

REAS ČR ZSE	<b>Navrhování a umístování svodičů přepětí v distribučních sítích nad 1 kV do 45 kV</b>	<b>PNE 33 0000-8</b>
<b>Odsouhlasení normy</b>		
Konečný návrh podnikové normy energetiky pro rozvod elektrické energie odsouhlasily tyto organizace: PRE Praha, a.s., STE Praha, a.s., E.ON Distribuce, a.s., E.ON CZ, a.s., ZČE Plzeň a.s., SČE Děčín, a.s. VČE Hradec Králové, a.s., SME Ostrava, a.s. a ZSE Bratislava, a.s.		
<b>Obsah</b>		
		strana
1.	VŠEOBECNĚ .....	2
1.1.	Předmět normy .....	2
1.2.	Rozsah platnosti .....	2
1.3.	Normativní odkazy .....	3
1.4.	Definice .....	3
1.4.1.	omezovač přepětí bez jiskříšť .....	3
1.4.2.	přepětí .....	3
1.4.3.	dočasné přepětí .....	3
1.4.4.	koordinace izolace .....	4
1.4.5.	Definice napětí .....	4
1.4.5.1.	trvalé provozní napětí omezovače přepětí $U_c$ .....	4
1.4.5.2.	jmenovité napětí omezovače $U_r$ .....	4
1.4.5.3.	zbytkové napětí omezovače přepětí $U_{res}$ .....	4
1.4.5.4.	nejvyšší napětí pro zařízení $U_m$ .....	4
1.4.5.5.	nejvyšší napětí sítě $U_s$ .....	4
1.4.6.	jmenovitý výbojový proud omezovače přepětí $I_n$ .....	4
1.4.7.	třída vybití vedení .....	4
1.4.8.	energetická kapacita omezovače .....	4
2.	Základní údaje o ochraně vn sítí proti přepětí .....	5
2.1.	Charakteristika ochrany vn sítí proti přepětí .....	5
2.2.	Charakteristika atmosférických přepětí v sítích vn .....	5
2.2.1.	Přepětí od přímých úderů do vedení .....	5
2.2.2.	Přepětí nepřímých úderů (indukovaná přepětí) .....	6
2.3.	Koordinace izolace zařízení sítí .....	6
3.	Ochranné vlastnosti různých typů svodičů přepětí .....	7
3.1.	Hrotová jiskříště .....	7
3.2.	Bleskojistky .....	7
3.3.	Bezjiskříšťové omezovače přepětí .....	7
3.4.	Omezovače přepětí s jiskříšti .....	9
4.	Zásady dimenzování omezovačů přepětí .....	9
4.1.	Volba trvalého provozního napětí $U_c$ .....	9
4.1.1.	Všeobecně .....	9
4.1.2.	Nepřerušované zemní spojení .....	11
4.1.3.	Přerušované zemní spojení (PZS) .....	11
4.1.4.	Ferorezonance .....	12
4.2.	Volba trvalého provozního napětí $U_c$ omezovačů přepětí zapojených mezi fáze a zem .....	12
4.2.1.	Volba $U_c$ pro sítě s izolovaným středem .....	12
4.2.2.	Volba $U_c$ pro sítě kompenzované tlumivkou .....	13
4.2.3.	Volba $U_c$ pro sítě se středem uzemněným odporníkem .....	13
4.3.	Volba trvalého provozního napětí $U_c$ omezovačů přepětí v ostatních zapojeních .....	14
4.3.1.	Omezovače chránící zhášecí tlumivku a střed vinutí transformátoru .....	14
4.3.2.	Omezovače chránící odporník a střed vinutí transformátoru .....	14
4.4.	Volba energetické třídy a jmenovitého výbojového proudu omezovačů přepětí .....	14
4.5.	Povrchová dráha izolace omezovačů .....	15
<b>Nahrazuje:</b>	<b>Účinnost:</b> od 2005-04-01	

5.	Zásady pro umístování a připojování.....	15
5.1.	připojování všeobecně.....	15
5.2.	Obecně platná pravidla pro připojování.....	16
5.3.	Ochranný dosah omezovače.....	17
6.	Podpurná ochranná opatření.....	17
6.1.	Uzemnění stožárů před stanicí.....	17
6.2.	Výběhová lana.....	18
6.3.	Sdružené zaústění vedení.....	18
7.	Ochrana prvků sítě vn.....	18
7.1.	Vedení s holými vodiči.....	18
7.2.	Vedení s izolovanými vodiči.....	19
7.2.1.	Ochrana před účinky indukovaných přepětí.....	19
7.	Ochrana prvků sítě vn.....	18
7.1.	Vedení s holými vodiči.....	18
7.2.	Vedení s izolovanými vodiči.....	19
7.2.1.	Ochrana před účinky indukovaných přepětí.....	19
7.2.2.	Ochranné prvky pro vedení s izolovanými vodiči.....	19
7.2.3.	Volba ochrany vedení s izolovanými vodiči.....	19
7.3.	Přístroje na vedení.....	20
7.4.	Přechod venkovního vedení do kabelu.....	20
7.5.	Vložené kabelové úseky A ZÁVĚSNÉ KABELY.....	21
7.6.	Kabelová zaústění.....	21
7.7.	Distribuční transformační stanice DTS.....	21
7.7.1.	DTS sloupové a DTS na příhradových stožárech.....	21
7.7.2.	DTS věžové.....	22
7.7.3.	Ochrana DTS zděných, vestavěných, s kabelovým zaústěním.....	23
7.8.	Kobkové a skříňové transformovny 110 kV/VN.....	24
7.8.1.	Rozvodny vn.....	24
7.8.2.	Ochrana vn strany transformátoru 110kV/vn.....	25
8.	PŘÍLOHA.....	26
8.1.	Metoda navrhování optimální ochrany zařízení omezovači přepětí.....	26
8.1.1.	Statistika blesků.....	26
8.1.2.	Elektrogeometrický model vedení.....	26
8.1.3.	Model rozvodny s připojenými vedeními.....	26
8.1.4.	Výpočet střední doby mezi PIH Sdpi.....	26
8.1.5.	Výpočet střední doby mezi překročeními tepelné kapacity omezovačů.....	27
8.2.	Statistické výpočty atmosférických přepětí na vedení.....	27
8.2.1.	Četnost přímých úderů do vedení.....	27
8.2.2.	Četnost indukovaných atmosférických přepětí dané velikosti.....	28
8.2.3.	Vliv délky přívodů a a b na přepětí na transformátoru chráněném omezovači přepětí.....	28

## 1. Všeobecně

### 1.1. Předmět normy

Norma obsahuje soubor pravidel a doporučení, jak chránit zařízení vn v distribučních sítích před přepětím pomocí omezovačů přepětí s cílem dosáhnout minimální poruchovosti sítě z důvodu přepětí. Norma obsahuje doporučení pro správná umístění omezovačů, způsob připojení a volbu parametrů pro tato umístění. Norma se částečně zabývá i jinými typy svodičů přepětí, a to v případech, kdy je jejich aplikace přiměřená.

### 1.2. Rozsah platnosti

Tato podniková norma energetiky je vypracována pro následující organizace: PRE Praha a.s., Skupina ČEZ: Středočeská energetická a.s., Západočeská energetika a.s., Východočeská energetika a.s., Severočeská energetika a.s., Severomoravská energetika a.s., E.ON Distribuce, a.s., E.ON CZ, a.s. a Západoslovenská energetika, a.s. Její platnost se vztahuje na distribuční sítě a rozvodny 6 kV, 10 kV, 22 kV a 35 kV provozované těmito společnostmi.

### 1.3. Normativní odkazy

ČSN 33 30 60 (1984)	Ochrana elektrických zařízení před přepětím
ČSN EN 60099-4 (1991)	Svodiče přepětí. Část 4: Bezjiskříškové omezovače přepětí pro soustavy se střídavým napětím
ČSN EN 60099-5 (1996)	Svodiče přepětí. Část 5: Doporučení pro volbu a použití
ČSN 38 0810 (1987)	Použití ochran před přepětím v silových zařízeních
ČSN EN 60071-1 (1993)	Elektrotechnické předpisy – Koordinace izolace – Část 1: Definice, principy a pravidla
ČSN EN 60071-2 (1996)	Elektrotechnické předpisy – Koordinace izolace – Část 2: Pravidla pro použití
IEC 60815 (1986)	Směrnice pro volbu izolátorů s ohledem na podmínky znečištění
ČSN EN 60 543 – 3 –19	Elektrická venkovní vedení s jmenovitým napětím nad 45 kV AC – Část 3, oddíl 19: Národní normativní aspekty pro Českou republiku
ČSN EN 50423-1	Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 1 kV do AC 45 kV včetně Část 1: Všeobecné požadavky – společná specifikace (připravuje se)
PNE 33 0000-1	Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribučních soustavách a přenosové soustavě

### Vypracování normy

Zpracovatel: Ing. Lubomír Kočiš, EGÚ-Laboratoř vvn  
Pracovník ONS energetiky: Ing. Jaroslav Bárta, ÚJV Řež, a.s., divize -Energoprojekt Praha.

### 1.4. Definice

#### 1.4.1. omezovač přepětí

Svodič přepětí, který má nelineární odpory z kysličníků kovů zapojené v sérii nebo paralelně bez jakýchkoli vložených sériových nebo paralelních jiskříšť

#### 1.4.2. přepětí

Přepětí je každé napětí mezi fází a zemí nebo mezi fázemi, jehož vrcholová hodnota přesahuje příslušnou vrcholovou hodnotu nejvyššího napětí pro zařízení.

#### 1.4.3. dočasné přepětí

Přepětí zpravidla síťového kmitočtu poměrně dlouhého trvání. Přepětí může být netlumené nebo slabě tlumené. Jeho kmitočet může být v některých případech několikrát nižší nebo vyšší než kmitočet sítě.

#### **1.4.4. koordinace izolace**

Koordinace izolace je volba elektrické pevnosti zařízení ve vztahu k napětím, která se mohou vyskytnout v síti, pro kterou je zařízení určeno s respektováním provozních podmínek okolí a použitých ochranných zařízení

#### **1.4.5. Definice napětí**

##### **1.4.5.1. trvalé provozní napětí omezovače přepětí $U_c$**

Trvalé provozní napětí je určená povolená efektivní hodnota střídavého napětí, která může být trvale mezi svorkami omezovače přepětí.

##### **1.4.5.2. jmenovité napětí omezovače $U_r$**

Maximální možná efektivní hodnota střídavého napětí průmyslového kmitočtu mezi svorkami omezovače přepětí, pro kterou je konstruován, aby působil správně v podmínkách dočasného přepětí tak, jak je stanoveno ve zkoušce provozní funkce v čl. 7.5. ČSN EN 60099-4. Jmenovité napětí se používá jako referenční parametr pro specifikaci provozních charakteristik.

##### **1.4.5.3. zbytkové napětí omezovače přepětí $U_{res}$**

Vrcholová hodnota napětí, která se objeví mezi svorkami omezovače přepětí, když jím prochází výbojový proud.

