$  jmenovité napětí omezovače,  $a$   $b$  představují konstanty,  $t$  je maximální doba, po kterou omezovač napětí vydrží.

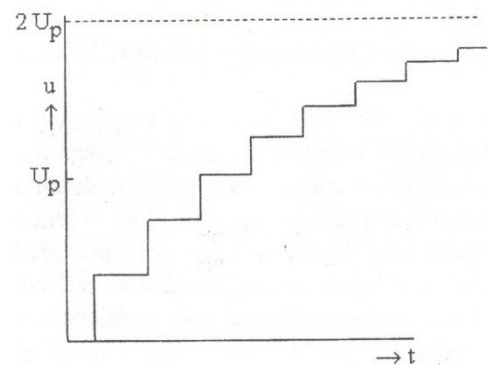
Přepěťová odolnost omezovačů je vyjádřena zařazením do příslušné energetické třídy

se stupnicí 1 až 5. Energetická třída vyjadřuje schopnost omezovače absorpci přepětí jak atmosférických, tak i spínacích. Udává se v jednotkách kJ/kV napětí omezovače a je nezávislá na jmenovitém napětí. Omezovače spadající do třídy 1 vyhovují pro málo exponované venkovní sítě, třída 2 jsou nejběžnější omezovače ve venkovních vedeních vn, třída 3 se používá pro sítě 110-400kV a pro kabelové sítě. Pro 400kV dlouhá vedení se volí třída 4 a třída 5 platí pro extrémně rozsáhlé kabelové sítě a pro sítě 750kV. [2] [3] [11]

## 2.6 Indukčnost a kapacita

Jako ochranu zařízení proti působení přepětí lze využít kapacitu jako prvek, na kterém nemůže dojít ke skokové změně napětí. Když se kapacitní prvek umístí paralelně k chráněnému zařízení, zajistí kapacita snížení strmosti napětí tak, že po určitou dobu spotřebovává přepětíový výkon ke svému vlastnímu nabití na vyšší napětí. Avšak ne v každém případě je kapacita schopna výkon přepětí absorbovat. Proto je možná instalace kapacity všude tam, kde se mohou vyskytovat přepětí pouze o malé energii. Kapacity je výhodné používat k eliminaci rychlých špiček napětí. Je možné ochranu kapacitou použít v kombinaci s bleskojistkami, u kterých se ochranné vlastnosti se zvyšující se strmostí napětí zhoršují. Jako ochranu proti přepětí lze zařadit i funkci kabelů. V případě, kdy má průběh přepětí vlnový charakter, představuje kabel ochranu díky tomu, že jeho vlnová impedance je většinou čtyřikrát až desetkrát menší než v případě venkovního vedení. Činitel prostupu rozhraním (poměr vrcholové hodnoty napětí vlny v kabelu a vlny ve venkovním vedení) je v tomto případě menší než jedna. Avšak impedance připojená na konci kabelu kvůli odrazu způsobí vzrůst napětí a odraz se opět opakuje na začátku kabelu. Výsledkem je, že napětí na impedanci na konci kabelu roste skoky danými odrazy na koncích kabelu. Takový idealizovaný průběh napětí na kabelu pro impuls tvaru jednotkového skoku je uveden na obrázku. Indukčnost snižuje strmost nárůstu napětí na chráněném zařízení a toho je možné využít při společné spolupráci se svodičem přepětí.

Ochranných vlastností indukčnosti a kapacity se nejlépe využije jejich současným použitím. [4]

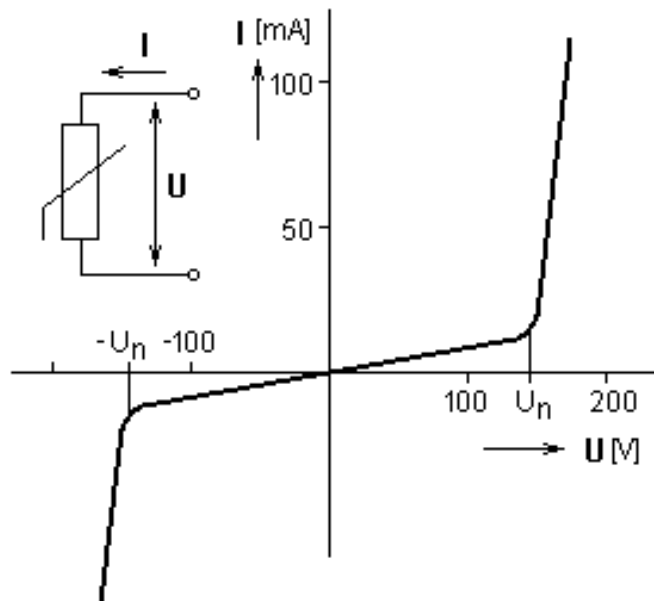


Obr. 11 Idealizovaný průběh napětí[4]

## 2.7 Varistory

Napětově závislý odpor neboli varistor je bezjiskřišťový omezovač přepětí. Průměr rezistorů určených pro přepětí s nízkou energií se pohybuje od 3 do 5 centimetrů a u typů s velkou energií, např. při spínání, okolo 10 centimetrů. Výška varistorů je závislá na hodnotě jmenovitého napětí, u typů pro sítě vn a vvn je většinou 3 centimetry, tj. na jeden centimetr výšky náleží přibližně 1kV jmenovitého napětí-počet sériově zapojených disků závisí na jmenovitém napětí omezovače.

Disky jsou vyrobeny ze směsi prášku složeného z 90% zrnky oxidu zinku (ZnO) a různého množství příměsí kysličníků. Na protilehlých stranách jsou opatřeny přívodními elektrodami. Podle čistoty kysličníků se určují provozní vlastnosti. Směs kysličníků se lisuje a následně spéká při teplotě 1200°C. Ve výsledných blocích jsou následně zrna ZnO oddělena vrstvou z oxidů s vysokým odporem při jmenovitém napětí o tloušťce 0,1 $\mu$ m. Varistory se vyznačují především svojí nelineární voltampérovou charakteristikou.[5] [21]



Obr. 12 V-A charakteristika varistoru [5]

Nelinearita V-A charakteristiky je dána především vlastnostmi polovodiče ZnO. Čím je kvalitnější, tím větší je jeho nelinearita a tím se stává charakteristika plošší a blok plní svoji funkci nelinearity lépe. Omezovače přepětí určené pro větší energetické třídy mají křivku plošší než omezovače třídy nižší. Vlastnosti specifické pro varistory jsou dány sérioparalelním zapojením množství mikrovaristorů. V závislosti na přiloženém napětí se

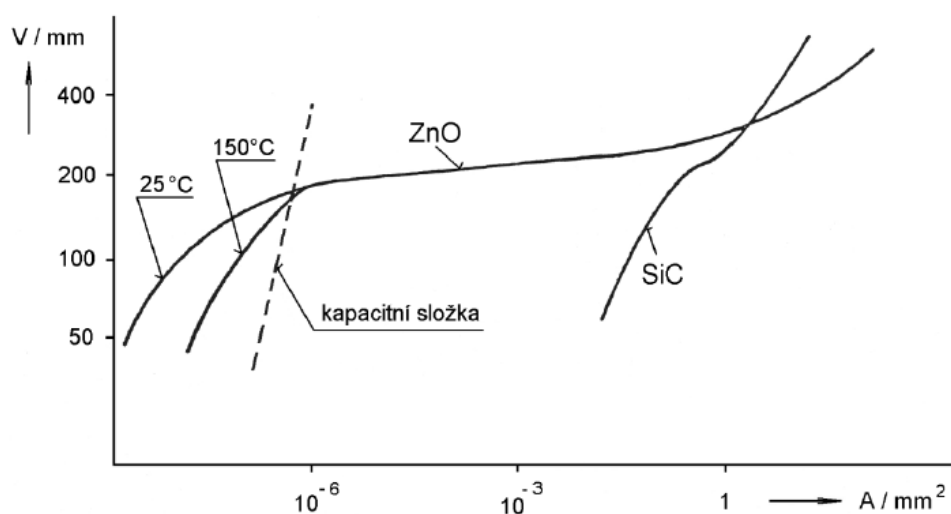
mění elektrický odpor na přechodech mezi nimi. Pro přenos velkých energetických zátěží se používá tvar destičky ve tvaru čtverce s měděnými pájenými deskami zajišťujících rovnoměrné rozložení impulsu proudu.

