

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Přepět'ové ochrany v rozvodech nn

**Vedoucí práce: Ing. Jaroslav Holý
Autor: Ondřej Došek**

2015

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej DOŠEK**
Osobní číslo: **E12B0013P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Název tématu: **Přepětové ochrany v rozvodech nn**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Proveďte teoretický rozbor vzniku přepětí.
2. Shromážděte a písemně zpracujte aktuální informace týkající se současně vyráběných přepětových ochranných rozvodů nn, způsobu jejich činnosti a instalace.
3. Navrhněte vícestupňovou sestavu ochranných rozvodů pro rodinný dům.
4. Vytvořte ekonomickou bilanci ke třetímu bodu.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

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

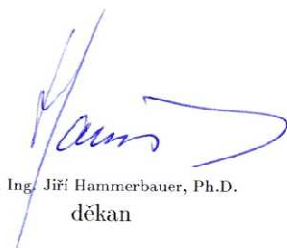
Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaroslav Holý**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2015**


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




Prof. Ing. Václav Kus, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá teorií vzniku přepětí a přehledem prostředků, kterými se lze přepětí bránit v rozvodech nízkého napětí. Dále potom návrhem víceúrovňové ochrany pro rodinný dům spolu s ekonomickou bilancí realizace víceúrovňové ochrany.

Klíčová slova

Přepětí, svodič, ochrana budov, blesk

Abstract

This bachelor thesis focuses on theory of surge creation and summary of means of surge protection in low voltage distribution network. In the next part there is a design of a surge protection for a family house with economic balance of realization this surge protection system.

Key words

Overvoltage, surge protector, protection of building, lightning

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 3.6.2015

Ondřej Došek

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce, kterým byl pan Ing. Jaroslav Holý, za ochotu, cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a kamarádům za podporu.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
ÚVOD.....	11
1 TEORIE VZNIKU PŘEPĚTÍ.....	12
1.1 ATMOSFÉRICKÁ PŘEPĚTÍ.....	12
1.1.1 Vrcholová hodnota bleskového proudu	14
1.1.2 Strmost bleskového proudu.....	15
1.1.3 Náboj bleskového proudu	15
1.1.4 Specifická energie	16
1.1.5 Elektrodynamická síla.....	17
1.2 SPÍNACÍ PŘEPĚTÍ	17
1.3 PŘEPĚŤOVÉ VAZBY	18
2 OCHRANA PROTI PŘEPĚTÍ.....	19
2.1 VNĚJŠÍ OCHRANA.....	19
2.1.1 Jímací soustava.....	20
2.1.2 Svody.....	20
2.1.3 Uzemnění	20
2.2 VNITŘNÍ OCHRANA	21
2.2.1 Vyrovnání potenciálů.....	22
2.2.2 Kategorie přepětí	23
2.2.3 Oddělení bezpečnou vzdáleností.....	24
2.2.4 Přepětěová ochranná zařízení.....	24
2.2.5 Charakteristické parametry	27
2.3 PŘEHLED TYPŮ SOUČASNĚ VYRÁBĚNÝCH SVODIČŮ PRO SÍTĚ NN	28
2.3.1 Svodiče bleskových proudů.....	28
2.3.2 Zkoordinované svodiče bleskových proudů	30
2.3.3 Kombinované svodiče	30
2.3.4 Svodiče bleskových proudů N-PE.....	30
2.3.5 Svodiče přepětí typ 2.....	30
2.3.6 Svodiče přepětí typ 3.....	31
2.3.7 Svodiče pro ochranu slaboproudých zařízení.....	31
2.4 INSTALACE SVODIČŮ PŘEPĚTÍ	32
2.4.1 Instalace Svodičů bleskových proudů (SPD typ 1).....	33
2.4.2 Instalace omezovačů přepětí (SPD typ 2).....	35
2.4.3 Instalace jemných svodičů přepětí (SPD typ 3).....	35
3 NÁVRH VÍCESTUPŇOVÉ OCHRANY PRO RD	37
3.1 VÝCHODISKO NÁVRHU	37
3.2 VYBRANÉ SVODIČE.....	38
3.3 INSTALACE PŘEPĚŤOVÉ OCHRANY	40

4 EKONOMICKÁ BILANCE	42
ZÁVĚR	43
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	1
SEZNAM PŘÍLOH.....	1
[1] LINIOVÉ SCHÉMA INSTALACE PŘEPĚŤOVÉ OCHRANY DO RODINNÉHO DOMU.....	1

Seznam symbolů a zkratek

<i>L1, L2, L3</i>	Fázové vodiče napájecí soustavy
<i>N</i>	Střední pracovní vodič napájecí soustavy
<i>LEMP</i>	<i>L</i> ightning <i>e</i> lectro- <i>m</i> agnetic <i>p</i> ulse
<i>SEMP</i>	<i>S</i> witching <i>e</i> lektro- <i>m</i> agnetic <i>p</i> ulse
<i>LPZ</i>	<i>L</i> ightning <i>p</i> rotection <i>z</i> one
<i>LPL</i>	<i>L</i> ightning <i>p</i> rotection <i>l</i> evel
<i>LPS</i>	<i>L</i> ightning <i>p</i> rotection <i>s</i> ystém
<i>SPD</i>	<i>S</i> urge <i>p</i> rotective <i>d</i> evice
<i>Rms</i>	<i>R</i> oot <i>m</i> ean <i>s</i> quared
<i>PE</i>	<i>O</i> chranný vodič
<i>ER</i>	<i>e</i> lektroměrový rozvaděč

Úvod

Přepětí je jev, který je nebezpečný jak pro lidi, pro jejich domovy a budovy, ale i pro spotřebiče, které se v nich nacházejí. Zejména atmosférická přepětí jsou nebezpečná z důvodu ohrožení na životě a majetku, jelikož představují obrovskou energii. Proto se těmto jevům snažíme bránit vhodnými prostředky. Zabránit těmto jevům však nejde, ale jde minimalizovat riziko vzniku těchto škod. Proto se v této práci zabývám ochranou proti přepětí.