##### **1.4.5.4. nejvyšší napětí pro zařízení $U_m$**

Nejvyšší efektivní hodnota napětí mezi fázemi, na kterou je zařízení navrženo, pokud se týká izolace, jakož i jiných charakteristik, které podle příslušných norem pro zařízení s tímto napětím souvisejí.

##### **1.4.5.5. nejvyšší napětí sítě $U_s$**

Nejvyšší hodnota provozního napětí, která se může vyskytnout za normálního provozu v libovolném čase a na kterémkoli místě sítě.

#### **1.4.6. jmenovitý výbojový proud omezovače přepětí $I_n$**

Vrcholová hodnota atmosférického proudového impulsu, která se používá pro klasifikaci omezovačů přepětí.

#### **1.4.7. třída vybití vedení**

Číslo vyjadřující schopnost absorpce energie omezovače přepětí při vybití dlouhých vedení.

#### **1.4.8. energetická kapacita omezovače**

Energie, kterou může omezovač absorbovat, aniž by došlo k jeho degradaci a narušení tepelné stability při provozním napětí. Udává se měrná energetická kapacita v kJ na 1 kV trvalého provozního napětí  $U_c$ .

## 2. Základní údaje o ochraně vn sítí proti přepětí

### 2.1. Charakteristika ochrany vn sítí proti přepětí

V distribučních sítích vn s venkovními vedeními je nutné chránit zařízení zejména proti atmosférickým přepětím. Spínací přepětí dosahují nižších úrovní než atmosférická.

V kabelových sítích bez připojených venkovních vedení jsou největší přepětí způsobená zkraty, zemními spojeními a nebo spínáním.

Dočasná přepětí 50 Hz namáhají více samotné omezovače přepětí než chráněná zařízení.

Ochranná opatření mají snižovat nepříznivé účinky bouřkové činnosti na distribuční sítě, které se projevují:

- výpadky dodávky
- zhoršením kvality dodávané energie
- zničením zařízení sítě vn nebo zkrácením jeho životnosti, což zvyšuje náklady provozovatele

Prvořadým úkolem ochranných opatření, který je ekonomicky zcela opodstatněný, je chránit zařízení sítí vn před zničením atmosférickým přepětím.

Snížení výpadkovosti u sítí s převahou venkovních vedení je nesnadný úkol vzhledem k tomu, že přepětí při úderu blesku do vedení mnohonásobně převyšuje výdržné hladiny vedení. Ve většině případů lze dosáhnout podstatného snížení výpadkovosti pouze za cenu nepřiměřených nákladů na ochranu vedení.

### 2.2. Charakteristika atmosférických přepětí v sítích vn

Parametry blesku mají statistický charakter. Typický úder blesku do země při bouři v letních měsících má zápornou polaritu a sestává z prvního úderu a následných úderů. V zimních sněhových bouřích převažují úderů do země s polaritou kladnou. Z hlediska přepětí na vedení má největší význam vrcholová hodnota a strmost nárůstu proudu blesku. Četnosti těchto parametrů proudu prvního a následných úderů do země se zápornou polaritou jsou v tabulce 1 v příloze.

Atmosférické přepětí šířící se po vedení vzniká buď přímým úderem do vedení nebo indukci při nepřímých úderech. Z hlediska parametrů přepětí důležitých pro přepětiovou ochranu (vrcholová hodnota, strmost, energie) jsou přepětí při přímých úderech a indukovaná přepětí zcela odlišná.

#### 2.2.1. Přepětí od přímých úderů do vedení

Charakteristika atmosférického přepětí na vedení se liší u vedení s uzemněnými konzolami a u vedení na dřevěných sloupech bez uzemněných konzol. Betonové sloupy s armováním se z hlediska impulsních bleskových proudů považují za vodivé.

a) Vedení s uzemněnými konzolami:

Při úderu do vedení s uzemněnými konzolami úder blesku ať už do fázového vodiče, zemního lana (pokud je) nebo do konstrukce stožáru způsobí vždy přeskoky vedení k zemi a zpravidla i mezi fázemi. Velikost přepětí na fázových vodičích příliš nezávisí na tom, do čeho blesk udeří. Přeskoky k zemi sníží úroveň přepětí z řádu MV na stovky kV. Po vedení se šíří série velmi strmých impulzů vzniklá mnohonásobnými přeskoky na izolaci vedení následovaná pomalejší vlnou přepětí způsobenou vzrůstem potenciálu na uzemnění v místě úderu blesku.

b) Vedení na dřevěných sloupech bez uzemněných konzol:

Dřevěné sloupy bez uzemněných konzol mají velmi vysokou izolační pevnost proti zemi 3 až 4 MV a ta způsobuje, že při úderu blesku do fázových vodičů je vedení schopno přenést přepětí řádu tisíc kV na značnou vzdálenost bez podstatného snížení jeho energie. Toto přepětí může na dálku způsobit značnou škodu na zařízení. Přitom velká izolační pevnost proti zemi neznamena nižší výpadkovost ve srovnání s vedením s uzemněnými konzolami, protože při každém úderu dojde k mezifázovému přeskoku a následnému zkratu.

### **2.2.2. Přepětí nepřímých úderů (indukovaná přepětí)**

Úder blesku do země nebo do konstrukce v blízkosti vedení indukuje ve vedení přepětí, které může také překročit izolační hladinu zařízení. Indukovaná přepětí jsou přibližně stejná ve všech vodičích a mají opačnou polaritu než proud blesku. Protože v 90% případů je proud blesku záporný, je polarita indukovaného přepětí většinou kladná. Indukovaná přepětí mají menší velikost a energii než přepětí při přímých úderech. Nejsou nebezpečná pro zařízení chráněná omezovači, nicméně způsobují přeskoky a výpadky a tedy snižují kvalitu nebo i plynulost dodávky.

### **2.3. Koordinace izolace zařízení sítí**

Koordinace izolace je proces volby izolačních hladin zařízení sítě vn a volby ochranných opatření založený na znalosti charakteristik přepětí v síti a na znalostech výdržných charakteristik izolace zařízení, jehož výsledkem je dosažení požadované výpadkovosti a poruchovosti zařízení a její vyváženosti ve sledované části systému při minimálních nákladech na provedená opatření. Vychází se přitom ze statistického charakteru přepětí v síti a z výpočtů četnosti výskytu parametrů přepětí kritických ve vztahu k izolačním hladinám zařízení.

Snížení poruchovosti je možné dosáhnout:

#### **1. Zvýšením izolační hladiny zařízení**

Je to nejnákladnější způsob koordinace a málo účinný, protože při vysokých hodnotách atmosférických přepětí v síti vůči izolačním hladinám zařízení se zvýšení izolačních hladin zařízení projeví jen malým snížením jejich poruchovosti.

#### **2. Snížením velikosti přepětí nebo jeho četnosti v síti vhodnými opatřeními**

Aby se dosáhlo snížení přepětí v síti jako celku, je nutno aplikovat opatření (zemnicí lana, odpory uzemnění stožárů, omezovače) v celé síti, což je velmi nákladné a přitom ne zcela účinné pro snižování výpadkovosti.

3. Snížením přepětí v místech zařízení vhodnou kombinací ochranných opatření a pomocí omezovačů přepětí.

Aplikace omezovačů přepětí jako lokální ochrany zařízení je neúčinnějším způsobem zajištění přiměřeně nízké poruchovosti zařízení vn sítí ovšem s malým vlivem na výpadkovost vedení.

Přitom je efektivní kombinovat ochranu omezovači s doplňkovými opatřeními nebo dodržováním určitých zásad, zajišťujících nízkou úroveň a energii přepětí přicházejících z vedení na chráněné zařízení. O těchto opatřeních je pojednáno v kapitole 6.

### 3. Ochranné vlastnosti různých typů svodičů přepětí

#### 3.1. Hrotová jiskřiště

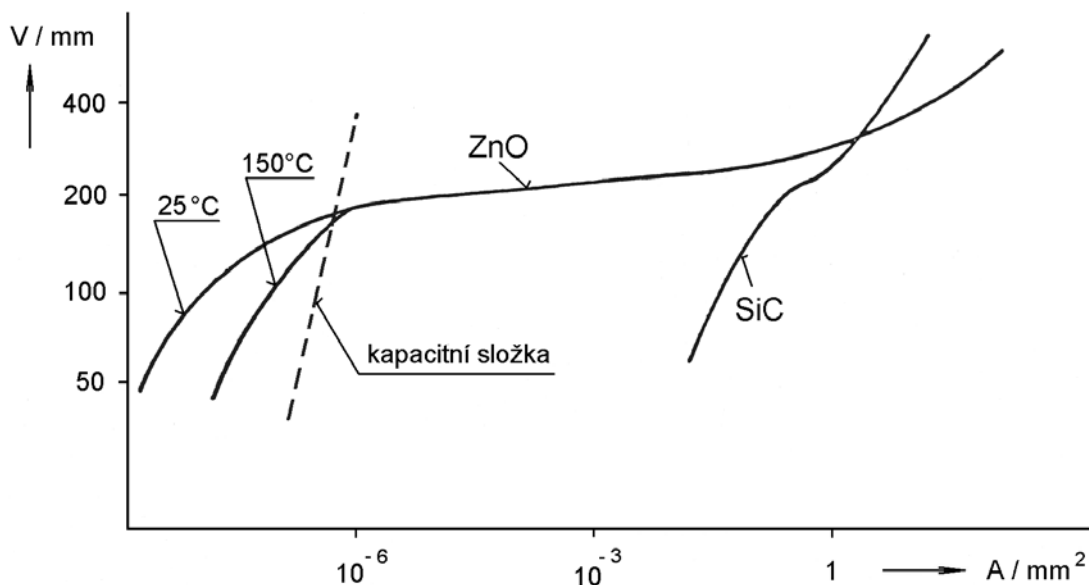
Hrotové jiskřiště je nejjednodušší přepětíové ochranné zařízení sestávající ze dvou kovových elektrod s definovanou vzdušnou vzdáleností (doskokem) a zhotovených z materiálu odolného proti zkratovým proudům. Přeskokové napětí hrotového jiskřiště s pevně nastaveným doskokem je tím vyšší, čím vyšší je strmost nárůstu přepětí (závislost přeskokového napětí na strmosti přepětí se nazývá rázová charakteristika). Při velmi strmých přepětích např. při blízkých úderech blesku do vedení je přeskokové napětí hrotového jiskřiště tak velké, že může dojít k průrazu vnitřní izolace chráněného zařízení. Druhou nevýhodou jiskřišť je, že nemají schopnost zhášení následného zkratového proudu a ten musí být vypnut ochranou. Zapůsobení ochranného jiskřiště tedy znamená výpadek.