Ochranná zařízení s varistory tedy působí na principu změny svého odporu v závislosti na velikosti napětí. Jejich odpor je značně velký pro malá napětí ale s rostoucím napětím se odpor snižuje. Ve voltampérové charakteristice dochází k značnému ohybu charakteristiky. Při poklesu napětí na svorkách dojde opět k nárůstu odporu varistoru a snížení procházejícího proudu. Tuto závislost lze popsat vztahem:

$$I = k * U^{\alpha}$$

Kde  $k$  je lineární činitel tvaru křivky a  $\alpha$  činitel nelinearity. U dnešních varistorů se hodnota činitele nelinearity pohybuje v rozmezí 25 až 40 pro ZnO.

Výhodou bloků z oxidu zinku ZnO je, že proud začne protékat v čase několika ns, protože reagují na změnu napětí téměř okamžitě. Varistorové ochrany nevyvolávají žádné proudy z elektrické sítě, protože se vyznačují spojitou odezvou na napěťový impuls. Nevýhodou však je, že nezkracují dobu přepětíové vlny a ve srovnání s ochranami s jiskřišti mají menší schopnost svodu bleskových proudů. V porovnání s bleskojistkou je rázová charakteristika mnohem plošší, protože mají menší nárůst vyššího napětí.



Obr. 13 Porovnání V-A charakteristik bloku SiC a ZnO [21]



V případech, kdy často dochází ke svodu přepět'ových impulsů o větší energii, může u varistorů docházet k destruktivním změnám jejich vnitřní struktury a tím k nárůstu odporu proudové dráhy a v důsledku toho k zvýšení tepelných ztrát v ochranném prvku. [5] [20]

### 3. Ochrana sítí vvn

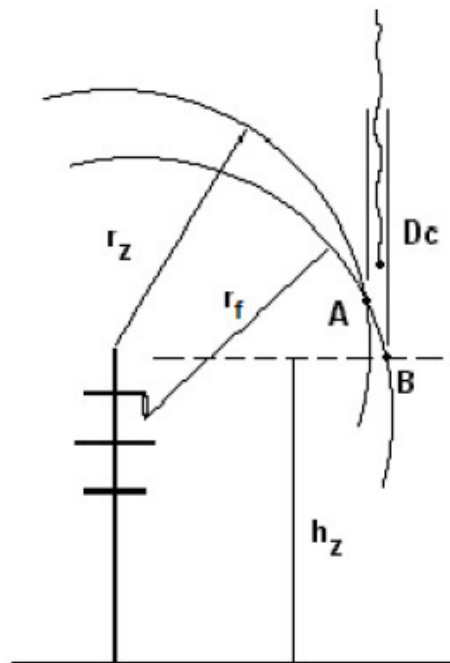
U elektroenergetických sítí vvn se z ekonomického hlediska chrání pouze proti atmosférickému přepětí. Spínací přepětí tu dosahuje mnohem nižších hodnot. Atmosférické přepětí může na vedení nastat buď po přímém úderu blesku do vedení, nebo indukci při úderu nepřímém v blízkosti vedení. Ochranná opatření mají za úkol snižovat následky působení atmosférických přepětí, která mají ve většině případů za následek zhoršení kvality dodávaného napětí, výpadky dodávky nebo poškození zařízení sítě vvn. [14]

#### 3.1 Ochrana zemním lanem

Vodiče venkovního vedení s vodivými konzolami na železobetonových nebo ocelových stožárech se chrání jedním nebo několika zemními lany. Ve většině případů postačuje pro vedení jednoduché zemní lano AlFe s minimálním průřezem 50mm<sup>2</sup>. Ochranný úhel zemního lana může být dle normy ČSN EN 38 0810 maximálně 30°.

Při přechodu venkovního vedení do zemního kabelového vedení by měla poslední dvě rozpětí před přechodovým stožárem být vybavena dvěma zemními lany, která by měla od sebe být vzdálena v nejlepším případě stejně jako fázové vodiče. To platí i v takovém případě, kdy se geometrie vodičů mění z důvodu přechodu na koncový stožár jiného typu, než použitého na vedení. V případě vedení vvn, vybavených jedním nebo dvěma zemními lany, většina blesků udeří právě do zemního lana nebo do konstrukce stožáru. Pouze malá část bleskových výbojů udeří přímo do fázových vodičů, tzv. přímým úderem (PÚ).

Přímý úder bleskového výboje do fázového vodiče vyjadřuje poruchu ve stínění zemním lanem. Pro zhodnocení stínícího účinku se používá elektrogeometrický model EGM, který je založený na předpokladu, že postupující blesk v určité vzdálenosti, označené  $r$ , od vedení doskočí právě na ten objekt, který je v ten daný okamžik v nejmenší vzdálenosti od čela lidru.



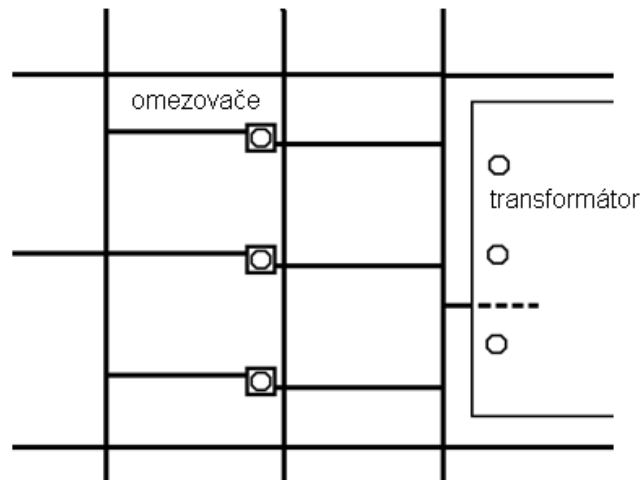
Obr. 14 Elektrogeometrický model EGM [21]

Doskoková vzdálenost  $r$  k objektu je přímo úměrná hustotě náboje lídru. A protože hustotě náboje lídru je úměrný proud bleskového výboje, lze mezi velikostí proudu a doskokovou vzdáleností napsat vztah  $r = A * I * b$ , kde  $A$ ,  $b$  jsou konstanty závislé na tvaru objektu a  $I$  je vrcholová hodnota bleskového proudu. Z uvedeného vztahu vyplývá, že čím je větší proud  $I$ , tím má  $r$  větší hodnotu. Pomocí elektrogeometrického modelu EGM se hledá prostor bodů vzdálených  $r$ , ze kterých může blesk doskočit na fázový vodič. Na obrázku jsou pro konfiguraci vodičů na stožáru typu soudek nakresleny dvě kružnice. Jedna se středem v ose zemního lana a druhá se středem v ose fázového vodiče. Poloměry  $r_z$  a  $r_f$  a délka roviny od země  $h_z$  jsou závislé na velikosti výbojového proudu. Pro určitou hodnotu bleskového proudu  $I_{pm}$  tyto prostory úplně zmizí. Pro běžně se vyskytující geometrie vodičů je hodnota proudu  $I_{pm}$  5 až 14kA avšak pro výpočty přepětí se běžně používají nižší hodnoty od 3 do 10kA.[15][16]