V první kapitole je probírána teorie vzniku jednotlivých druhů přepětí. Je zde popsán vznik blesku a jeho parametry. Dále jsou zde popsány vazby, kterými se může přepětí do objektu a jeho instalací dostat.

Druhá kapitola se zabývá ochrannými prostředky proti přepětí. Nejprve vysvětluje problematiku vnější ochrany před bleskem a popis jednotlivých částí této ochrany. Dále se potom zabývá ochranou vnitřní s návazností na přepětové ochrany, které jsou v této kapitole detailněji popsány.

Na základě poznatků druhé kapitoly je ve třetí kapitole vypracován návrh víceúrovňové ochrany pro fiktivní rodinný dům. Použité svodiče jsou podrobněji rozepsány a jejich rozmístění je rozkresleno do liniového schématu.

Návrh vypracovaný ve třetí kapitole je potom cenově vyčíslen v ekonomické bilanci.

1 Teorie vzniku přepětí

Za přepětí je podle normy ČSN 13 4000 a ČSN 33 4010 uvažováno jakékoliv napětí, které je svou hodnotou vyšší než nejvyšší provozovací napětí sítě.

1.1 Atmosférická přepětí

Atmosférická přepětí patří mezi pulzní přepětí a vznikají při výboji blesků z bouřkové činnosti. Značíme zkratkou LEPM (Light ElektroMagnetic Pulse). Bouřky rozdělujeme podle vzniku:

Bouřky z tepla - příčinou je část země ohřívána slunečním svitem, kdy vzduch nad ní je lehčí a stoupá vzhůru.

Bouřky frontální - přicházející studená fronta vytlačuje teplý vzduch vzhůru

Bouřky ortografické - vzniknou vytlačením teplého vzduchu terénními nerovnostmi.

Ať již teplý vzduch začne stoupat z jakékoliv příčiny, dojde zde ke vzniku bouřkových buněk, ve který dochází ke změně skupenství vodních par přes kapky vody až na kapky ledu. Tato změna skupenství je doprovázená uvolněním dalšího tepla a urychlením stoupaní až na hodnotu okolo 100 km/h. Při tomto ději zároveň dochází k rozdělení nábojů, kladně nabitě částice jsou lehčí, tudíž se kumulují převážně v horní části mraku a záporně nabitě v jeho střední až dolní části. V jeho nejnižší části se pak nachází část kladně nabitých částic. Tyto mraky se rozkládají ve výšce do patnácti kilometrů a v jeho nejvyšší části dosahuje teplota -60°C . [1]

Blesky vznikají mezi mrakem a mrakem, nebo mezi mrakem a zemí. Jelikož blesky mezi mraky pro nás nejsou pro návrh ochran natolik důležité, dále se jimi zabývat nebudeme. Překročením intenzity dojde ke vzniku nábojového válce s plazmatickým jádrem tzv. lídru. Teplota uvnitř blesku je okolo $20\,000^{\circ}\text{C}$. Vlivem rozpínání vzduchu dojde k silnému akustickému projevu, který nazýváme hrom. Při pozorování je mezi světelným a zvukovým

projevem prodleva způsobená rozdílnou rychlostí světla a zvuku, díky které lze přibližně odhadnout vzdálenost pozorovacího místa od místa úderu. Lokace blesků je možné zjistit z údajů meteorologických systémů. [1][3]

Blesky dělíme podle směru na:

- Sestupný blesk
- Vzestupný blesk

V případě sestupného blesku vůdčí výboj směřuje k zemi a vede blesk z mraku na zem. Takový výboj obvykle nastává v rovinném terénu blízko budov. Tyto blesky lze rozpoznat podle větvení směřujícího dolů. Nejběžnějším typem blesku je negativní blesk do země, kde je lídr tvořen záporným nábojem bouřkového mraku. Lídr sestupuje trhavě s rychlostí okolo 300km/h po krocích dlouhých několik desítek metrů. Doba mezi jednotlivými kroky trvá několik desítek mikrosekund. Ve chvíli, kdy vůdčí výboj sestoupí na vzdálenost několika stovek či desítek metrů nad zem vzroste na předmětech v okolí lídru (na stromech, na vrcholcích budov) intenzita elektrického pole. Takto intenzita stoupá až do překročení elektrické pevnosti vzduchu. Z těchto předmětů začne vzrůstat vstřícný pozitivní výboj tzv. strímr, který se setká s vůdčím výbojem a spustí tak hlavní výboj. [3]