#### 3.2. Bleskojistky

Bleskojistky sestávají z jiskřišť sériově řazených s bloky nelineárních odporů SiC a paralelních hmotových odporů řídících potenciál podél bleskojistky. Zapalovací napětí vykazuje stejně jako u hrotových jiskřišť rázovou charakteristiku a při velmi strmých impulsech může být zapalovací napětí až o 30% vyšší než při standardním atmosférickém impulsu 1,2/50. Nelineární bloky mají zhasací funkci tzn. že proud bleskojistkou po jejím zapálení musí zhasnout při prvním průchodu proudu 50 Hz nulou. Pokud proud v jiskřištích při prvním průchodu proudu nulou nezhasne, bloky SiC nevydrží další absorpci tepelné energie a bleskojistka exploduje. Bleskojistky vzhledem ke složité vnitřní struktuře jsou choulostivé na otřesy při přepravě. Případné proniknutí vlhkosti způsobuje korozi jiskřišť s následným snížením zapalovacího napětí a rizikem destrukce. Pro všechny uvedené nevýhody se bleskojistky s bloky SiC v sítích vn postupně nahrazují bezjiskřišťovými omezovači přepětí. Při rekonstrukcích a u nových zařízení se používají omezovače přepětí. V případě zničení jedné bleskojistky je nutno vždy nahradit celou trojici (sadu) omezovači přepětí.

#### 3.3. Bezjiskřišťové omezovače přepětí

Bezjiskřišťové omezovače přepětí sestávají ze sloupce bloků nelineárních odporů ZnO. Bloky ZnO mají nelineární VA charakteristiku zobrazenou v semilogaritmickém grafu na obrázku 1. Napětí bloku vztahené na 1 mm jeho výšky je zde znázorněno v závislosti na proudu procházejícím 1 mm<sup>2</sup> plochy bloku v kolmém řezu. V grafu je též znázorněna též kapacitní složka proudu, která v oblasti malých proudů převažuje.



**Obrázek 1 - Porovnání VA charakteristik bloku ZnO a SiC**

Při provozním napětí jsou bloky ZnO zavřené a protéká jimi kapacitní proud řádu 1 mA a činná složka proudu je několik desítek  $\mu\text{A}$ . V grafu je znázorněna i poměrně velká závislost proudu na teplotě v oblasti malých provozních proudů. Zvyšuje-li se napětí, začne se blok (hmotový polovodič) otvírat a proud tekoucí omezovačem narůstá mnohem rychleji než přiložené napětí. Ve střední části lze nelinearitu VA charakteristiky vyjádřit vztahem mezi napětím a proudem  $I = AU^B$ , kde exponent B u kvalitních bloků je vyšší než 50, typicky  $B = 51$ . Znamená to, že zvýší-li se napětí o 20 %, proud naroste více než o 4 řády, např. ze 100 mA na 1 kA. Při proudech nad 1 kA se nelinearita otvírání bloků omezovače zmenšuje a proud již neroste tak rychle s rostoucím napětím. Největší využití omezovače k ochraně proti přepětí je ve střední části VA charakteristiky s proudy 1 A až 10 kA, kde je nelinearita největší. Nelinearita VA charakteristik (tzn. tvar křivky) je u různých typů bloků různá:

- je dána zejména vlastnostmi polovodiče ZnO. Čím je blok kvalitnější, tím větší je jeho nelinearita, a tím je VA křivka plošší a blok plní lépe funkci přepětíové ochrany (různí výrobci dosahují různé hodnoty nelinearity).

- omezovače vyšší energetické třídy (s větší plochou bloků v kolmém řezu) mají plošší křivku než omezovače nižší třídy

Ve střední a horní části charakteristiky bloky ZnO snesou pouze impulsní zátěž, protože na rozdíl od ochranných jiskřišť a bleskojistek omezovače absorbují celou energii přepětí. (Na ochranných jiskřištích po zapálení klesne napětí téměř na nulu a energie přepětí se částečně odrazí do sítě a částečně rozptýlí do země. Na bleskojistce po zapálení napětí



klesne na hodnotu napětí bloků SiC a část energie pohltí bloky, část se odrazí do sítě a část se rozptýlí v zemi).

Výhodou bloků ZnO je, že reagují na přepětí téměř okamžitě a proud začne protékat v čase několik desítek ns. Pro vyšší strmosti přepětí je na omezovači stejně jako u bleskojistky vyšší napětí, ale tento nárůst je mnohem menší než u bleskojistky, tzn. že rázová charakteristika omezovače je mnohem plošší a je dána víceméně indukčností sloupce bloků.

### 3.4. Omezovače přepětí s jiskřišti

Sestávají ze sériové kombinace jiskřiště a sloupce bloků ZnO. Bloky ZnO se dimenzují stejně jako u bezjiskřišťového omezovače. Po překročení určité hladiny přepětí a po sepnutí jiskřiště je funkce omezovače stejná jako funkce bezjiskřišťového omezovače. Omezovačem s jiskřištěm při provozním napětí neteče svodový proud a není namáhán dočasnými přepětími, tím se zvyšuje jeho životnost. Nevýhodou je strmější rázová charakteristika než u omezovačů bezjiskřišťových.

## 4. Zásady dimenzování omezovačů přepětí

Omezovače se dimenzují podle konkrétního umístění v síti, tzn. podle toho, zda budou chránit např. transformátor, vývod vedení nebo přechod vedení do kabelu. V každém umístění mají omezovače specifické podmínky namáhání přepětími a specifické požadavky na ochranu.

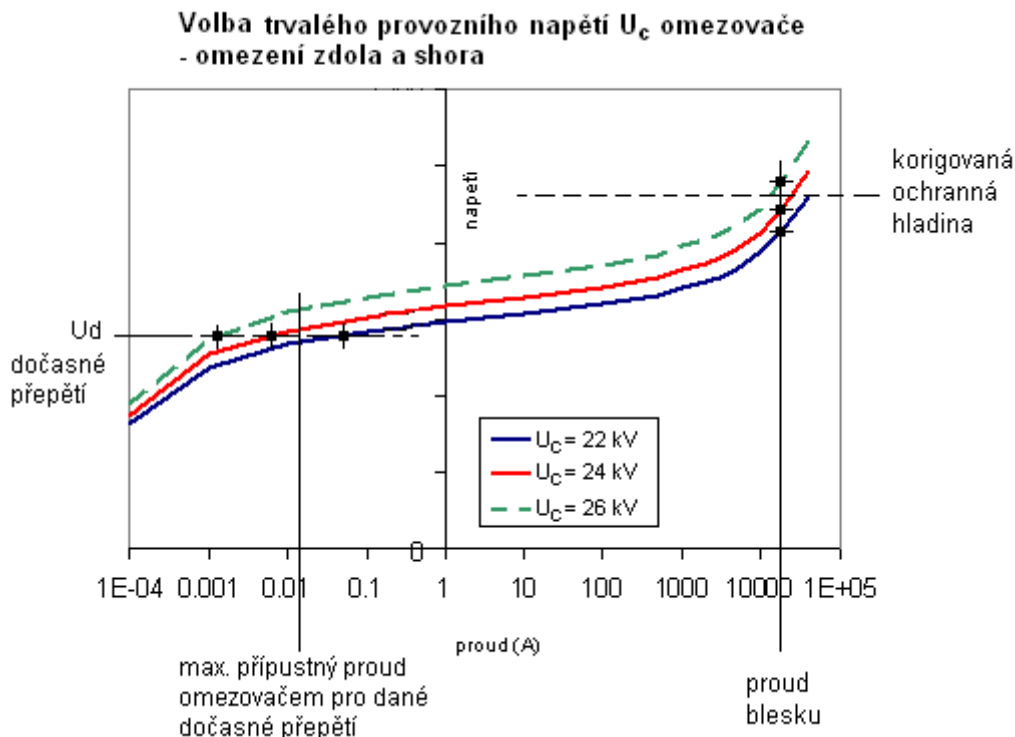
### 4.1. Volba trvalého provozního napětí $U_c$

#### 4.1.1. Všeobecně

Trvalé provozní napětí omezovače  $U_c$  je úměrné výšce sloupce bloků stejně jako všechny ostatní napěťové parametry a celá VA charakteristika omezovače. Naopak volbou určité hodnoty napětí  $U_c$  ( $U_r$ ) se volí všechny napěťové parametry včetně ochranné hladiny omezovače pro impulsní přepětí, znázorňuje to obrázek 2.

Nesprávná volba napětí  $U_c$  omezovače může mít negativní vliv na jeho funkci a tím také na spolehlivost dodávky dvojnásobem:

- Pokud se zvolí nízké  $U_c$ , budou ochranná hladina  $U_{res}$  a s ní i riziko poruchy chráněného zařízení příznivě nízké. Na druhé straně ale bude vyšší riziko tepelného namáhání omezovačů dočasnými přepětími, takže pravděpodobnost jejich poruchy bude vysoká



**Obrázek 2 - Vzájemná závislost parametrů omezovače přepětí**

- Pokud se zvolí vysoké  $U_c$ , bude riziko poruchy omezovačů z důvodu dočasných přepětí bezvýznamné, ale vysoká ochranná hladina  $U_{res}$  bude znamenat vyšší pravděpodobnost zničení chráněných zařízení

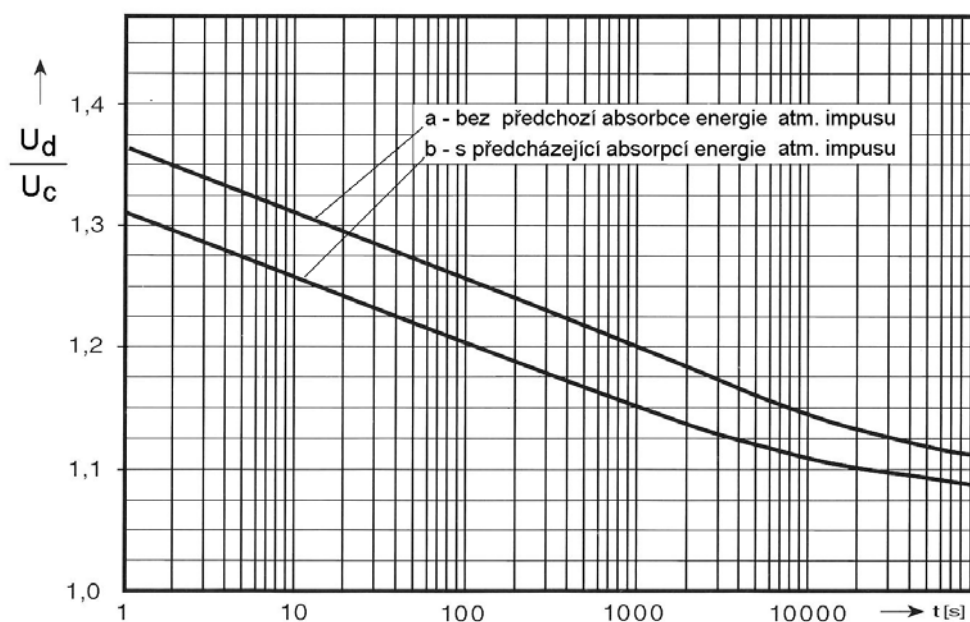
Správná volba trvalého provozního napětí  $U_c$  omezovačů by měla znamenat optimální parametry ochrany, tedy vyvážené riziko ohrožení spolehlivosti dodávky z obou příčin. Parametry ochrany lze zlepšit:

- výběrem omezovačů s plošší VA charakteristikou (kvalitnější bloky, vyšší třída),
- připojováním omezovačů co nejbližší k chráněnému zařízení co nejkratšími propojovacími vodiči

Při volbě trvalého provozního napětí omezovače  $U_c$  a odpovídajícího jmenovitého napětí  $U_r$  je určující tepelné namáhání omezovače při dočasných přepětích vyskytujících se během provozu a v mimořádných provozních stavech. Obecně se postupuje tak, že se nejprve vyšetří, jaká dočasná přepětí s jakou velikostí a po jakou dobu budou tepelně namáhat omezovače přepětí v daném místě sítě a zapojení. Určí se nejhorší kombinace dočasných přepětí, která se mohou vyskytnout současně nebo v krátkém časovém intervalu. Pro každou složku se určí velikost napětí a doba jeho působení na omezovač.