### 3.2 Omezovače přepětí

Omezovače přepětí se uzemňují pokud možno co nejkratším způsobem na mřížovou síť elektrické stanice. Při uzemňování se využívá kovových konstrukčních prvků z trubek, z profilů, nebo příhradové, které jsou napříč rozměrnější a mají tedy menší indukčnost než

uzemňovací pásy. K mřížové síti musí být omezovače připojeny minimálně dvěma pásy v protilehlých rozích. Platí, že mezi chráněným zařízením (v našem případě transformátor) a omezovačem musí vést přímé paprsky uzemňovací sítě. V případě, že je uzemňovací síť řidší, je nutné ji takzvaně zahustit.

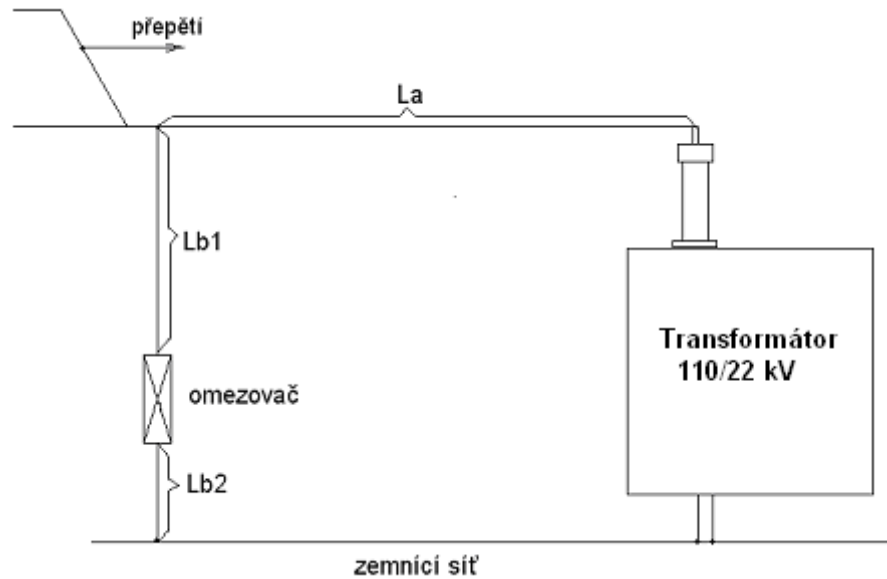


Obr. 15 Uzemnění omezovačů na mřížovou síť [21]

Na přepětí na transformátoru mají vliv průřezy a délky vodičů  $L_a$   $L_b$

- $L_a$  – délka vodičového propojení s provozním proudem
- $L_b$  – délka vodičového propojení s bleskovým proudem

Dále má velký vliv na přepětí transformátoru délka a průřez vodiče  $L_b$ . Je žádoucí tuto délku minimalizovat. Optimální délka vodiče je od jednoho do nejvíce dvou metrů.



Obr. 16 Připojení omezovačů [21]

Provozní vodič  $L_a$  by měl být také co nejkratší. Z výpočtů platí, že pro vodič s provozním proudem délky  $L_a \leq 10\text{m}$  a vodič  $L_b = 1\text{m}$  nemůže dojít při blízkém úderu blesku do vedení k překročení izolační hladiny transformátoru. Limitním kritériem délek vodičů  $L_a$ ,  $L_b$  pro ochranu před nebezpečným přepětím od úderů do vedení a do stanice pro transformátor je vztah:

$$L_a + 3 * (L_{b1} + L_{b2}) \leq 30\text{m}$$

To znamená, že pro délku  $L_b = 1\text{m}$ , musí být délka vodiče  $L_a \leq 27\text{m}$ .  $L_a$  je maximální délka vodiče mezi transformátorem a omezovačem. [15] [21]

## 4. Ochrana sítí vn

Přepětí šířící se po vedení vznikne buďto indukci při nepřímém úderu, nebo přímým úderem do vedení. Z hlediska parametrů, důležitých pro návrh přepět'ových ochran, jsou napětí z přímých úderů a napětí indukovaná zcela rozdílná.[14] [17]

### 4.1 Koordinace izolace

Je to proces, kdy se volí izolační hladiny zařízení v síti vn a volby ochran. Je založen na tom, že známe charakteristiky přepětí v síti a výdržné charakteristiky izolace zařízení. Výsledkem je vyváženost ve sledované části soustavy při dosažení minimálních nákladů na opatření a přiměřená poruchovost a výpadkovost zařízení. [5]

#### 4.1.1 Snížení poruchovosti

Snížení poruchovosti lze dosáhnout vhodnými opatřeními pro snížení velikosti přepětí a jeho četnosti.

Jednou z možností je použití zemních lan, uzemnění stožárů, omezovačů avšak v celé síti, což je velmi nákladné a ne zcela dokonalé řešení pro omezení výpadků sítě.

Další možností volby je kombinace ochranných opatření a omezovačů přepětí. To je velmi účinný způsob lokální ochrany zařízení pro zajištění malé poruchovosti.

Poslední volbou je zvýšení izolační hladiny zařízení. Tato metoda je nejnákladnější a zároveň málo účinná, neboť se projevuje jen malým snížením poruchovosti. [14]

### 4.2 Přepětí přímým úderem do vedení

Charakteristika atmosférického přepětí na vedení se liší podle toho, zda se vedení nachází na dřevěných sloupech s nebo bez uzemněných konzol. Betonové sloupy s armaturou se z hlediska bleskových proudů považují za vodivé. [5]

#### 4.2.1 Sloupy s uzemněnými konzolami

Při zásahu vedení se sloupy s uzemněnými konzolami způsobí úder blesku vždy přeskok mezi fází a zemí a i přeskok mezi fázemi. Velikost přepětí na fázových vodičích příliš nezávisí na místě, kde blesk udeřil. Přeskoky přepětí k zemi sniží jeho úroveň z řádu megavoltů na stovky kilovoltů. Po zasažení se po vedení začne šířit řada strmých impulsů.