Pozitivní blesk mrak-země vzniká z nižších pozitivně nabitých částí bouřkového mraku. Výskyt pozitivních blesků je zhruba 10% a zbylých 90% jsou negativní blesky. Tento poměr závisí na geografické lokaci. Na vysoce exponovaných objektech (rozhlasových stožárech, telekomunikačních věžích atd.) se můžeme setkat se vzestupnými blesky z mraku do země. Tyto blesky lze poznat podle větvení směrem k mraku. V případě vzestupného blesku není silné elektrické pole potřebné ke započetí lídru tvořené mrakem, ale s exponovaným objektem a je spojené se silným polem. Z tohoto místa je veden lídr s nábojovým kanálem směrem k mraku. Vzestupné blesky vznikají také s oběma polaritami. Jak s pozitivní tak i negativní polaritou. Jakmile se u vzestupných blesků začne šířit lídr ze země do mraku, může být exponovaný objekt několikrát udeřen bleskem během jedné bouře. Údery sestupného blesku jsou pro objekty mnohem nebezpečnější, proto se jejich parametry používají jako základní parametry pro návrh ochrany před bleskem. [3]

V závislosti na typu blesku se každý blesk skládá z jednoho nebo více výbojů. Rozlišujeme mezi krátkými výboji (pod 2ms) a dlouhými (více jak 2ms).

Dalšími charakteristickými parametry výbojů blesku je jejich polarita a jejich časová pozice (první výboj, následný výboj). Proudový impuls je složen jak z prvního výboje, tak i z konstantního proudu dlouhého výboje či následných výbojů a je nezávislý na parametrech zasaženého objektu. Pro snazší pochopení lze bouřkový mrak považovat za ideální zdroj proudu. Pět nejdůležitějšími parametry k popsání blesku jsou:

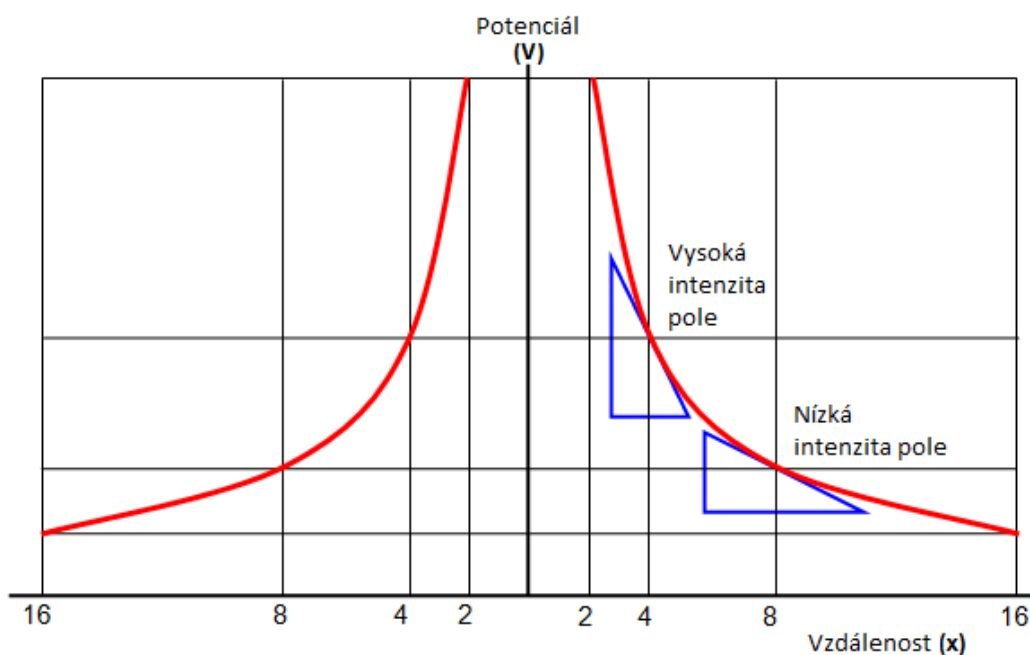
- Vrcholová hodnota bleskového proudu
- Strmost nárůstu bleskového proudu
- Náboj bleskového proudu
- Specifická energie blesku
- Elektrodynamická síla

Tvar impulsu bleskového proudu je znázorněn na obrázku (1.2.). Tvar impulsu bleskového proudu. [3]

1.1.1 Vrcholová hodnota bleskového proudu

Bleskový proud nezávisí na parametrech objektu, jelikož bouřkový mrak lze považovat za ideální zdroj proudu. Protékající proud tekoucí přes vodivou část, vytváří úbytek napětí. Ten lze vyjádřit Ohmovým zákonem.

Pokud je proud soustředěn do jediného bodu homogenního vodivého prostředí, vznikne potenciálový gradient. Ten je příčinou nebezpečného krokového napětí. Lepší vodivostí země je možné snížit strmost potenciálového gradientu. Z tohoto důvodu instalujeme u objektů zemnič, obepínající budovu, kterým se potenciál vyrovná, a osoby v budově budou chráněny.