Tepelné účinky dočasných přepětí jsou úměrné součinu napětí, proudu procházejícího omezovačem a času. Jak bylo uvedeno, proud tekoucí omezovačem je úměrný přibližně 51. mocnině napětí. Proto tepelné účinky jsou též úměrné této mocnině. Pro každou složku dočasného přepětí se vypočte její tepelný účinek, tepelné účinky jednotlivých složek se sečtou a pro součtový tepelný účinek se vypočte takové napětí, které by tento tepelný účinek způsobilo za dobu 10 sekund (tzv. desetisekundové napětí  $U_{10s}$ ). Výrobce

udává v technické dokumentaci omezovače buď číselně přípustné  $U_{10s}$  pro daný omezovač, nebo graf závislosti přípustného dočasného přepětí (jako násobku  $U_c$  nebo násobku  $U_r$ ) na době jeho působení, ve kterém lze tuto hodnotu nalézt. V těchto grafech jsou zakresleny zpravidla dvě závislosti:  $\underline{a}$  – přípustné přepětí bez předchozí absorpce energie impulsu a  $\underline{b}$  – s předcházející absorpcí energie impulsu. Příklad takového grafu je na obrázku 3. Z hlediska dočasných přepětí musí omezovač vyhovět podle závislosti  $\underline{b}$ , protože dočasná přepětí mohou nastat právě po úderu blesku, jehož energii omezovač absorboval.



**Obrázek 3 - Velikost přípustného dočasného přepětí  $U_d$  v závislosti na době jeho trvání  $t$ .**

V distribučních sítích dochází k největšímu tepelnému namáhání omezovačů při nepřerušovaném jednofázovém zemním spojení, ale především při přerušovaném zemním spojení (PZS).

#### 4.1.2. Nepřerušované zemní spojení

Nepřerušované zemní spojení znamená trvalé propojení fázového vodiče se zemí v místě poruchy (někdy označované také jako kovové spojení). Napětí na zdravých fázích dosahuje hodnoty maximálního sdruženého napětí sítě  $U_m$ .

#### 4.1.3. Přerušované zemní spojení (PZS)

Při přerušovaném zemním spojení dochází k zemnímu spojení, následnému částečnému obnovování izolace a jejímu opětovnému prorážení. Zemní spojení nastává opakovaně a v krátkých časových intervalech. Při PZS vznikají přechodné napěťové složky vyšší než sdružené napětí, které namáhají tepelně omezovače po dobu trvání přerušovaného zemního spojení. Je-li přitom překročena jejich tepelná kapacita, může dojít k poruše omezovačů.

Z hlediska tepelného namáhání je velmi důležitá doba působení přerušovaného zemního spojení. Ta může být několik sekund u rychle vypínaných sítí, ale může být i několik hodin.

Když není určeno jinak, omezovače se dimenzují pro nejhorší variantu jejich namáhání dočasnými přepětími, tj. pro dlouhodobě působící přerušované zemní spojení.

#### 4.1.4. Ferorezonance

Ferorezonance je oscilace LC obvodu, při níž dochází k přesycování jádra magnetického obvodu indukčnosti  $L$ . V distribučních sítích s neúčinně uzemněným středem se za určitých podmínek vyskytují například ferorezonance přístrojových transformátorů napětí s kapacitou fázových vodičů proti zemi.

Při ferorezonanci vzniká tzv. ferorezonanční přepětí, které může dosahovat hodnot výrazně převyšujících napětí  $U_m$ . Omezovače přepětí nelze dimenzovat na toto ferorezonanční přepětí. Podmínkou vzniku a udržení ferorezonance jsou nízké ztráty rozkmitané části obvodu. Omezovače přepětí ve většině případů přispívají k zatlumení ferorezonančních kmitů, ale toto chování obvodu nelze zaručit ve všech konfiguracích ferorezonančních obvodů. Proto je nutné ferorezonanci v obvodech chráněných omezovači přepětí vyloučit aplikací vhodných opatření (zvýšení ztrát obvodu, zvýšení kapacity obvodu, použití transformátorů s vyšší odolností proti přesycení).

## 4.2. Volba trvalého provozního napětí $U_c$ omezovačů přepětí zapojených mezi fáze a zem

### 4.2.1. Volba $U_c$ pro sítě s izolovaným středem

V sítích s izolovaným středem se při zemním spojení na omezovačích zapojených mezi zdravé fáze a zem může vyskytovat trvale sdružené napětí  $U_m$ , a proto musí být

$$U_c \geq U_m$$

U sítí, kde se předpokládá dlouhodobý provoz venkovních vedení s přerušovaným zemním spojením (provoz sítě v těžkých podmínkách) za podmínky že to zařízení sítě dovoluje, je nutné, aby omezovače vydržely po dobu několika hodin tepelné namáhání při přerušovaném zemním spojení. Při něm opakovaně vzniká na zdravých fázích přechodné impulsní přepětí větší než sdružené, takže přerušované zemní spojení způsobuje větší tepelné namáhání omezovačů než trvalé zemní spojení. Jeho velikost závisí na mnoha faktorech, zejména na celkové kapacitě sítě proti zemi, rozptylové reaktanci napájecího transformátoru a způsobu obnovování izolace v místě zemního spojení. Omezovače absorbují energii zejména omezením krátkých špiček přepětí zdravých fází při opakovaných průrazech fáze postižené přerušovaným zemním spojení.

Volba  $U_c$  v izolovaných systémech pro těžké provozní podmínky je potom

$$U_c \geq 1,06 U_m$$

Dimenzuje-li se omezovač do sítě, která se trvale provozuje s napětím  $U_s$  nižším než  $U_m$  a za podmínky, že při vzniku zemního spojení je zaručeno jeho vypnutí v čase do 30 min, je možné volit  $U_c$  nižší než  $U_m$ . Rozhodující pro splnění napěťové podmínky je zaručená nejvyšší hodnota napětí vyskytující se v místě aplikace omezovačů přepětí. Tuto hodnotu je vhodné ověřit měřením.

Volba  $U_c$  pro zaručené napětí  $U_s \leq 0,95 U_m$  a rychlé vypínání ZS do 30 min je

$$U_c \geq 0,95 U_m$$

#### 4.2.2. Volba $U_c$ pro síť kompenzované tlumivkou

Platí hodnoty z bodu 4.2.1, tzn. platí základní podmínka

$$U_c \geq U_m$$

Kompenzace proudu zemního spojení zhášecí tlumivkou naladěnou do stavu rezonance s kapacitou sítě znamená téměř vymizení tohoto proudu, ale také labilitu nulové složky napětí - snadno vzniká nesymetrie fázových napětí např. vlivem rozdílných kapacit fází proti zemi. Při přerušovaném zemním spojení to znamená opakované rozkmitávání nulové složky napětí s malým tlumením. Důsledkem jsou opakující se stavy zdravých fází s napětím 50 Hz převyšujícím sdružené napětí. V takovém případě omezovače přepětí absorbují energii nejen při omezení krátkých špiček při opakovaných průrazech zemního spojení, ale i při následných zákmitech napětí 50 Hz převyšujících sdružené napětí. Energie absorbovaná omezovači velmi závisí na naladění zhášecí tlumivky.

V sítích kompenzované tlumivkou, ve kterých se předpokládá dlouhodobý provoz venkovních vedení s přerušovaným zemním spojením (provoz sítě v těžkých podmínkách) za podmínky, že to zařízení sítě dovoluje, doporučuje se volit  $U_c$ :

$$U_c \geq 1,06 U_m.$$

Dimenzuje-li se omezovač do části sítě, která se trvale provozuje s napětím  $U_s$  nižším než  $U_m$  a za podmínky, že při vzniku zemního spojení je zaručeno jeho vypnutí v čase do 30 min, je možné volit  $U_c$  nižší než  $U_m$ . Rozhodující pro splnění napěťové podmínky je zaručená nejvyšší hodnota napětí vyskytující se v místě aplikace omezovačů přepětí. Tuto hodnotu je vhodné ověřit měřením.

Volba  $U_c$  pro zaručené napětí  $U_s \leq 0,95 U_m$  a rychlé vypínání ZS do 30 min je

$$U_c \geq 0,95 U_m$$

#### 4.2.3. Volba $U_c$ pro síť se středem uzemněným odporníkem

Výhodou z hlediska dimenzování omezovačů přepětí je rychlé vypnutí úseku se zemním spojením během několika sekund. V sítích se středem uzemněným odporníkem je přepětí při přerušovaném zemním spojení nižší než u sítí izolovaných nebo se zhášecí tlumivkou. Pokud se rychlé vypínání považuje za spolehlivé, lze volit  $U_c$  nižší než v předešlých případech, uvažovat lze hodnoty  $U_c = 0,87$  až  $0,95 U_m$ .

Toto dimenzování je nutno pečlivě zvážit a posoudit, zda nemůže v praxi dojít např. k připojení dané části sítě k jiné síti, která je kompenzovaná tlumivkou (nouzový provoz propojených sítí). V případě zemního spojení v takto propojené síti může dojít ke zničení všech omezovačů dimenzovaných na rychlé vypínání zemních spojení. V takovém případě

je vhodné použít horní mez rozpětí  $U_c = 0,95 U_m$  (u sítě s  $U_m = 25 \text{ kV}$  je toto  $U_c = 24 \text{ kV}$ ). Je nutné si uvědomit, že omezovače s napětím  $U_c$  nižším než  $U_m$  dimenzované na rychlé vypínání v síti s uzemněním středu přes odporník jsou na tuto vlastnost systému vázány, což může být po letech provozu a při změnách zapojení sítě zapomenuto.