Za ní pokračuje vlna pomalejší, vzniklá vzrůstem potenciálu na uzemnění v místě úderu. [5]

#### **4.2.2 Sloupy bez uzemněných konzol**

Dřevěné sloupy bez uzemnění mají vůči zemi velmi vysokou izolační schopnost, řádově 3 až 4MV. Izolační schopnost zpřičňuje, že při úderu blesku dokáže vedení přenést přepětí na velkou vzdálenost bez významného snížení přepět'ové energie. Přepětí proto může způsobit značné škody na koncovém zařízení i na velké vzdálenosti. Izolační pevnost vůči zemi přitom neznamená snížení výpadků elektrické energie, protože při zásahu dojde k přeskoku mezi fázemi a následnému zkratu. [5]

#### **4.3 Indukovaná přepětí**

Při úderu blesku do země či do konstrukce v blízkosti vedení, se do vedení indukuje přepětí, které může snadno překročit izolační hladinu koncových zařízení. Přepětí indukovaná do vodičů jsou přibližně ve všech fázích stejná s opačnou polaritou vůči proudu blesku. Polarita indukovaného napětí je ve většině případů kladná, protože blesk má polaritu proudu zápornou. Přepětí vzniklá indukci mají menší velikost než přepětí způsobená přímým zásahem blesku. Pro koncová zařízení chráněná omezovači nejsou nebezpečná, ale i tak způsobují výpadky a zhoršují kvalitu dodávané energie. [14]

#### **4.4 Dimenzování omezovačů přepětí**

Omezovače přepětí se dimenzují podle konkrétního umístění v síti, to znamená, jestli budou chránit např. vývod vedení, přechod vedení do kabelu či transformátor. V každém případě umístění mají specifické podmínky na ochranu a namáhání přepětím. [17]

##### **4.4.1 Volba provozního napětí $U_c$ omezovačů**

Provozní napětí, voltampérová charakteristika a všechny napět'ové parametry omezovače jsou závislé na výšce sloupce bloků. Naopak volbou provozního napětí  $U_c$  se nastaví veškeré napět'ové parametry. Nesprávná volba napětí  $U_c$  může mít značně negativní vliv na funkci omezovače.

Při zvolení nízkého napětí  $U_c$  bude ochranná hladina a riziko poruchy chráněného zařízení nízké, ale vznikne riziko tepelného namáhání a pravděpodobnost poruchy omezovače

bude vysoká.

Při zvolení vysoké hladiny napětí  $U_c$ , bude ochranná hladina  $U_p$  znamenat zvýšenou pravděpodobnost poškození chráněných zařízení, avšak riziko poruchy omezovače bude bezvýznamné.

Parametry ochran je možné zlepšit připojováním ochran co nejbližší k chráněnému zařízení a jako druhá možnost výběr omezovačů s plošší voltampérovou charakteristikou.

Pro provozní hladinu napětí omezovače a jmenovitého napětí  $U_r$  je rozhodující tepelné namáhání omezovače při dočasných přepětích a nestandardních provozních stavech. Při volbě se nejprve zjišťuje jak hodně a jak dlouho bude působit dočasné přepětí, tj. jak dlouho bude omezovač tepelně namáhán. Zvolí se nejhorší kombinace, která se může vyskytnout současně, nebo v krátkém intervalu. Účinky tepla dočasného přepětí jsou úměrné součinu proudu, napětí a času působení. Proud tekoucí omezovačem je úměrný padesáté první mocnině napětí. Pro každou složku přepětí se vypočítá tepelný účinek, ty se sečtou a pro celkový tepelný účinek se spočte napětí, které by toto napětí vyvolalo za dobu 10s. V technické dokumentaci omezovačů se udává právě toto napětí  $U_{10s}$  číselně, nebo grafem. [17] [21]

#### 4.4.2 Volba energetické třídy

Omezovače přepětí jsou podle velikosti přípustné energie přepětí rozděleny do pěti tříd. Čím vyšší třída je, tím vyšší má omezovač energetickou kapacitu. Energie, kterou musí omezovač při přepětí absorbovat, roste s napětím sítě, ve které je použit. Napětí roste pomaleji než energie. Omezovače v sítích s vyšším napětím musí mít větší energetickou kapacitu než omezovače v sítích s nižším napětím.

Volba energetické třídy a jmenovitého proudu výboje je založena na četnosti překročení energetické kapacity v dané aplikaci. Parametry se stanovují podle vyhodnocení důležitosti provozu bez poruch daného zařízení podle různých hledisek (hodnota chráněného zařízení, náklady na opravu, doba odstávky atd.). Na základě výpočtů a provozních zkušeností z typických aplikací s přihlédnutím k důležitosti bezporuchového provozu daných typů zařízení byly stanoveny třídy a jmenovité proudy pro různé aplikace omezovačů. [17]



Arrester Type	Line discharge class	Energy capability (2 impulses) kJ/kV ( $U_T$ )	Normal application range ( $U_M$ )
EXLIM R	2	5.0	$\leq 170$ kV
PEXLIM R	2	5.1	$\leq 170$ kV
EXLIM Q	3	7.8	170 - 420 kV
PEXLIM Q	3	7.8	170 - 420 kV
EXLIM P	4	10.8	362 - 550 kV
PEXLIM P	4	12	362 - 550 kV
HS PEXLIM P	4	10.5	362 - 550 kV
EXLIM T	5	15.4	420 - 800 kV
HS PEXLIM T	5	15.4	420 - 800 kV

Tab. 1 Parametry omezovačů přepětí ABB [26]

## 4.5 Umístování a připojování omezovačů

Omezovače omezují přepětí na ochrannou hladinu omezovače  $U_p$ . Ochranná hladina omezovače  $U_p$  je napětí na svorkách při daném tvaru a vrcholové hodnotě procházejícího proudu. Některé hodnoty napětí charakterizující ochranou hladinu omezovače můžeme vyčíst z katalogových údajů výrobců. Jedná se o tzv. zbytková napětí omezovače  $U_{res}$  pro různé tvary a velikosti impulsních proudů. [21]

### 4.5.1 Pravidla pro připojení omezovačů

Pro připojení omezovačů platí 4 pravidla:

- Omezovač přepětí společně s chráněným zařízením musí být uzemněn na společný systém uzemnění, přičemž galvanické propojení mezi svorkami musí být co nejkratší
- Celková délka vodičů  $L_a$  a  $L_b$  musí být co nejkratší
- Při připojování je vhodné používat vodiče páskové, protože mají při stejném průřezu menší indukčnost s menšími přepětíovými úbytky než vodiče s průřezem kruhovým
- Doporučuje se, aby vodič  $L_b$  byl vždy kratší než vodič  $L_a$

## 4.6 Přídavná ochranná opatření

Tato opatření napomáhají k větší vyváženosti systému při použití ochrany proti přepětí omezovači přepětí. K takovým přídavným zařízením můžeme zařadit uzemnění stožárů, výběhová lana, nebo sdružená zaústění vedení. [17]

### 4.6.1 Uzemnění stožárů před elektrickou stanicí

Při úderu blesku do vedení je přepětí přicházející na chráněné zařízení složeno ze špiček s malou energií a pomalejších vln s energií velkou. Vrcholové hodnoty energie a přepětí této vlny jsou úměrné odporu uzemnění nejbližších stožárů. Právě tuto energii musí z velké části absorbovat omezovač, který chrání dané zařízení. Proto by měl být odpor stožáru právě před chráněným zařízením co nejnižší. Vedení, které je neseno dřevěnými sloupy, má izolační pevnost proti zemi fázových vodičů 3 až 4 MV. V tom případě je schopno po přímém úderu blesku přenést veškerou energii na chráněné i chránící zařízení. Proto je nutné, aby alespoň jeden sloup v blízkosti před chráněným zařízením byl opatřen uzemňujícím páskem z důvodu svedení hlavní části energie do země.