Obr. 1.1. Potenciálový gradient. Obrázek byl převzat z [12]

1.1.2 Strmost bleskového proudu

Strmost bleskového proudu $\Delta i/\Delta t$, která působí během času Δt , určuje velikost elektromagneticky indukovaného napětí. Toto napětí se indukuje do všech vodivých otevřených i uzavřených smyček, které se nacházejí v blízkosti vodiče protékaného bleskovým proudem. Velikost tohoto napětí lze vypočítat dle vzorce:

$$U = M \frac{di}{dt} \quad (1.1.)$$

M...vzájemná indukčnost
 di/dt ...strmost proudu

1.1.3 Náboj bleskového proudu

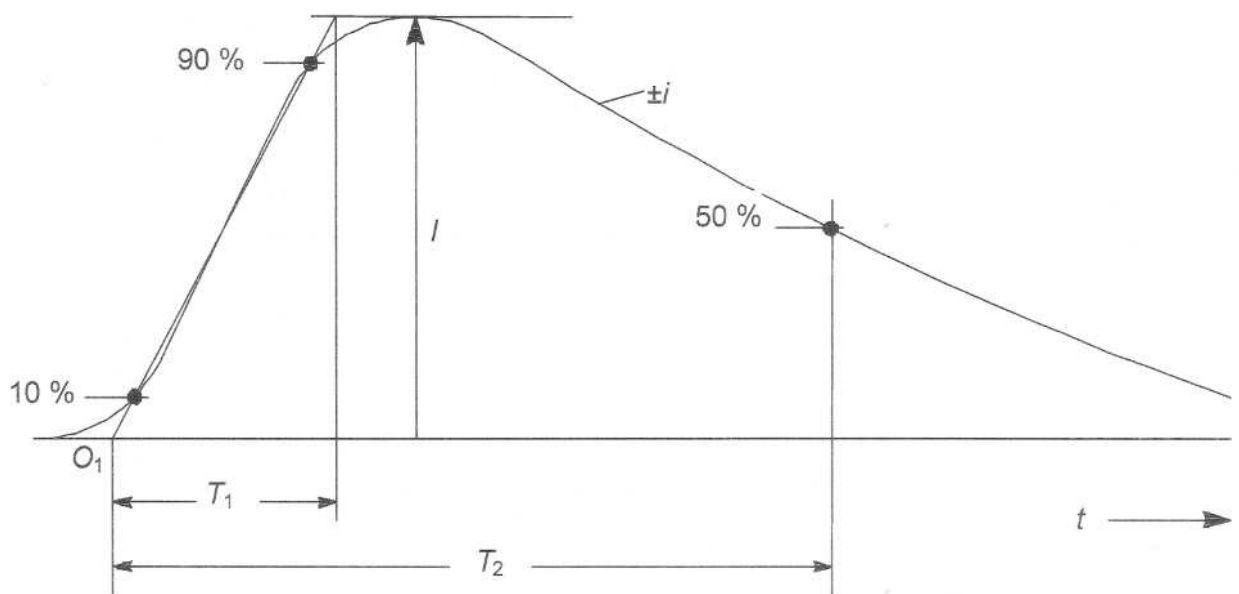
Náboj bleskového proudu je složen z náboje prvního krátkého výboje a následných výbojů. Je dán časovým integrálem bleskového proudu. Náboj bleskového proudu vyjadřuje množství energie bleskového proudu vloženou do přesného bodu a ve všech bodech, kde bleskový proud pokračuje ve tvaru elektrického oblouku podél izolované cesty. Především náboj následných výbojů, které mají časově delší působení, jsou schopny roztavit velké množství materiálu hromosvodní soustavy.

1.1.4 Specifická energie

Specifická energie W/R proudového impulsu je energie vydaná na jednotku odporu. Tato vydaná energie je integrálem čtverce proudového impulsu za čas během trvání proudového impulsu.

$$\frac{W}{R} = \int i^2 dt \quad \left[\frac{W}{\Omega} \right] \quad (1.2.)$$

Proto je specifická energie často nazývána kvadrátem proudového impulsu. Používá se pro určení oteplení vodičů protékanych bleskovým proudem a pro výpočet dynamických sil mezi vodiči během působení impulsního bleskového proudu. Při výpočtu uvažujeme nulovou výměnu tepla s okolím, jelikož se jedná o velmi rychlý děj. Hodnota specifické energie je závislá na materiálu vodičů a jejich průřezu.



Obr. 1.2. Tvar impulsu bleskového proudu. Obrázek byl v nezměněné formě převzat z [4]

1.1.5 Elektrodynamická síla

Elektrodynamická síla F vzniká mezi blízkými vodiči vlivem průchodu proudů. Velikost síly působící mezi nimi lze vyjádřit vztahem:

$$F_{(t)} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot i_{(t)}^2 \frac{l}{d} \quad [N] \quad (1.3.)$$

Pokud proud ve vodičích má shodný směr, budou se vodiče vzájemně přitahovat a naopak v případě směru opačného se budou odpuzovat. U zahnutého vodiče má elektrodynamická síla směr působení takový, aby jej narovnal. Síla vznikající průchodem bleskového proudu má velikost představující pro části hromosvodní soustavy deformační účinky. Z toho důvodu jsou hromosvodní komponenty na tyto účinky testovány.

1.2 Spínací přepětí

Spínací přepětí patří mezi pulzní přepětí. Používáme zkratku SEMP (Switching ElektroMagnetic Pulse). Tato přepětí jsou velmi četná a dosahují hodnot až 10kV. Tato hodnota se odvíjí od typu sítě, její topologii a na impedanci připojené zátěže. Vznikají z důvodu nedořešeného spínání spotřebičů v sítích nn, ale také přes transformátory ze sítí vn. Induktivní spotřebiče mávají také parazitní kapacitu, kvůli které dojde k parazitním rezonančním jevům a následným zákmitům. Tyto zákmity se dále šíří galvanicky do sítě.