**Tabulka 1 - Volba trvalého provozního napětí  $U_c$  omezovačů pro různé typy sítí a provozní podmínky**

Omezovače mezi fáze a zem	Provoz s rychlým vypínáním PZS a zaručeným napětím $U_s < 0,95 U_m$	Provoz s vypínáním PZS do 2 hod	Dlouhodobý provoz s PZS
sítě s izolovaným středem	$\geq 0,95 U_m$ (30 min)	$\geq U_m$	$\geq 1,06 U_m$
sítě kompenzované tlumivkou	$\geq 0,95 U_m$ (30 min)	$\geq U_m$	$\geq 1,06 U_m$
sítě se středem uzemněným odporníkem	$0,87 - 0,95 U_m$ (60 s)	$0,95 - 1 U_m$	$\geq 1,06 U_m$

### 4.3. Volba trvalého provozního napětí $U_c$ omezovačů přepětí v ostatních zapojeních

#### 4.3.1. Omezovače chránící zhášecí tlumivku a střed vinutí transformátoru

Omezovače chránící zhášecí tlumivku naladěnou blízko rezonance jsou při přerušovaném zemním spojení (PZS) namáhány dočasným přepětím 50 Hz dosahujícím hodnot až  $0,7 U_m$ . Proto se volí trvalé napětí omezovače  $U_c \geq 0,7 U_m$

#### 4.3.2. Omezovače chránící odporník a střed vinutí transformátoru

Na odporníku se při zemním spojení může vyskytnout dočasné přepětí  $0,65 U_m$  po dobu desítek sekund s přechodnou složkou max.  $0,7 U_m$  po dobu 5 s. Aby omezovač vyhověl tomuto tepelnému namáhání musí se volit  $U_c = 0,6 U_m$ .

### 4.4. Volba energetické třídy a jmenovitého výbojového proudu omezovačů přepětí

Energetické třídy 1 až 5 rozdělují omezovače do skupin podle velikosti přípustné energie přepětí, kterou jsou schopny absorbovat, aniž by došlo k jejich degradaci nebo ztrátě tepelné stability při provozním napětí. Čím vyšší je třída, tím větší je energetická kapacita omezovače.

Energie, kterou omezovač musí absorbovat při omezení přepětí, roste s napětím sítě, v níž je použit. Absorbovaná energie však roste rychleji než napětí. Omezovače v sítích s vyšším napětím musí mít větší energetickou kapacitu než omezovače v sítích s nižším napětím. Tomu odpovídá praxe aplikace omezovačů, tj. že v sítích vn se používají omezovače bez klasifikace třídy (5 kA) či třídy 1 nebo 2 (10 kA).

*POZNÁMKA* V sítích 110 kV se používají omezovače třídy 2 a 3, v sítích 220 kV omezovače třídy 2, 3 a 4 a konečně v sítích 400 kV omezovače třídy 3, 4 a 5.

Volba jmenovitého výbojového proudu a energetické třídy omezovače přepětí je založena na výpočtu četnosti překročení energetické kapacity omezovače v daném místě aplikace. Oba parametry se určují na základě vyhodnocení důležitosti bezporuchového provozu

daného zařízení, z různých hledisek, např. ceny chráněného zařízení, nákladů na opravu, doby nucené odstávky, možnosti záskoku nebo rychlé náhrady apod.

Na základě provozních zkušeností a výpočtů provedených pro typické aplikace, u nichž se předpokládají podobné napěťové a energetické poměry a s přihlédnutím k důležitosti bezporuchového provozu daných typů zařízení byly určeny vhodné třídy a jmenovité proudy pro jednotlivé aplikace:

**Tabulka 2 Volba jmenovitého výbojového proudu a energetické třídy omezovačů přepětí podle druhu zařízení**

Zařízení	Jmenovitý výbojový proud	Energetická třída
Vedení	5 kA	-
přístroje na vedení - s větší důležitostí	10 kA	1 (2)
- ostatní	5 kA	-
Kabelové úseky vložené do vedení a závěsné kabely	10 kA	1 (2)
DTS s přívodem venkovním vedením	5 kA, 10 kA	1
DTS s kabelovým zaústěním	10 kA	1 (2)
Kobkové a skříňové rozvodny vn (vstupy vedení, kabelová zaústění, transformátory 110/vn, zhášecí tlumivky, odporníky )	10 kA	1(2)

Hodnoty uvedené v závorkách se volí v případě, že nelze dodržet podmínky stanovené pro ochranná opatření v odstavci 6.1, a v případě, nachází-li se chráněné zařízení v oblasti s vysokou intenzitou bouřkové činnosti.

#### 4.5. Povrchová dráha izolace omezovačů

Pro oblasti znečištění I až II je vyhovující povrchová dráha 22,5 mm/kV sdruženého napětí. Pro oblast znečištění III. se doporučuje povrchová dráha 25 mm/kV sdruženého napětí. V oblastech znečištění IV se volí povrchová dráha 31 mm/kV a více.

## 5. Zásady pro umístování a připojování

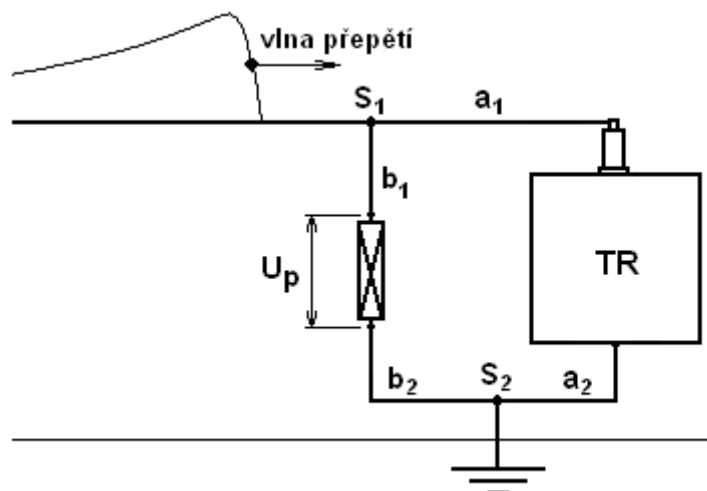
### 5.1. připojování všeobecně

Omezovač přepětí omezuje přepětí na hodnotu napětí  $U_p$ , které se nazývá ochranná hladina omezovače.

Ochranná hladina omezovače  $U_p$  je napětí na jeho svorkách, při daném tvaru a vrcholové hodnotě procházejícího proudu. Určité hodnoty napětí charakterizující ochrannou hladinu omezovače lze vyčíst z katalogových údajů výrobců – jsou to tzv. reziduální neboli zbytková napětí omezovače  $U_{res}$  pro různé velikosti impulsních proudů a jejich tvary. Např. u omezovačů do sítí 22 kV s  $U_c = 25$  kV se pohybují  $U_{res}$  v rozmezí 60 kV pro spínací impulsy s pomalým čelem a proudem řádově stovek ampérů až po 90 kV při strmém atmosférickém proudovém impulsu 10 kA s čelem 1  $\mu$ s.

Na obrázku 4 je schéma připojení omezovače k chráněnému zařízení, v tomto příkladě transformátoru. Vlna přepětí přichází po vedení do bodu  $S_1$  a zde se dělí a pokračuje

jednak po vodiči a k transformátoru, jednak po vodiči b k omezovači. Od transformátoru, který má pro impulsní přepětí vysokou impedanci se přepětí odrazí se stejnou polaritou a vznikne kladný rozdíl přepětí  $\Delta U_a$  mezi transformátorem a bodem  $S_1$ . Od omezovače, který tvoří pro přepětí převyšující  $U_p$  zkrat se přepětí odrazí s opačnou polaritou a vznikne záporný rozdíl přepětí  $-\Delta U_b$  mezi omezovačem a bodem  $S_1$ . Celkový rozdíl napětí mezi omezovačem a transformátorem se rovná hodnotě  $\Delta U = \Delta U_a$  a  $\Delta U_b$ . O tento rozdíl je přepětí na transformátoru vyšší než na svorkách omezovače.



**Obrázek 4 - Jednopolové schéma ochrany s vyznačením úseků vodiče a a vodiče b**

Na vodiči b vzniká zhruba 2x až 3x větší rozdíl impulsního přepětí než na vodiči a. Je to tím, že vodičem b narozdíl od vodiče a navíc protéká velký impulsní bleskový proud řádu kA s velkou strmostí nárůstu a tak na vodiči b vzniká reaktanční úbytek přepětí. Proto je důležité, aby vodič b měl co nejmenší indukčnost (dostatečný průřez) a byl co nejkratší.

Do délky vodiče b je nutné započítat jak délku vodiče  $b_1$  mezi bodem připojení  $S_1$  a vn elektrodou omezovače, tak délku vodiče  $b_2$  mezi spodní elektrodou omezovače a bodem  $S_2$ , kde se spojuje uzemnění omezovače a chráněného zařízení:  $b = b_1 + b_2$ .

Do délky vodiče a se započítává jak délka vodiče  $a_1$  mezi bodem připojení  $S_1$  a vn svorkou chráněného zařízení, tak délka vodiče  $a_2$  mezi uzemňovací svorkou chráněného zařízení a bodem  $S_2$ , kde se spojuje uzemnění omezovače a chráněného zařízení:  $a = a_1 + a_2$ .

Pokud je součástí vodičů  $a_2$  nebo  $b_2$  příhradová nebo jiná rozměrná kovová konstrukce, její délka se nezapočítává.

## 5.2. Obecně platná pravidla pro připojování

Z uvedené charakteristiky vyplývají čtyři pravidla, která lze při ochraně v sítích vn uplatnit obecně:

1. Omezovače přepětí a zařízení, které má být chráněno musí být uzemněny na společný systém uzemnění. Galvanické propojení mezi uzemňovacími svorkami omezovačů a uzemněním chráněného zařízení musí být co nejkratší.
2. Celková délka vodičů a a b připojení omezovačů k chráněnému zařízení musí být co nejkratší



3. Vždy se doporučuje, aby vodič b byl co nejkratší, nebo alespoň kratší než vodič a.
4. Pro připojování jsou páskové vodiče vhodnější než s kruhovým průřezem, protože při stejném průřezu mají páskové vodiče menší indukčnost a impulsní úbytky přepětí na nich jsou menší. Minimální průměr připojovacího vodiče je 6 mm. Minimální šířka páskového vodiče je 12 mm.

### 5.3. Ochranný dosah omezovače

Zařízení je v ochranném dosahu omezovače, pokud pro zvolený případ nejnepříznivějšího přepětového namáhání přepětí na zařízení nepřekročí izolační výdržnou hladinu zařízení.

Ochranný dosah neboli ochranná vzdálenost omezovače přepětí jsou různé v různých konfiguracích chráněných zařízení a nelze je stanovit jednotně.

Protože přepětové charakteristiky jsou odlišné v různých konfiguracích chráněných zařízení, je ochrana v typických případech řešena jednotlivě, viz v bodě 7.

## 6. Podpurná ochranná opatření

Jsou to z hlediska ochrany omezovači přepětí důležitá doplňková ochranná opatření, která činí systém ochrany více vyvážený, který nespolehá pouze na omezovací schopnost omezovačů přepětí, ale zajistí, aby hlavní část energie blesku byla svedena jinou cestou.

*POZNÁMKA Při navrhování a provádění uzemnění se postupuje podle PNE 33 0000-1.*

K podpurným opatřením patří:

### 6.1. Uzemnění stožárů před stanicí

Při blízkém úderu blesku do vedení je přepětí přicházející na chráněné zařízení složeno z velmi rychlých špiček s malou energií a pomalejší vlny s velkou energií. Vrcholová hodnota přepětí a energie této vlny je úměrná odporu uzemnění nejbližších stožárů. Tuto energii z velké části musí absorbovat omezovače přepětí chránící zařízení. Proto má být odpor uzemnění prvního sloupu nebo stožáru před chráněným zařízením co nejmenší.