### 4.6.2 Zemní lana

Zemní lana slouží k snížení vrcholové hodnoty přepětí až o 20% a energii přicházející přepětíové vlny o 30 až 50%. Nevýhodou zemních lan je přispění k zvýšení potenciálu chráněného zařízení, což se může nepříznivě projevit přenosem přepětí až do sítě nn. Výběhová lana nejsou tudíž obecně považována za opatření pro snížení přepětí. [15]

### 4.6.3 Sdružené zaústění vedení

Dalším účinným opatřením k snížení hodnoty přepětí je sdružené zaústění vedení do rozvodny. V případě, kdy do rozvodny zaústí více vedení, je výhodné pro snížení přepětí řešit poslední stožáry před rozvodnou jako integrované portály se společnými příčnými nosníky vodičů s vhodným počtem zemních lan. Tím je dáno vzniku kovové struktury s nízkou impedancí a nízkým odporem uzemnění. Při úderu blesku, ať už přímém či nepřímém, dojde k rychlému poklesu hodnoty přepětí a to i díky přeskoku na jiných portálech. Tím se na omezovače přepětí dostane přepětí s již malou energií. [14]

## 5. Ochrana sítí nn

Venkovní distribuční sítě nízkého napětí se chrání především proti účinkům atmosférického přepětí. Přepětí spínací dosahují v nn sítích podstatně nižších úrovní proudu a napětí a není nutné proti nim koncová zařízení chránit.

U kabelových vedení bez připojených venkovních vedení jsou největší hodnoty přepětí způsobené spínáním nebo zkratem. Dočasná přepětí s frekvencí 50Hz namáhají chráněná zařízení mnohem méně, než svodiče přepětí.

Úkolem použitých ochranných opatření je chránit všechna zařízení proti poškození či dokonce zničení atmosférickým přepětím a zároveň snížením přepětí v síti zajistit ochranu elektrické instalace odběratele.

Ochranná opatření snižují nepříznivé účinky atmosférických přepětí, která se mohou projevit:

- Kvalitativním zhoršením dodávané energie
- Zkrácením životnosti či dokonce zničením zařízení
- Výpadky dodávky elektrické energie

Blesky se vyznačují statickým charakterem. Úder blesku má v letních měsících zápornou polaritu a skládá se z prvního a následujících úderů. V zimních měsících při sněhových bouřích převažují údery s kladnou polaritou.

Atmosférická přepětí, která se šíří po vedení, mohou vzniknout buďto přímým úderem do vedení či indukovaním při nepřímém úderu. Přepětí přímá a přepětí indukovaná jsou z hlediska parametrů pro přepětěvé ochrany zcela odlišná.

### 5.2 Přepětí přímým úderem do vedení

Charakteristika atmosférického přepětí se liší podle toho, zda je vedení neseno uzemněnými konzolami, nebo bez uzemněných konzol na dřevěných sloupech. Betonové sloupy s kovovou armaturou se považují za vodivé.

### 5.2.1 Sloupy s uzemněnými konzolami

Po úderu bleskového výboje do fázového vodiče, nebo do konstrukce stožáru elektrického vedení s uzemněnými konzolami způsobí blesk přeskoky jak mezi vedením a zemí, tak zpravidla i mezi fázemi. Po úderu příliš nezávisí na tom, do čeho blesk udeřil, protože velikost přepětí bude vždy podobná. Po vedení se začne šířit série strmých impulzů následovaná přepětíovou vlnou vzniklou vzrůstem potenciálu uzemnění v místě zásahu blesku.

### 5.2.2 Sloupy bez uzemněných konzol

Sloupy dřevěné s absencí uzemnění konzol mají velmi vysokou izolační pevnost, cca 3 až 4 MV. Tato izolační pevnost způsobuje schopnost vedení, při úderu do fázových vodičů, přenést přepětí v řádech tisíců kilovolt na velmi dlouhé vzdálenosti bez významného snížení energie. To může způsobovat velké škody na zařízení i na značné vzdálenosti. Přitom ve srovnání s vedením s uzemněnými konzolami nemá vedení s izolovanými konzolami žádné výhody, např. nižší výpadkovost.

## 5.3 Indukovaná přepětí

Po úderu blesku v blízkosti vedení se ve vedení indukuje přepětí, které může překročit izolační hladinu instalovaných zařízení. Hodnoty indukovaného přepětí jsou ve všech vodičích přibližně stejné, ale s opačnou polaritou než jakou měl úder blesku. Polarita indukovaného přepětí je většinou kladná, protože z 90% je bleskový proud záporný. V porovnání s přepětím od přímého úderu mají indukovaná přepětí menší energii i velikost, jsou tudíž i méně nebezpečná pro zařízení chráněná svodiči přepětí, ale i tak snižují parametry kvality i plynulost dodávky elektrické energie. [12] [17]

## 6. Optimalizace použití jednotlivých druhů ochran pro specifické podmínky

Venkovní distribuční sítě byly vždy ohrožovány přepětovými vlivy, zejména atmosférickými, které narušují spolehlivost provozu těchto sítí. Proti těmto negativním účinkům se používají ochranná zařízení, která za dobu jejich používání prošla postupným zdokonalováním od nejjednoduššího ochranného jiskřiště po dnešní omezovače přepětí ZnO.

### 6.1 Vývoj přepětových ochran

Zpočátku se používala ochranná jiskřiště, ale jejich nevýhodou byl příliš velký rozptyl zapalovacích napětí, a protože po zapůsobení vytvářely zkrat, nebo zemní spojení, bylo nutné vzniklý oblouk vypnout.

Nedostatky ochranných jiskřišť odstranilo zavedení vyfukovacích bleskojistek. Technicky se jedná o svodič složený z jiskřiště uzavřeného do trubice, ve které elektrický oblouk rozkládá izolační materiál za vzniku plynů, které zhasí elektrický oblouk. Nevýhoda tohoto typu svodiče je krátká životnost a vysoká ochranná hladina. Vyfukovací bleskojistky byly nahrazeny bleskojistkami ventilovými. Tyto bleskojistky se skládají z odporových bloků karbidu křemíku a s nimi sériově zapojených jiskřišť, ve kterých se zhasel protékající proud při průchodu nulou. Ventilové bleskojistky při zapůsobení nezpůsobují zkrat v síti, sami zhasí následný proud a mají přijatelnou zapalovací charakteristiku. Svodiče přepětí dnešního typu se začaly vyvíjet koncem sedmdesátých let minulého století. Byla objevena odporová hmota, jejíž napětěová závislost byla mnohonásobně větší. Základní složkou jí byl oxid zinečnatý ZnO. U omezovačů s tímto materiálem nejsou zapotřebí jiskřiště, která jsou velkou slabostí bleskojistek, protože díky nelinearitě závislosti napětí proud dosahuje takové hodnoty, že při jisté hodnotě napětí je proud tak malý, že může protékat bloky trvale, aniž by se zahřívaly.

Omezovače přepětí postupně nahrazují vyfukovací i ventilové bleskojistky a stávají se hlavní používanou přepětovou ochranou. Například při chránění transformátorů, nebo rozvoden, se dříve používané bleskojistky v současnosti nahrazují omezovači ZnO. [14] [22]

## 6.2 Přepět'ová ochrana v domovní síti nn

Omezení přepětí svodiči bleskových proudů (varistory, jiskřiště) a přepětí se standardně provádí ve třech stupních. Na jakou úroveň musí každý stupeň přepětí snížit, definuje norma ČSN EN 60664-1. [18]

### 6.2.1 Stupně ochran

- **Typ 1 – hrubá ochrana:** Svodiče přepětí tohoto typu zachytí největší část přepět'ové vlny a mají schopnost svádět bleskové proudy bez poškození. Podle elektrotechnických norem IEC 61312 a IEC 61024-1 je možné odvodit, že při dvou vodičovém silovém přívodu musí v nejméně příznivém případě svést impulzní proud, o tvaru vlny 10/350 $\mu$ s, 50kA/pól a v případě čtyřvodičového systému 25kA/pól. Toho dosahují tím, že jsou konstruovány jako jiskřiště.

Svodiče typu T1 se instalují do hlavního rozvaděče na DIN lištu.