Jedná se především o spínání transformátorů, cívek stykačů a dalších induktivních spotřebičů. Dále také vypínáním velkých indukčností od proudových zdrojů, kde se indukčnost snaží zachovat směr proudu. Velikost takto indukovaných přepětí závisí na velikosti vypínané indukčnosti a proudu jí protékajícím v čase rozpojení. Dalšími zdroji spínacích přepětí v síti jsou fázově a frekvenčně řízené zařízení. Vlivem rychlého spínání polovodičových součástek dochází k vysokofrekvenčnímu rušení, které se v praxi omezuje použitím filtrů na vstupu napájení těchto zařízení. U točivých strojů s komutátory vzniká vlivem nedokonalé komutace jiskření a následně ke vzniku přepětí.

1.3 Přepět'ové vazby

Mezi jednotlivými objekty i systémy existují různé druhy vazeb, kvůli kterým se přepětí může šířit z jednoho objektu do elektrických/elektronických systémů okolních objektů. Rozlišujeme tyto vazby:

Galvanické vazby - tyto vazby vznikají mezi objekty přímým propojením silových vedení. Propojením potenciálového vyrovnání přes odpor zemnicích vodičů, na kterých při průchodu části bleskového proudu vzniká úbytek napětí v řádu až stovek kilovoltů, jenž je již dosti veliký na zničení izolace elektrospotřebičů. Velikost podílu procházejícího bleskového proudu přes vodiče ekvipotenciálního vyrovnání je určen poměrem odporu jejich tras.

Kapacitní vazby - vznikají např. vlivem rozdílných potenciálů mezi částmi vnější ochrany před bleskem a blízkým vedením, kdy při změně napětí proud prochází parazitní kapacitní vazbou do tohoto vedení a dále se po něm šíří. Velikost takto vzniklého přepětí závisí na impedanci vedení, kterým kapacitní proud prochází. Velikost kapacitního proudu je dána časovou derivací napětí vyvolaného vnější ochranou při průchodu bleskového proudu. Dalším příkladem může být uložení více kabelů ve stejné trase, přičemž přepětí v jednom kabelu se touto vazbou přenáší do ostatních kabelů.

Indukční vazby - bleskový proud vytváří kolem své trasy silné elektromagnetické pole, které indukuje do všech otevřených i uzavřených smyček metalického vedení indukované napětí a to i na relativně velké vzdálenosti. Jelikož je přenášeno vzduchem, představuje nebezpečí i pro blízké systémy, které se zdají být oddělenými. Velikost indukovaného přepětí závisí na parametrech bleskového proudu a na vzájemné indukčnosti s uvažovanou smyčkou. [5]

2 Ochrana proti přepětí

2.1 Vnější ochrana

Soustava vnější ochrany snižuje riziko vzniku požáru, mechanických škod a úrazu osob uvnitř chráněného objektu při úderu blesku. Vnější ochrana tvoří tzv. Faradayovu klec a má za úkol odvést bleskový proud bezpečně do země a rozptýlit jej. Určuje dráhu bleskového proudu, která by jinak mohla vést přes hořlavé materiály a způsobit požár. Kvalitní Faradayova klec snižuje účinky elektromagnetického pole (LEMP) vytvořené bleskovým proudem a též vyrovnává potenciály, čímž zamezuje přeskokům uvnitř budovy.

Vnější ochranná soustava PLS se navrhuje na předpokládané parametry blesku podle zařazení objektu. Jednotlivé parametry blesku již byly vysvětleny v kapitole 1.1 a jejich hodnoty definuje norma. Pro účely zařazení budovy norma definuje čtyři skupiny objektů podle důležitosti stavby z hlediska ochrany před bleskem, takzvanou ochrannou úroveň LPL. Je tomu tak proto, že z ekonomických důvodů nechráníme např. rodinný dům na stejnou hodnotu bleskového proudu jako jadernou elektrárnu. Pro zařazení budovy do konkrétního LPL je potřeba zvážit riziko, jaké přepětí pro danou budovu představuje. Dle zařazení budovy do LPL se navrhuje vhodný LPS.

Třída LPL I je třídou nejdůležitější a zařazujeme do ní především nemocnice, banky, elektrárny a další budovy kde by případný výpadek dodávky elektrické energie mohl způsobit velké škody na životech, či veřejných službách. Do skupiny objektů zařazených v LPL II patří objekty, kde se vyskytuje větší množství osob, což jsou školy, nákupní centra a kancelářské budovy. Běžné rodinné domy a další objekty s malým množstvím vyskytujících se lidí s běžnou výbavou řadíme do LPL III. Poslední a tedy nejméně chráněnou skupinou objektů jsou užitné prostory bez větších rizik, jako jsou skladovací prostory bez nebezpečí výbuchu nebo zemědělské objekty zařazené do LPL IV. Avšak toto je jen obecné rozdělení a při projektu je nutné zvážit povahu konkrétní stavby. Vnější soustava ochrany před bleskem se skládá ze tří částí, kterými jsou: [1],[2]

- Jímací soustava
- Soustava svodů
- Zemnič

2.1.1 Jímací soustava

Zařízení na střeše objektu, které slouží k ochraně objektu před přímým úderem blesku. Skládá se z jímače, nebo soustavy jímačů a z jímacího vedení. Za jímač lze použít kromě jímacích tyčí i kovové předměty na střeše objektu jakožto náhodné jímače. Tato soustava jímačů, ať už strojených či náhodných je vzájemně galvanicky propojena jímacím vedením a připojena na svody. Příklad jímače je na Obr. 2.1. [1]



Obr 2.1. Jímač. Zdroj vlastní tvorba.