Vedení na dřevěných sloupech má izolační pevnost fázových vodičů proti zemi 3 až 4 MV, takže je při přímém úderu blesku do vedení v blízkosti chráněného zařízení schopno přenést téměř celou energii blesku na chráněné zařízení a na jeho omezovače přepětí. Proto musí mít v každém případě alespoň jeden sloup před chráněným zařízením konzoly uzemněné páskem, aby hlavní část energie přepětí byla svedena do země mimo chráněné zařízení a omezovače přepětí. Tento účel splní i uzemnění úsekového odpínače. Hodnota odporu uzemnění sloupu by měla být co nejnižší. Za přiměřeně nízký odpor uzemnění se považuje hodnota dosažená páskovým zemničem v délce 20 m nebo jiným rovnocenným zemničem.

Doporučuje se, aby uzemnění konzol bylo aplikováno i v délce vedení na dřevěných sloupech minimálně každý 1 km vedení a na všech odbočeních vedení.

*POZNÁMKA 1 U vedení na dřevěných sloupech se v odůvodněných případech a v oblastech se zvýšenou intenzitou bouřkové činnosti nejvyššího účinku dosáhne uzemněním konzol tří sloupů před chráněným zařízením.*

*POZNÁMKA 2 Dalším opatřením je propojení uzemnění prvního stožáru s uzemněním chráněného zařízení. Toto opatření má podobný účinek, jako výběhové lano v prvním rozpětí.*

## 6.2. Výběhová lana

Výběhová nebo-li zemnicí lana se instalují v souladu s normou ČSN 380810. Výběhová lana u vedení vn nezabrání při blízkém úderu blesku přeskočení na fázové vodiče, ale snižují vrcholovou hodnotu přepětí o 10 až 20 % a energii přicházející přepětíové vlny o 30 až 50 %. Mohou však přispět k zvýšení potenciálu chráněného zařízení (zejména je-li odpor jeho uzemnění srovnatelný nebo dokonce vyšší než připojeného vedení), což se může projevit nepříznivě přenosem přepětí např. do sítě nn. Proto výběhová lana nejsou všeobecně platným opatřením pro snížení přepětí a použijí se jen v odůvodněných případech. Takovým případem je sdružené zaústění vedení do rozvodny, viz v dalším odstavci.

## 6.3. Sdružené zaústění vedení

Velmi účinným opatřením na snížení přepětí je tzv. sdružené zaústění vedení do rozvodny. V případě zaústění většího počtu vedení do rozvodny je z hlediska omezení přepětí vstupujícího do rozvodny výhodné řešit poslední minimálně 3 stožáry před rozvodnou jako integrované portály s několika dřívky spojenými příčnými nosníky nesoucími všechna vedení a chráněnými vhodným počtem zemnicích lan. Vznikne tak kovová struktura s velmi nízkou impedancí a nízkým celkovým odporem uzemnění. Při úderu blesku ať už do uzemněných struktur se zpětnými přeskočeními na fázové vodiče nebo i úderu přímo do fázových vodičů dojde velmi rychle k poklesu přepětí, které ještě více klesne při následných přeskočeních na jiných portálech, takže na omezovači přepětí na vstupu vedení do rozvodny se dostane přepětí již velmi snížené a s malou energií.

## 7. Ochrana prvků sítě vn

V následujících odstavcích je určen správný způsob ochrany omezovači přepětí u konkrétních druhů zařízení vn, tzn. jsou stanoveny podmínky pro aplikaci omezovačů vzhledem k parametrům zařízení, určena místa připojení a případně maximální délky připojovacích vodičů.

### 7.1. Vedení s holými vodiči

Hromadné nasazení omezovačů na vedeních 35 a 22 kV distribučních sítí se vzhledem k vysokým nákladům, malému vlivu na výpadkovost vedení a potenciální poruchovosti omezovačů rozhodně nedoporučuje.

Připouští se aplikace omezovačů na vedení zcela výjimečně, např. v místech prokazatelně exponovaných zvýšenou bouřkovou činností v odůvodněných případech, kdy tímto opatřením dojde k požadovanému poklesu výpadkovosti vedení. Doporučuje se posuzovat tyto případy individuálně s pomocí výpočtové analýzy (viz příloha).

*POZNÁMKA Někdy je v takovém případě vhodné použít omezovače přepětí v provedení s odpojovačem, který zamezí vzniku zemního spojení způsobeného poškozeným, nebo zničeným omezovačem. U takových omezovačů je však třeba pravidelně vizuálně kontrolovat zda nedošlo k jejich odpojení – zda plní svoji ochrannou funkci.*

## **7.2. Vedení s izolovanými vodiči**

Výhodou vedení s izolovanými vodiči je menší četnost přímých úderů blesku do fázových vodičů než u vedení s holými vodiči vlivem jeho izolace. Nevýhodou izolovaných vodičů je, že v případě průrazu izolace přepětím toto místo zůstává trvale izolačně zeslabeno a v případě průtoku zkratového proudu hrozí přepálení vodiče, protože zkratový proud protéká stále stejným bodem průrazu izolace narozdíl od holých vodičů, kde se koncový bod oblouku pohybuje po vodiči. Při přímém úderu dojde v místě úderu k průrazu izolace jednoho fázového vodiče. V určitém procentu případů dojde k průrazu více fázových vodičů a s velkou pravděpodobností vznikne mezifázový zkrat. V případě překročení určité doby trvání zkratu, dojde k přepálení vodičů v místě zkratu. Další poškození izolace vodičů hrozí v nejslabších místech izolace vedení, tj. na izolátorech s uzemněnými konzolami. K tomu může dojít i při nepřímých úderech blesku blízko vedení, pokud indukované přepětí na vedení překročí izolační pevnost izolace a izolátoru.

### **7.2.1. Ochrana před účinky indukovaných přepětí**

V případě indukovaných přepětí při nepřímých úderech je přepětí ve všech fázích přibližně stejné a nedojde k mezifázovému průrazu. Pokud je vedení na dřevěných sloupech s neuzemněnými konzolami, nehrozí ani průraz na izolátorech, protože izolační pevnost dřevěných sloupů značně převyšuje maximální hodnoty indukovaných přepětí. K průrazu může dojít pouze na izolátorech sloupů nebo stožárů s uzemněnými konzolami. Proto se doporučuje vedení na dřevěných sloupech chránit na sloupech s uzemněnými konzolami a u vedení na betonových nebo ocelových sloupech se doporučuje umístit ochranu každý 1 km vedení a u všech vedení také v případech vyjmenovaných v normě ČSN EN 60 543 - 3 -19.

### **7.2.2. Ochranné prvky pro vedení s izolovanými vodiči**

Obecně ochrana vedení s izolovanými vodiči může být zajištěna různými druhy přepětiových ochranných zařízení jako jsou omezovače přepětí, omezovače přepětí s hrotovým jiskřištěm nebo hrotová jiskřiště. Jak vyplývá ze 7.2.1, účinné ochrany lze dosáhnout pouze aplikací velkého počtu ochranných prvků. Protože hromadné nasazení omezovačů přepětí by bylo velmi nákladné a z hlediska provozní spolehlivosti náročné, realizuje se ochrana hrotovými jiskřišti i za cenu, že zapůsobení ochrany (přeskok na hrotovém jiskřišti) může být následováno průtokem zkratového proudu, který musí být vypnut (OZ). Elektrody hrotových jiskřišť musí odolávat účinkům zkratových proudů (platí bod 3.1 v plném rozsahu)

### **7.2.3. Volba ochrany vedení s izolovanými vodiči**

Sloupy s uzemněnými konzolami určené k ochraně podle bodu 7.2.1 se chrání hrotovými jiskřišti mezi fázovými vodiči a zemí.

Jiskřiště se instalují v určité vzdálenosti od konstrukčních prvků sloupu tak, aby hoření oblouku nebylo ovlivněno, tzn. aby oblouk po celou dobu hořel mezi elektrodami jiskřiště a nepřeskočil na kovové části sloupu. Vhodná vzdálenost je dána použitou konstrukcí hrotových jiskřišť. Doskoky jiskřišť pro vedení 22 kV a 35 kV jsou v tabulce 3.

**Tabulka 3 - Dostupné jiskřiště podle napětí sítě**

Napětí sítě	22 kV	35 kV
Dostupné jiskřiště fáze-zem	12 cm	15 cm

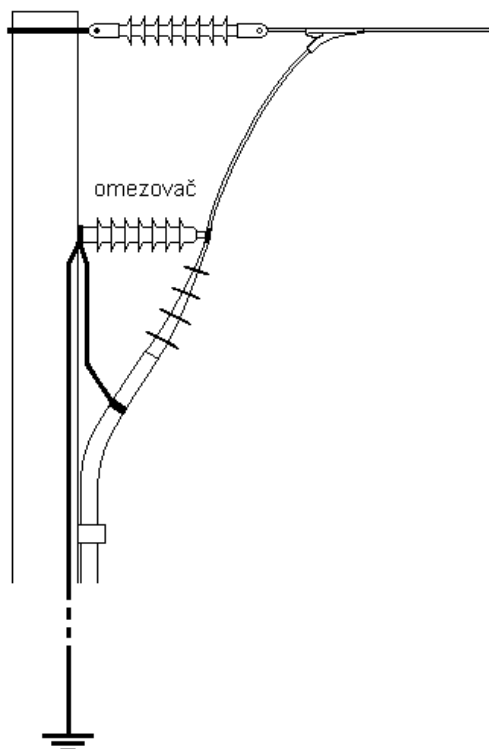
### 7.3. Přístroje na vedení

Omezovači přepětí je účelné chránit ta zařízení, kterým hrozí poškození při atmosférického přepětí na vedení. Zařízení lze chránit proti účinkům vzdálených i blízkých úderů blesku do vedení, ale nelze chránit efektivně proti přímému úderu do sloupu s instalovaným zařízením. Omezovače se připojí mezi fáze a uzemněnou konzoli na sloupu, kde je instalované chráněné zařízení. Maximální přípustná délka přívodů je 2 m. Dálkově ovládané odpínače (DOO) a vypínače osazené přístrojovými transformátory napětí a proudu ve všech fázích se chrání omezovači přepětí z obou stran. U ostatních DOO se chrání pouze přístrojové transformátory napětí.

### 7.4. Přechod venkovního vedení do kabelu

Kabel se na přechodu z venkovního vedení vždy chrání omezovači přepětí.

Zemní svorky omezovačů jsou připojeny nejkratším způsobem na konstrukci stožárů nebo k uzemňovacímu svodu sloupu. Plášť kabelu je nejkratším způsobem připojen do místa připojení zemních svorek omezovačů na konstrukci stožáru nebo k uzemňovacímu svodu sloupu.



**Obrázek 5 - Optimální způsob připojení omezovače ke koncovce kabelu**

Fázový vodič se musí přiblížit co nejdříve vn svorce omezovače tak, aby připojení mezi vn svorkou omezovače a fázovým vodičem bylo co nejkratší, nejlépe nulové délky.