- **Typ 2 – střední ochrana:** Tuto ochranu zajišťují svodiče konstruované na bázi varistorů svádějících atmosférická či spínací přepětí, vyskytující se v síti, s tvarem vlny 8/20 $\mu$ s. Za jistých podmínek mohou být instalovány i do hlavního rozvaděče bez ochrany stupně 1. V převážné většině případů se instalují za svodiče bleskových proudů, které omezují energii přepět'ové vlny a přepětí. V případě, že se v síti vyskytují častá, nebo energeticky bohatá přepětí, může se svodič odpojit pomocí odpojovacího zařízení. Svodiče přepětí jsou totiž dimenzovány na určitý tepelný výkon. Po odpojení se stávají nefunkčními a je nezbytně nutné je vyměnit. Odpojení signalizují například opticky. Svodiče typu 2 se instalují buď na DIN lištu podružného rozvaděče, do hlavního rozvaděče společně se svodičem bleskových proudů, nebo při odpovídajících podmínkách do hlavního rozvaděče.
- **Typ 3 – jemná ochrana:** Pro dosažení vysoce spolehlivé ochrany proti přepět'ovým vlivům, je třeba, aby stupně 1 a 2 doplnil ještě typ 3, tzv. jemná ochrana. Prvky jemné ochrany jsou varistory a supresorové diody, které jsou schopné svést přepětí o tvaru vlny 8/20 $\mu$ s. Ochrany typu 3 se instalují přímo před chráněným spotřebičem s co nejkratším propojovacím vodičem. V případě delšího vodiče hrozí nebezpečí indukce napětí a jeho zvýšení nad

přijatelnou úroveň.

Instalace jemné ochrany se realizuje buď montáží na lištu DIN, nebo do elektroinstalační krabice, případně kanálu. V případě kdy by byla délka vedení mezi ochranami T2 a T3 kratší jak 5 metrů, není nutné T3 použít.[18]

## 6.2.2 Volba počtu stupňů a typů ochran

První a jedno z hlavních kritérií při návrhu ochrany proti přepět'ovým vlivům. Z tabulky se nejprve najde realitě odpovídající ohrožení objektu a poté se stanoví odpovídající citlivost instalovaných spotřebičů uvnitř objektu na přepětí. Poté se průsečíkem zjistí počet ochranných stupňů a typ ochran.

	OHROŽENÍ OBJEKTU		
	VELKÉ	STŘEDNÍ	MALÉ
	- elektrárny, nemocnice, průmyslové objekty, veřejné budovy s velkým počtem návštěvníků apod.	- jednotlivé bytové jednotky, rodinné domy v husté zástavbě apod.	- jednotlivé bytové jednotky, rodinné domy v husté zástavbě apod.
	<b>nebo</b>	<b>a zároveň</b>	<b>a zároveň</b>
	- objekty v horských oblastech, volně stojící budovy, budovy v blízkosti vedení VN a VVN apod.	- objekty v hustší zástavbě srovnatelné či nepřevyšující ostatní budovy	- objekty v husté zástavbě obklopené mnoha vyššími objekty
	<b>nebo</b>	<b>a zároveň</b>	<b>a zároveň</b>
	- objekty s vnější ochranou před bleskem (hromosvod), s venkovním napájecím přívodem, s uzemněnou střešní nástavbou (anténa) apod.	- objekty s přípojkou krátkým vrchním vedením z napájecího transformátoru (desítky metrů)	- objekty v husté zástavbě s kabelovým napájecím přívodem uloženým v zemi
Citlivost spotřebičů na přepětí	Velká - PC, TV, Hi-Fi systém apod.	T1 + T2 + T3	T2 + T3
	Střední - pračky, chladničky apod.	T1 + T2 + T3	T2
	Malá - motory, ventilátory apod.	T1 + T2	T2

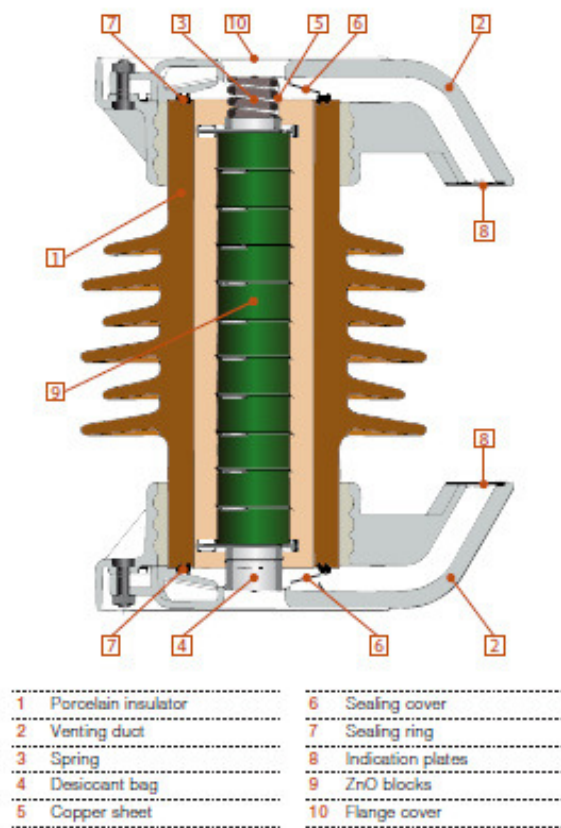
Tab. 2 Volba počtu stupňů a typů ochran[18]

## 6.3 Přepět'ová ochrana v sítích vn a vvn

Jako ochranná zařízení v elektrických sítích vn a vvn se od konce sedmdesátých let používají omezovače přepětí, které začaly nahrazovat používané ventilové bleskojistky. Pracují na principu změny hodnoty odporu při změně napětí. Základem jim je soustava odporových kotoučků oxidu zinku ZnO ve směsi s oxidy jiných kovů zapojena za sebou, tzv. do série. [13]

### 6.3.1 Porcelánové omezovače přepětí

Každý omezovač je sestaven z jedné, nebo více jednotek a každá jednotka obsahuje sloupec bloků ZnO. Na obou koncích omezovače jsou příruby nasazené na porcelánové jednotce. Zatěsnění mezi oběma částmi je zajištěno pryžovým těsněním s předpjatým nerezovým plechem. Těsnicí deska na obou koncích je zároveň navržena tak, aby mohlo dojít k snížení tlaku uvnitř, jehož nárůst mohou způsobit ionizované plyny. Plyn proudí přes odvzdušňovací kanálky, které jsou nasměrované k sobě. Toto opatření zabraňuje destruktivnímu roztříštění izolátoru. Mechanická pevnost pouzdra izolátoru je v souladu s normou IEC 60099-4. [13]