2.1.2 Svody

Svody slouží k svedení bleskového výboje zachyceného jímací soustavou. Jejich trajektorie by měla být co nekratší a respektovat nebezpečí přeskočení výboje do kovových částí budovy. Svody také mohou propojovat armatury jednotlivých podlaží a jsou spojeny se zemnicí soustavou přes zkušební svorku, která slouží k měření zemnicího odporu. [1]

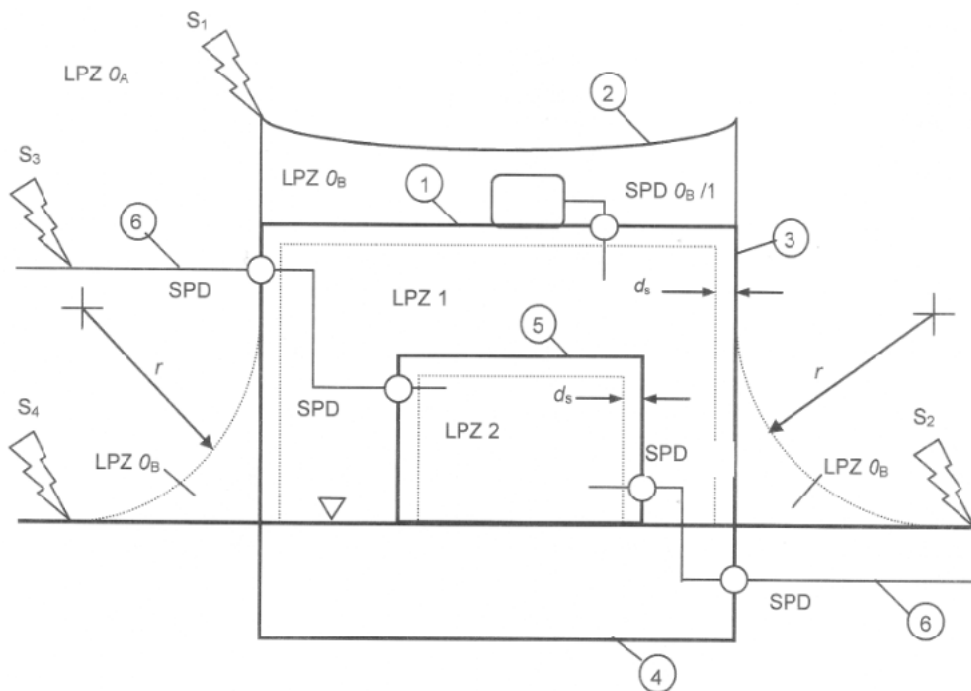
2.1.3 Uzemnění

Jedná se o soustavu zemniců a zemního vedení, která vytváří trvalé vodivé spojení se zemí a zajišťuje přechod bleskového proudu do země. Zemnič může být jakýkoliv kovový předmět uložený pod zemí, který je vodivě připojen na zemní vedení. Často se zde využívá armování v základech budovy, které díky své rozsáhlosti zajistí malý odpor přechodu do země. Dále lze použít zemnicích tyčí nebo desek. [1]

2.2 Vnitřní ochrana

Vnitřní ochrana budovy má za úkol zamezit nebezpečným rozdílům potenciálů, které jsou nebezpečné přímo jak pro osoby uvnitř budovy a také může způsobit požár nebezpečným jiskřením. Jednotlivé oblasti vně i uvnitř budovy se dělí podle ČSN EN 62305 na jednotlivé zóny ochrany před bleskem (LPZ).

- LPZ 0a – Zóna ve které je ohrožení způsobeno přímým úderem blesku a plným elektromagnetickým polem. Vnitřní systémy jsou namáhány plným impulsním bleskovým proudem. Je to zóna mimo ochranný prostor hromosvodu.
- LPZ 0b – Zóna chráněná před přímým úderem blesku, ale kde je ohrožení způsobeno plným elektromagnetickým polem. Tato zóna se nachází například na střeše objektu, který již je v ochranném prostoru hromosvodu.
- LPZ 1 – Je zóna, ve které je omezen impulsní proud rozdělením a SPD na rozhraní jednotlivých LPZ. Prostorové stínění může zeslabit elektromagnetické účinky pole bleskového proudu. Jedná se o zónu uvnitř budovy.
- LPZ 2...n – Zóny ve kterých může být impulsní proud dále omezen rozdělením proudu a na rozhraních dalším SPD. Dodatečné prostorové stínění může dále zeslabit elektromagnetické pole blesku. [4]