Fázový vodič mezi omezovačem a kabelovou koncovkou musí být co nejkratší. Optimální uspořádání, které se běžně používá, je na obrázku 5.

## **7.5. Vložené kabelové úseky a závěsné kabely**

Každý úsek kabelu vložený do venkovního vedení musí být chráněn omezovači přepětí instalovanými na obou koncích kabelu s výjimkou velmi krátkých úseků do délky 10 m, kde stačí ochrana omezovači z jedné strany kabelu.

Omezovače se připojují způsobem popsáním v bodě 7.4 (optimální připojení na obrázku 5). Ochranná opatření obsažená bodě 6.1 musí být dodržena u vedení na obou stranách vloženého kabelového úseku.

Závěsné kabely se chrání stejným způsobem jako kabely úložné.

## **7.6. Kabelová zaústění**

Kabelová zaústění z venkovních vedení se chrání na přechodu z venkovního vedení podle bodu 7.4. Kabelová zaústění z venkovních vedení delší než 25 m je vhodné chránit i na opačném konci kabelu, tzn. instalovat další sadu omezovačů a to vždy na straně kabelu před rozpínacím místem. Pokud je instalace těchto omezovačů obtížně realizovatelná (z prostorových důvodů např. u některých rozvaděčů SF<sub>6</sub>) je možné od ní upustit na základě posouzení daného případu pomocí vhodných výpočtů. V takových případech se doporučuje provést dodatečná opatření ke snížení přepětí (výběhová lana, sdružené zaústění).

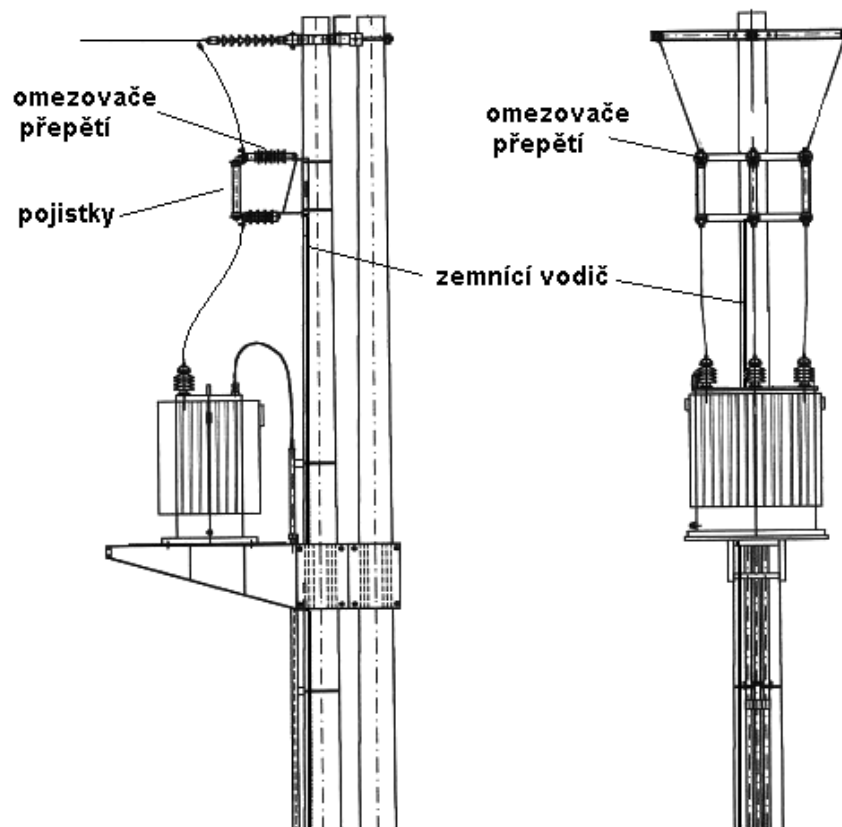
*POZNÁMKA Tento odstavec se nevztahuje na kabelové zaústění do DTS. Kabelové zaústění do DTS řeší samostatný bod 7.7.*

## **7.7. Distribuční transformační stanice (DTS)**

### **7.7.1. DTS sloupové a DTS na příhradových stožárech**

U nových konstrukcí se omezovače umísťují do pojistkových spodků a jsou připojeny z pohledu od vedení před pojistkami. Toto připojení omezovačů je na obrázku 6.

V ostatních zapojeních se doporučuje, aby omezovače byly připojeny svými zemnicími svorkami co nejkratším způsobem na konstrukci stožáru nebo k zemnicím svodům betonového sloupu.



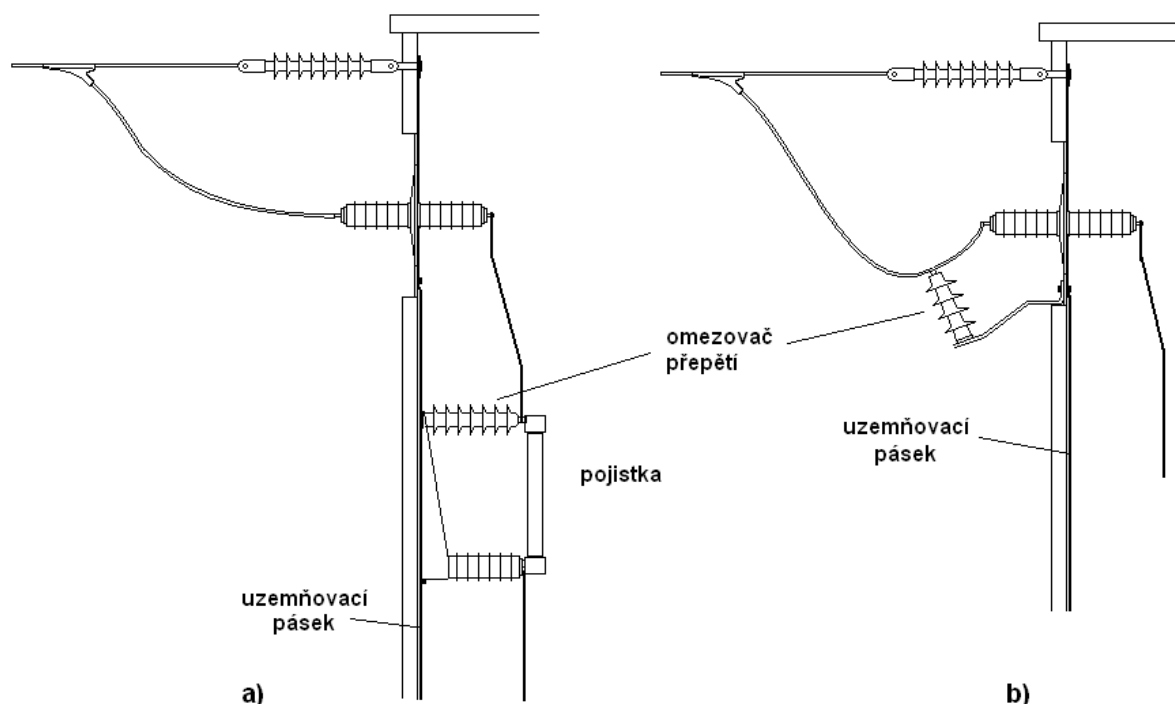
**Obrázek 6 - Připojení omezovačů chránících sloupové DTS**

### 7.7.2. DTS věžové

U věžových DTS se omezovače připojují dvěma způsoby:

- a) omezovače přepětí jsou součástí pojistkového spodku za stěnovou průchodkou uvnitř budovy (obrázek 7 a).
- b) omezovače přepětí jsou připevněny na kovové konzoly připojené vodivě na kostru stěnových průchodek (obrázek 7 b). Klesačky vedení jsou směrem od vedení připojeny nejprve na omezovače přepětí a potom k stěnovým průchodkám.

V obou případech jsou omezovače uzemněny páskem vedeným uvnitř budovy.



**Obrázek 7 - Dvě alternativy připojení omezovačů přepětí chránících věžové DTS  
a) v pojistkovém spodku b) před stěnovými průchodkami**

### 7.7.3. Ochrana DTS zděných, vestavěných, s kabelovým zaústěním

#### 7.7.3.1. Koncové kabelové DTS napájené z venkovního vedení

Chrání se vždy omezovači přepětí na přechodu venkovní vedení – kabel podle bodu 7.4. Je-li kabelové zaústění DTS delší než 40 m, chrání se DTS další sadou omezovačů instalovanou na opačném konci kabelu co nejbližší ke koncovkám kabelu.

#### 7.7.3.2. Stanice na přechodu do kabelové sítě– napájené z venkovního vedení

Chrání se vždy omezovači přepětí na přechodu venkovní vedení – kabel podle bodu 7.4. Další sada omezovačů se instaluje vždy do rozváděče /přívodní kobky/ DTS.

#### 7.7.3.3. Stanice druhé v pořadí na přechodu z venkovního vedení do kabelové sítě

Do těchto stanic se instalují omezovače vždy, jakmile připadá v úvahu provoz s rozpojenou smyčkou v tomto místě. Omezovače přepětí se instalují ke koncovkám kabelu přicházejícího ze strany stanice na přechodu z venkovního vedení do kabelové sítě.

#### 7.7.3.4. Smyčkové stanice uvnitř kabelové sítě

Smyčkové stanice uvnitř kabelové sítě jsou stanice zapojené v pořadí třetí a vyšší od stanice na přechodu z venkovního vedení do kabelové sítě. Tyto stanice se doporučuje chránit omezovači přepětí v případě, že jsou dlouhodobě provozovány jako rozpojené a v případě odůvodněného požadavku zajištění zvýšeného stupně spolehlivosti. U rozpojených smyčkových stanic se omezovači přepětí chrání ten konec kabelu, z jehož strany může přicházet atmosférické přepětí bez větvení. V případě, že tuto podmínku splňují oba směry, chrání se oba konce kabelů v této stanici.

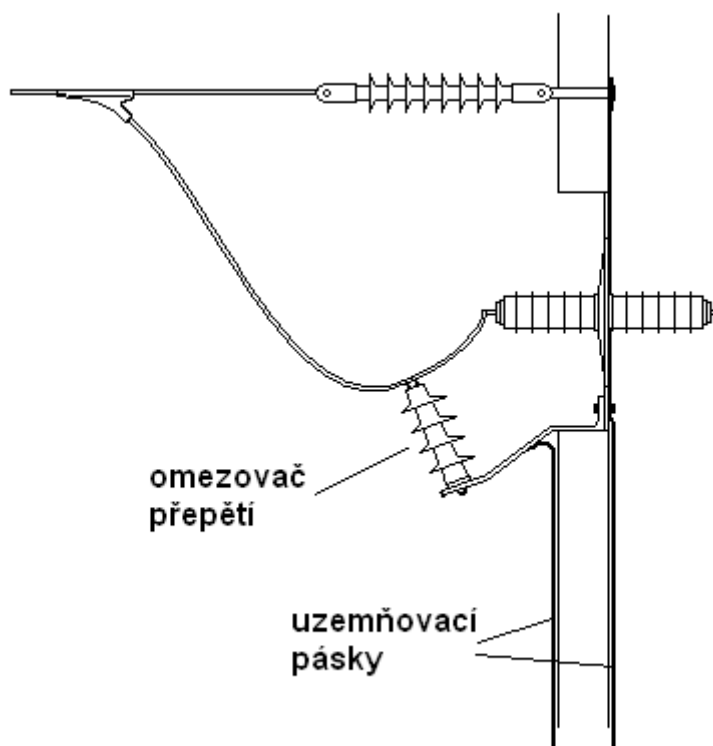
### 7.7.3.5. Koncové stanice uvnitř kabelové sítě

Jsou to koncové stanice napájené kabelem z některé ze smyčkových stanic (T-připojení). Chrání se omezovači přepětí pouze v případě, že jsou napájeny ze stanice na přechodu do kabelové sítě (bod 7.7.3.2).