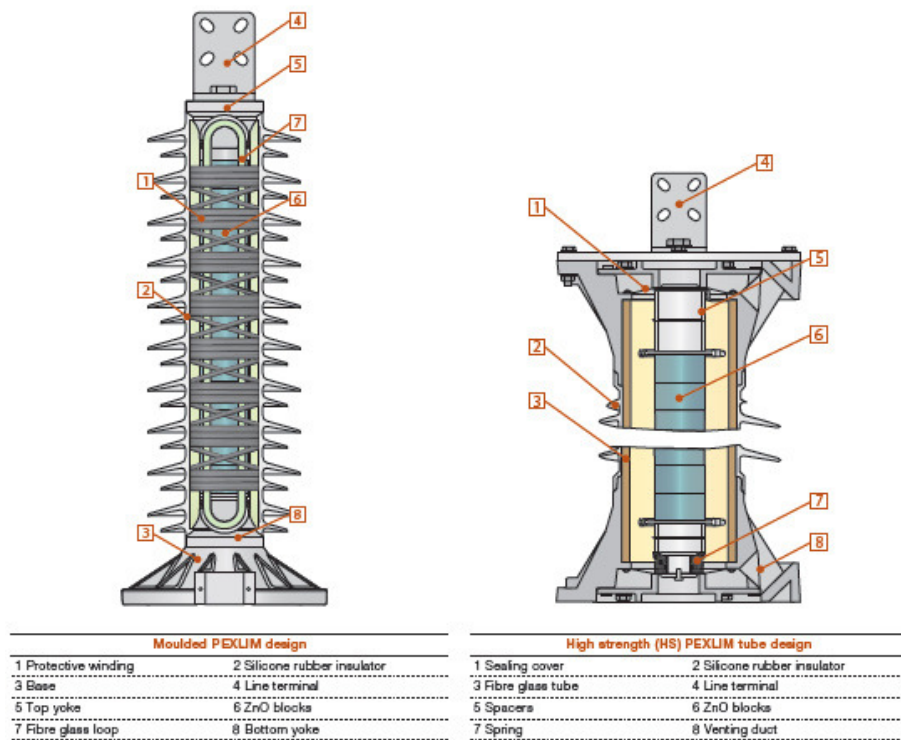
Obr. 17 Porcelánový omezovač přepětí [13]



### 6.3.2 Silikonové omezovače přepětí

Tento typ omezovačů také používá moduly obsahující bloky oxidu zinku ve směsi s jinými kovy, ale ochranný obal není z porcelánu, ale silikonu. Ten vykazuje dobré vlastnosti v ohledu nízké hmotnosti, omezení znečišťování, flexibilitu v konstrukci a odolnost proti UV záření. Konstrukce modulů vykazuje vysokou mechanickou pevnost a zkratovou odolnost. Kompletní modul je vložen do vulkanizačního lisu, do kterého je za vysoké teploty a tlaku vstříknut silikon, který dokonale přilne bez vzduchových dutin. Silikonové omezovače nepotřebují žádná pryžová těsnění ani odvzdušňovací kanálky, protože při případném přetížení dojde k roztavení silikonu a nehrozí tříštivá destrukce vlivem tlaku plynů.

V případech zvýšených požadavků na mechanickou odolnost se používá trubková konstrukce, která nabízí srovnatelnou pevnost jako porcelánová konstrukce, ale s mnohem menší hmotností. Základ tvoří trubka ze skelného vlákna s navulkanizovanými silikonovými domky, příruby jsou integrovány při vulkanizačním procesu. Jednotky jsou hermeticky uzavřené po celou dobu životnosti. Konce jednotek jsou zatěsněné pryžovým těsněním a vybavené odvzdušňovacími kanálky. [13]



Obr. 18 Silikonový omezovač napětí [13]

### 6.3.3 Příklady ZnO omezovačů přepětí ABB

#### Řada EXLIM R:

Vhodné pro ochranu transformátorů, rozveden a jiných vysokonapěťových zařízení v oblastech s mírnou intenzitou atmosférického a spínacího přepětí. Hodnoty maximálního napětí  $U_m$  se pohybují od 52 do 170 kV, energetická třída 2.



#### Brief performance data

System voltages ( $U_m$ )	52 - 170 kV
Rated voltages ( $U_r$ )	42 - 168 kV
Nominal discharge current (IEC)	10 kA <sub>peak</sub>
Classifying current (ANSI/IEEE)	10 kA <sub>peak</sub>
Discharge current withstand strength:	
High current 4/10 $\mu$ s	100 kA <sub>peak</sub>
Low current 2000 $\mu$ s	600 A <sub>peak</sub>
Energy capability:	
Line discharge class (IEC)	Class 2
[2 impulses, (IEC Cl. 8.5.5)]	5.0 kJ/kV ( $U_r$ )
Fulfills/exceeds requirements of ANSI transmission-line discharge test for 170 kV systems.	
Short-circuit/Pressure relief capability	50 kA <sub>sym</sub>
External insulation	Fulfills/exceeds standards
Mechanical strength:	
Specified long-term load (SLL)	3000 Nm
Specified short-term load (SSL)	7500 Nm
Service conditions:	
Ambient temperature	-50 °C to +45 °C
Design altitude	max. 1000 m
Frequency	15 - 62 Hz

Obr. 19 Porcelánový omezovač [13]

## Řada EXLIM T:

Omezovače této řady jsou vhodné pro ochranu rozvodů, transformátorů a jiných vysokonapěťových zařízení před spínacím a atmosférickým přepětím. Určené do oblastí s velmi vysokou intenzitou atmosférických výbojů. Tam, kde jsou stínící a uzemňovací podmínky špatné, či nedostatečné a v poslední řadě v oblastech s vysokými energetickými požadavky, např. velmi dlouhá vedení. Maximální hodnoty napětí jsou od 245 do 800 kV, energetická třída 5.



### Brief performance data

System voltages ( $U_m$ )	245 - 800 kV
Rated voltages ( $U_r$ )	180 - 624 kV
Nominal discharge current (IEC)	20 kA <sub>peak</sub>
Classifying current (ANSI/IEEE)	10/15/20 kA <sub>peak</sub>
Discharge current withstand strength:	
High current 4/10 $\mu$ s	150 kA <sub>peak</sub>
Low current 2000 $\mu$ s	2200 A <sub>peak</sub>
Energy capability:	
Line discharge class (IEC)	Class 5
[2 impulses, (IEC CL 8.5.5)]	15.4 kJ/kV ( $U_c$ )
Fulfills/exceeds requirements of ANSI transmission-line discharge test for 800 kV systems.	
Short-circuit/Pressure relief capability	65 kA <sub>sym</sub>
External insulation	Fulfills/exceeds standards
Mechanical strength:	
Specified long-term load (SLL)	7200 Nm
Specified short-term load (SSL)	18000 Nm
Service conditions:	
Ambient temperature	-50 °C to +45 °C
Design altitude	max. 1000 m
Frequency	15 - 62 Hz

Obr. 20 Porcelánový omezovač[13]

## Řada PEXLIM R-Z:

Řada omezovačů vhodných pro ochranu rozvodů, transformátorů a dalších vysokonapěťových systémů v oblastech s mírnou intenzitou atmosférického přepětí a možnosti znečištění. Splňují požadavky ohebnosti, nízké hmotnosti a nízké křehkosti. Spadají do energetické třídy 2.



### Brief performance data

System voltages ( $U_M$ )	72 - 145 kV
Rated voltages ( $U_r$ )	75 - 120 kV
Nominal discharge current (IEC)	10 kA <sub>peak</sub>
Discharge current withstand strength:	
High current 4/10 $\mu$ s	100 kA <sub>peak</sub>
Low current 2000 $\mu$ s	600 A <sub>peak</sub>
Energy capability:	
Line discharge class (IEC)	Class 2
[2 impulses, (IEC Cl. 8.5.5)]	5.1 kJ/kV ( $U_r$ )
Fulfills/exceeds requirements of ANSI transmission-line discharge test for 170 kV systems.	
Short-circuit/Pressure relief capability	40 kA <sub>sym</sub>
External insulation	Fulfills/exceeds standards
Mechanical strength:	
Specified long-term load (SLL)	800 Nm
Specified short-term load (SSL)	1300 Nm
Service conditions:	
Ambient temperature	-50 °C to +45 °C
Design altitude	max. 1000 m
Frequency	15 - 62 Hz

Obr. 21 Silikonový omezovač [13]

## Řada PEXLIM T-T:

Řada omezovačů vhodných pro ochranu rozvodů, transformátorů a dalších vysokonapěťových systémů v oblastech s velmi vysokou intenzitou bleskových výbojů za špatných podmínek odstínění nebo uzemnění. Používají se v oblastech s velmi vysokými energetickými požadavky při chránění důležitých zařízení, energetická třída 5.