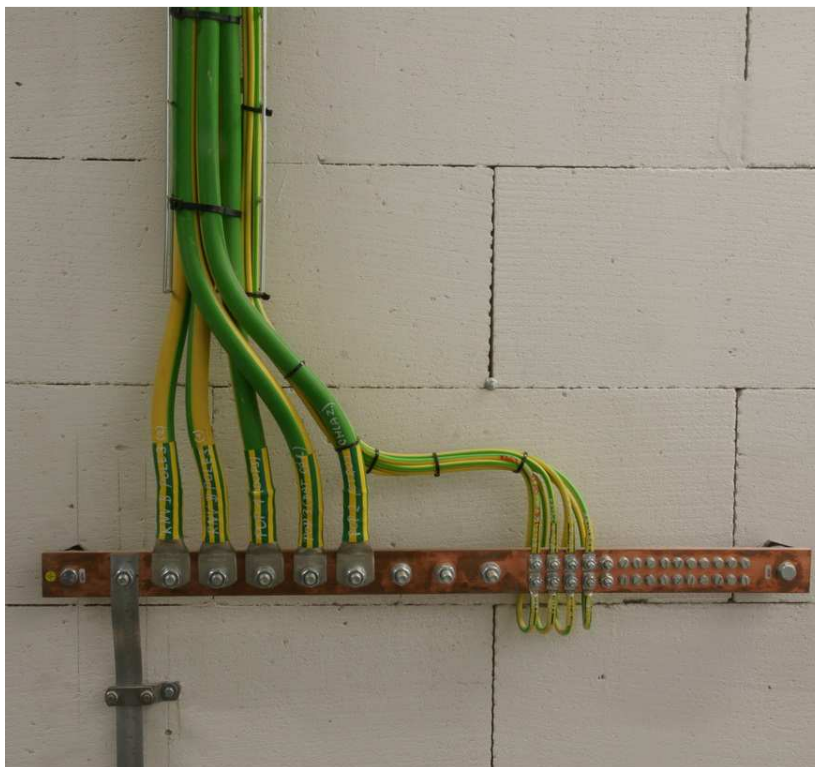
Obr. 2.2. Rozdělení zón LPZ. Obrázek převzat v nezměněné formě z [4].

2.2.1 Vyrovnání potenciálů

Vyrovnání potenciálu dosáhneme propojením všech vodivých částí v objektu. Zejména tedy pospojování:

- Inženýrských sítí včetně neelektrických sítí
- Kovových konstrukcí objektu
- Telekomunikačních sítí

Tyto soustavy připojujeme pomocí ochranných vodičů na tzv. ekvipotenciální svorkovnice, jež jsou spojeny se zemnicí a hromosvodní soustavou. Důležité je použití dostatečných průřezů spojovacích vodičů, zejména tam, kde předpokládáme, že vodič povede značnou část bleskového proudu. Minimální hodnoty průřezů stanoví norma ČSN EN 62305-4. Zde jsou popsány v tabulce č. 1. Jednotlivé předměty se připojují na místní ekvipotenciálové svorkovnice, které jsou spojeny s hlavní ekvipotenciální přípojnici. Svorky pro připojení musí být dimenzovány na hladinu bleskového proudu podle LPS. Příklad ekvipotenciální svorkovnice je na Obr. 2.3.



Obr. 2.3. Ekvipotenciální svorkovnice. Obrázek převzat v nezměněné formě z [20].

Tab. 2.1 - Minimální průřezy přípojovacích vodičů

Součást pospojování		Materiál	Průřez mm ²
Přípojnice pospojování (měď, měď potažená ocel nebo pozinkovaná ocel)		Cu,Fe	50
Přípojovací vodiče od přípojnice pospojování k uzemňovací soustavě nebo jiným přípojnicím (přenášející plnou nebo podstatnou část bleskového proudu)		Cu Al Fe	16 25 50
Přípojovací vodiče pro vnitřní kovové instalace k přípojnicím pospojování (přenášející část bleskového proudu)		Cu Al Fe	6 10 16
Uzemňovací vodiče pro SPD (přenášející plnou nebo podstatnou část bleskového proudu)	Třída I	Cu	16
	Třída II		6
	Třída III		1
	Ostatní SPD		1

2.2.2 Kategorie přepětí

Elektrická instalace v objektu je rozdělena do čtyř kategorií podle hodnoty maximálního přepětí, které se v dané části instalace může vyskytnout. Tyto kategorie jsou rozvrženy pro jednotlivé zóny ochrany LPZ. Nejvyšší IV. kategorie má hodnotu maximálního přepětí 6kV na kterou je navrženo venkovní vedení vstupující do objektu. V budově za hlavním rozvaděčem je instalace dimenzována na přepětí maximálně 4kV, což odpovídá kategorii III. Silové elektrospotřebiče jsou dimenzovány na kategorii přepětí II odpovídající přepětí o hodnotě maximálně 2,5kV. Citlivé elektrospotřebiče zařazené v kategorii I obsahující elektronické systémy jsou navržena jen na hodnotu přepětí 1,5kV. Rozhraní těchto ochranných zón jsou chráněna jednotlivými svodiči, aby hodnota maximálního přepětí byla dodržena. Na rozhraní LPZ 0/1 se instaluje svodič bleskových proudů (typ svodiče 1) snižující přepětí pod 6kV, aby byla ochráněna silová část instalace. Dalším rozhraním je LPZ 1/2 kde svodič přepětí (typ 2) snižuje přepětí pod 2,5kV na které jsou navrženy a testovány běžné elektrospotřebiče. Poslední a tedy nejjemnější ochranu tvoří svodič typu 3, který zajistí snížení přepětí na hladinu pod 1,5kV jenž chvilkově vydrží i citlivé elektrospotřebiče. Z těchto důvodů je nutné při instalaci přepětové ochrany kategorizovat jednotlivé spotřebiče, podle jejich odolnosti na přepětí.