## 7.8. Kobkové a skříňové transformovny 110 kV/VN

### 7.8.1. Rozvodny vn

Při přímém zaústění venkovních vedení vn se omezovače umístí na konzoly před stěnové průchodky každého zaústěného vedení. Klesáčky fázových vodičů se připojí nejprve na vn svorky omezovačů a potom na svorky stěnových průchodek. Konzoly omezovačů se uzemní svisle vedenými pásky na vnější obvodový zemnič rozvodny. Na každou trojici omezovačů musí být minimálně jeden zemnicí pásek. Zároveň se konzoly propojí nejkratším způsobem páskem na systém uzemnění vývodu uvnitř budovy přes kostru stěnové průchodky na uzemnění kostry vývodových odpojovačů. Při zaústění více vedení se konzoly všech omezovačů na stěně vzájemně propojí. I v tomto případě každá sada omezovačů musí mít svůj svislý uzemňovací pásek a jedno přímé propojení na systém uzemnění uvnitř budovy přes kostru stěnových průchodek. Příklad správného připojení ochrany je na obrázku 8. Pokud se omezovače zavěšují přímo na fázové vodiče, je nutné dodržet výše popsané zásady jejich uzemnění. K zemnímu propojení se použijí páskové vodiče.



**Obrázek 8 - Připojení omezovače na stěně kobkové rozvodny, černě vyznačeno propojení uzemnění omezovačů s vnitřním uzemněním rozvodny**

Pro ochranu skříňových rozvodů platí pravidlo pro ochranu kabelových zaústění podle bodu 7.6.



### **7.8.2. Ochrana vn strany transformátoru 110 kV/vn**

Na přechody vn vývodů transformátorů 110/vn a připojených kabelů vn se připojí sada omezovačů. Uzemnění omezovačů a plášťů kabelů se nejkratším způsobem propojí na uzemnění transformátoru. V případě, že je mezi transformátorem vn/vn a kabelem vn neizolované vedení, pak délka tohoto vedení nemá přesahovat 10 metrů. Jinak je nutné instalovat omezovače jak na vývodky transformátoru, tak i ke koncovkám kabelu.

Zhášecí tlumivka se spolu se středem vinutí vn transformátoru 110 kV/vn chrání omezovačem instalovaným max. 5 m od tlumivky. Délka vodiče mezi uzlem transformátoru a tlumivkou by měla být max. 15 m. Uzemnění omezovače by mělo být co nejkratší cestou propojeno s uzemněním nádoby tlumivky a transformátoru.

Odporník se chrání omezovačem, který může být instalován blíže k nulové svorce transformátoru vzhledem k tlumicímu účinku odporníku na přepětí.

## 8. PŘÍLOHA

### 8.1. Metoda navrhování optimální ochrany zařízení omezovači přepětí

Zatímco spínací přepětí je možné měřit a výsledky vyhodnotit a zevšeobecnit, je obtížné nebo přinejmenším velmi nákladné experimentovat s atmosférickými přepětími. Proto se pro účely koordinace izolace a optimalizace ochrany proti atmosférickému přepětí v sítích vn a vvn používají různé metody výpočtů kombinované se statisticky zpracovanými daty o blescích. Pro analýzu přepětí se používají počítačové programy simulující elektromagnetické jevy v kovových strukturách – např. program EMTP.

#### 8.1.1. Statistika blesků

Vstupním údajem pro výpočet je četnost úderů blesku do země a rozdělení četnosti vrcholových hodnot proudu blesku a rozdělení četnosti strmostí čela impulsu.

#### 8.1.2. Elektrogeometrický model vedení

Pomocí tzv. EGM modelu se vypočtou statisticko-proudové parametry úderů blesků do vedení - přímých úderů do fázových vodičů a zpětných přeskoků.

#### 8.1.3. Model rozvodny s připojenými vedeními

V simulačním programu se vytvoří model příslušné konfigurace vedení (včetně stožárů, geometrie vodičů, modelů přeskoků) a chráněného zařízení popř. rozvodny (včetně všech přístrojů, kabelů, omezovačů přepětí). Simulují se úderů blesku do vedení pro určitý rozsah proudových parametrů blesku a kontroluje se, při jakých parametrech blesku dojde k překročení izolačních hladin PIH jednotlivých zařízení.

#### 8.1.4. Výpočet střední doby mezi PIH $S_{dpi}$

Z výsledků modelových výpočtů PIH se určí statistická četnost blesků, které vedou k překročení izolačních hladin zařízení a tím se určí statistická četnost výskytu PIH těchto zařízení. Převrácená hodnota četnosti PIH je střední doba mezi překročeními izolační hladiny zařízení  $S_{dpi}$ .

Výpočet se provede pro nechráněná zařízení a pro různé varianty ochrany omezovači, pokud připadají v úvahu. Pro všechny varianty výpočtu se určí  $S_{dpi}$  pro jednotlivá chráněná zařízení a pro celý systém.  $S_{dpi}$  systému se vypočte jako převrácená hodnota součtu převrácených hodnot  $S_{dpi}$  jednotlivých zařízení (neboli celková četnost PIH systému je součtem četností PIH jednotlivých zařízení).

Provede se zhodnocení zjištěných  $S_{dpi}$ . Pro jednotlivé druhy zařízení se požadují různé minimální hodnoty  $S_{dpi}$ . Pro zařízení vývodů rozveden a pro DTS a kabely jsou to řádově stovky až tisíce let a pro napájecí transformátory 110 kV/vn jsou to desetitisíce let. Jiné hodnoty  $S_{dpi}$  se požadují pro systém jako celek. Za přiměřenou se považuje hodnota  $S_{dpi}$  systému v rozmezí 100 až 1000 let v závislosti na rozsahu sledovaného systému. Např. pro jeden vývod vedení zaústěného do rozvodny je požadována hodnota tisíce let, zatímco pro celou rozvodnu je přiměřená hodnota stovek let.

Dále se vyhodnotí vyváženost ochrany uvnitř systému, tzn. zda nejsou velké rozdíly mezi Sd<sub>pi</sub> srovnatelných zařízení. Zvolí se taková varianta ochrany, u níž jsou vyvážená Sd<sub>pi</sub> uvnitř systému a celková Sd<sub>pi</sub> nepřekračuje limit.

### 8.1.5. Výpočet střední doby mezi překročeními tepelné kapacity omezovačů

Obdobně se na modelu posuzované konfigurace vypočte, pro jaké parametry blesku dojde k překročení tepelné kapacity omezovačů přepětí. Zjistí se četnost výskytu těchto parametrů blesku v dané konfiguraci vedení a chráněných zařízení a tím i četnost překročení tepelné kapacity omezovačů. Pokud vyjde poruchovost omezovačů v daném zapojení nepřiměřeně vysoká, zvolí se omezovače s vyšší schopností absorbovat energii blesku tzn. vyšší energetickou třídou a jmenovitým výbojovým proudem, nebo se navrhnou podpůrná ochranná opatření a provede se opakovaný výpočet na modelu s těmito opatřeními.

## 8.2. Statistické výpočty atmosférických přepětí na vedení

Parametry přepětí na vedení určují zejména vrcholová hodnota proudu blesku a strmost nárůstu proudu blesku. Četnosti těchto parametrů proudu prvního a následných úderů do země se zápornou polaritou jsou v tabulce 1.

**Tabulka 1 - Četnosti parametrů prvního a následných záporných úderů do země**

Četnost úder	95 %		50 %		5 %	
	první	následný	první	následný	první	následný
I <sub>p</sub> (kA)	14	4,6	30	12	80	30
di/dt (kA/μs)	5,5	12	12	40	32	120

### 8.2.1. Četnost přímých úderů do vedení

Četnost přímých úderů do vedení v<sub>n</sub> za rok na 100 km vedení N<sub>d</sub> se vypočítá ze vztahu

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

kde

N<sub>g</sub> četnost úderů do země na 1 km<sup>2</sup> a rok

H průměrná výška vedení v m

b horizontální vzdálenost mezi krajními vodiči

K<sub>o</sub> orografický koeficient

Orografický koeficient vyjadřuje stínící účinek okolního terénu a pohybuje se v rozmezí 0,03 pro vedení v hlubokém údolí až 3 pro vedení na horní hraně úbočí. Pro vedení v rovině je K<sub>o</sub> = 1.

### 8.2.2. Četnost indukovaných atmosférických přepětí dané velikosti

Četnost indukovaných napětí fáze proti zemi na 100 km vedení a rok vyšší než hodnota  $U$  v kV

$$N_i = 0,19 [ 3,5 + 2,5 \cdot \log_{10} (30 \cdot (1 - c)/U) ]^{0,75} \cdot N_g \cdot H$$

$c$  je činitel vazby mezi zemnicím lanem (pokud je) a fázovým vodičem. Pokud není zemnicí lano, potom  $c = 0$ . Pokud je zemnicí lano uzemněné na každém sloupu s odporem menším než  $50 \Omega$ , potom  $c = 0,3$  a  $0,4$ . (zemnicí lano snižuje přepětí o 30 až 40 %). Pokud zemnicí lano není uzemněné na každém sloupu, snižující účinek je menší.

### 8.2.3. Vliv délky přívodů $\underline{a}$ a $\underline{b}$ na přepětí na transformátoru chráněném omezovači přepětí

V tabulce 2 jsou přepětí na transformátoru 22 kV v závislosti na délce přívodů  $\underline{a}$  a  $\underline{b}$  při úderu blesku s proudem 40 kA (polovina všech úderů do země má statisticky stejný nebo vyšší proud) do prvního sloupu před transformátorem s odporem uzemnění  $10 \Omega$ . Na svorkách omezovače je v případě tohoto úderu přepětí omezeno na ochrannou hladinu  $U_p = 90$  kV. Z hodnot v tabulce vyplývá větší vliv vodiče  $\underline{b}$  na přepětí transformátoru.

**Tabulka 2 - Přepětí v kV na transformátoru 22 kV v závislosti na délce přívodů  $\underline{a}$  a  $\underline{b}$  při úderu blesku s proudem 40 kA do prvního sloupu před transformátorem s odporem uzemnění  $10 \Omega$ .**

b (m)	a (m)			
	1	2	4	8
0,5	100	107	116	128
1	107	113	121	132
2	120	124	131	140
4	140	143	148	158