### Brief performance data

System voltages ( $U_m$ )	245 - 800 kV
Rated voltages ( $U_r$ )	180 - 624 kV
Nominal discharge current (IEC)	10/15/20 kA <sub>peak</sub>
Classifying current (ANSI/IEEE)	10/15 kA <sub>peak</sub>
Discharge current withstand strength:	
High current 4/10 $\mu$ s	100 kA <sub>peak</sub>
Low current 2000 $\mu$ s	2200 A <sub>peak</sub>
Energy capability:	
Line discharge class (IEC)	Class 5
[2 impulses, (IEC Cl. 8.5.5)]	15.4 kJ/kV ( $U_r$ )
Fulfills/exceeds requirements of ANSI transmission-line discharge test for 362 kV systems.	
Short-circuit/Pressure relief capability	65 kA <sub>sym</sub>
External insulation	Fulfills/exceeds standards
Mechanical strength:	
Specified long-term load (SLL)	10000 Nm
Specified short-term load (SSL)	28000 Nm
Service conditions:	
Ambient temperature	-50 °C to +45 °C
Design altitude	max. 1000 m
Frequency	15 - 62 Hz

Obr. 22 Silikonový omezovač [13]

## 7. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo popsat a vysvětlit vznik přepětí vyskytujících se v energetické soustavě, uvést přehled o používaných ochranných zařízeních společně s vysvětlením jejich principu činnosti. V poslední části práce jsou uvedeny možnosti instalace zmíněných ochranných zařízení s ohledem na specifické podmínky prostředí.

V posledních letech je na kvalitu dodávané elektrické energie kladen velký důraz. V případě, kdy by došlo k časově výraznějšímu přerušení dodávky, může tato situace vést k ohrožení lidských životů či k národohospodářským ztrátám. Kvalita dodávky energie se také podílí na celkové stabilitě energetické soustavy. V přenosových a distribučních sítích se k omezení negativních přepětíových vlivů využívají zařízení pracující na principu nelineárního napětově závislého odporu oxidu zinečnatého ZnO, nebo karbidu křemíku SiC. Odběratelé elektrické energie využívají před účinky přepětí zařízení se stejnou funkcí, tj. omezení přepětí, avšak pro podstatně nižší napětové hladiny.

Volba použití přepětíové ochrany je v každém případě volba kompromisu mezi ideálním technickým a finančním hlediskem. Konstruktivním řešením s různými energetickými parametry ochran vzhledem k lokaci instalace je věnována poslední část práce.

## 8. Seznam použité literatury

- [1] Burant, J.: *Blesk a přepětí, Systémová řešení ochran*. Praha: Vydavatelství FCC Public s.r.o., 2006
- [2] Tomáš Jaroš: *Ochrany energetických sítí proti přepětí*, ZČU v Plzni 2010
- [3] Veverka, A.: *Technika vysokých napětí*, Praha, Nakladatelství technické literatury, 1982
- [4] Hasman, T.: *Přepětí v elektroenergetické soustavě*, Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997
- [5] Karel Antoš: *Návrh chránění zařízení vn a vvn*, ZČU v Plzni 2011
- [6] Mentlík, J. a kolektiv: *Diagnostika elektrických zařízení*, nakladatelství BEN, 2008
- [7] Kniška: <http://www.kniska.eu/>
- [8] *Technické normy* [online]. Dostupné z <http://www.technickenormy.cz/en/>
- [9] Rusňák, Š., Řezáček, P., *Elektrické přístroje*, Tiskové středisko ZČU, 2003
- [10] Jícha Zdeněk: *Ochrana před bleskem*, ZČU v Plzni 2011
- [11] Kolektiv autorů: *Provoz distribučních soustav*, České vysoké učení technické v Praze, Praha 2011
- [12] Filip Jaroš: *Použití svodičů přepětí*, ZČU v Plzni 2010
- [13] Omezovače přepětí:  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot245.nsf/veritydisplay/5e7929863c37055ac1257ab6004619da/\\$file/1HSM%209543%2012-00%20Surge%20Arresters%20Buyers%20Guide%20Edition%209.2%202012-08%20-%20English.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot245.nsf/veritydisplay/5e7929863c37055ac1257ab6004619da/$file/1HSM%209543%2012-00%20Surge%20Arresters%20Buyers%20Guide%20Edition%209.2%202012-08%20-%20English.pdf)
- [14] Přístupy a řešení ochrany před přepětími v distribučních sítích vysokého napětí:  
[www.odbornecasopisy.cz/download/elektro/2007/el050704.pdf](http://www.odbornecasopisy.cz/download/elektro/2007/el050704.pdf)
- [15] Ochrana venkovních vedení vn, vvn a zvn před přepětím [online]. Dostupné z <http://elektrika.cz/data/clanky/npasnc020628/view>
- [16] Venkovní vedení vvn [online]. Dostupné z <http://www.tzb-info.cz/4142-venkovni-vedeni-vvn-i>

- [17] Navrhování a umístování svodičů přepětí v distribučních sítích do 1 kV: [www.csvts.cz/cenes/prezentace/prepeti/PNE\\_330000\\_7p.doc](http://www.csvts.cz/cenes/prezentace/prepeti/PNE_330000_7p.doc)
- [18] Přepět'ové ochrany: <http://www.oez.cz/>
- [19] Omezovač přepětí navvn [online]. Dostupné z <http://www.abb.cz/product/cz/9AAC710009.aspx?country=CZ>
- [20] Principy konstrukce a funkce varistorových svodičů přepětí [online]. Dostupné z [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=26801](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26801)
- [21] *Osazování omezovačů přepětí v sítích 110 kV*. EGU – HV Laboratory a.s. Praha 9 – Běchovice
- [22] Trendy ve vývoji přepět'ových ochran [online]. Dostupné z <http://proprojektanty.cz/ochrany-proti-prepeti/322-trendy-ve-vyvoji-pepovych-ochran-spd>
- [23] Bleskům neutečete. Vědci je umí detekovat, vyvolat, ale ne vysvětlit [online]. Dostupné z [http://tech.net.idnes.cz/bleskum-neutecete-vedci-je-umi-detekovat-vyvolat-ale-ne-vysvetlit-10f-tec\\_technika.aspx?c=A080729\\_183109\\_tec\\_technika\\_pka](http://tech.net.idnes.cz/bleskum-neutecete-vedci-je-umi-detekovat-vyvolat-ale-ne-vysvetlit-10f-tec_technika.aspx?c=A080729_183109_tec_technika_pka)
- [24] Extrémní meteorologické jevy [online]. Dostupné z <http://mve.energetika.cz/klimaticke-zmeny/extremni-meteorologicke-jevy.htm>
- [25] Pojistky a svodiče přepětí [online]. Dostupné z [http://www.siz.6f.sk/?page\\_id=60](http://www.siz.6f.sk/?page_id=60)
- [26] Simplified selection procedure: <http://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1HSM%209543%2012-00en%20Section%20C&LanguageCode=en&DocumentPartID=&Action=Launch>