2.2.3 Oddělení bezpečnou vzdáleností

Bezpečná vzdálenost je vzdálenost nazývaná „s“ je vzdáleností mezi soustavou vnější ochrany před bleskem a kovovými předměty a vedeními uvnitř chráněného objektu. Zejména se jedná o metalické vedení vnitřní elektroinstalace a ostatní vnitřní systémy. Dodržení této vzdálenosti snižuje riziko přeskočení elektrického oblouku do vnitřních instalací a zároveň snižuje velikost indukovaných napětí při průchodu bleskového proudu soustavou vnější ochrany. Touto problematikou se podrobně zabývá norma ČSN EN 62305-3.

Obecnou rovnicí pro výpočet je:

$$s = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_c \cdot l \text{ [m]} \quad (2.1.)$$

Kde „s“ je bezpečná oddělovací vzdálenost v metrech. Proměnná „l“ je svislá délka od bodu, pro který oddělovací vzdálenost počítáme k nejbližšímu boku ekvipotenciálního vyrovnání. Koeficient k_i respektující zařazení objektu do zvolené třídy LPS, „ k_m “ je koeficient zohledňující materiál elektrické izolace, respektive materiálu mezi nimi. Nejčastěji jde o vzduch nebo zdivo. Koeficient „ k_c “ se respektuje elektrické rozložení bleskového proudu. Zjednodušeně jak velká část bleskového proudu poteče danou délkou svodu. To je dáno převážně počtem svodů, na které se celkový bleskový proud rozdělí. U velkých staveb, kde jsou svody spojeny v různých výškách po obvodu nebo u staveb s provedením vnější ochrany mřížovou soustavou je již výpočet složitější. Zakládá se na součtu násobků jednotlivých částí svodů s jejich koeficienty. Na výpočet bezpečné vzdálenosti „s“ lze užít výpočetních programů. [11]

2.2.4 Přepět'ová ochranná zařízení

Přepět'ové ochranné zařízení (SPD - Surge Protective Device) je zařízení s nelineární V-A charakteristikou a má za úkol snižovat přepět'ovou vlnu pomocí vyrovnání potenciálů tam kde není možné spojit chráněné vodivé části s uzemněním přímou galvanickou vazbou, jelikož by došlo ke zkratu. V základu je dělíme na dvě skupiny podle toho, zda obsahují, nebo neobsahují jiskřiště. Přepět'ové ochrany tvořené jiskřišti se nazývají Svodiči bleskových

proudů a SPD tvořené oxidy kovů nebo supresorovými diodami nazýváme omezovači přepětí. Fyzikální principy svodičů předurčují jeho vlastnosti, parametry a možnost použití. [5]

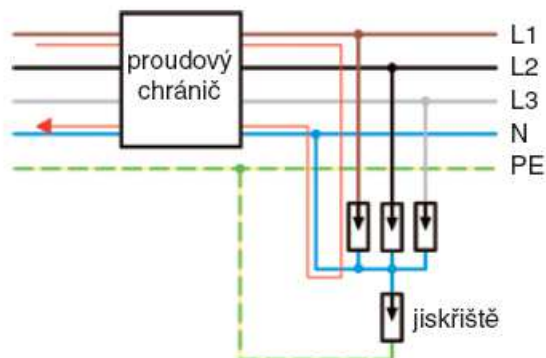
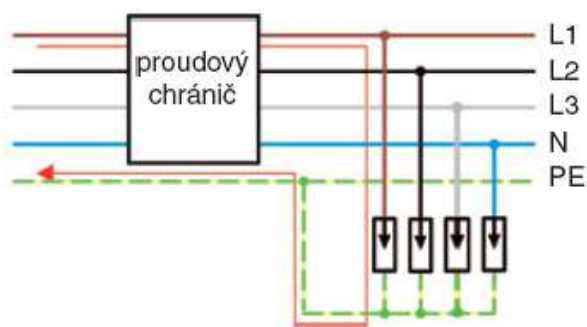
Jiskřiště se skládá ze dvou oddálených elektrod z kovu nebo uhlíku, mezi nimiž je prostor vyplněn vzduchem nebo technickým plynem. Vzdálenost těchto elektrod, jejich tvar a vlastnosti plynu vyplňující prostor mezi nimi určují hodnotu napětí na elektrodách potřebnou k zapálení oblouku. Tato hodnota se nazývá zapalovací napětí jiskřiště. Principem těchto svodičů je ten, že při překročení zapalovacího napětí vznikne mezi elektrodami elektrický výboj, který je propojí a tím svede energii přepětové vlny. Během činnosti jiskřiště je mezi elektrodami svorkové napětí 35 až 65 V. Po svedení přepětové vlny je nutné uhasit mezielektrokový výboj vyvolaný následným proudem sítě a obnovit izolační pevnost jiskřiště. Předností jiskřišť je rozhodně velká proudová odolnost. Další výbornou vlastností je velký odpor jiskřiště v klidovém stavu zamezující protékání unikajících proudů. Nevýhodou je časová prodleva potřebná k ionizaci mezielektrokového prostoru trvající okolo 100 ns. [5]

Varistor je součástka se dvěma elektrodami, mezi kterými je vrstva tvořená oxidy kovů. Tyto oxidy kovů mají nelineární voltampérovou charakteristiku. Jejich odpor klesá s rostoucím napětím. Jde tedy o napětím řízený rezistor. Odpor varistoru je při jmenovitém napětí sítě veliký a protéká jím jen nepatrný proud v řádu desítek μA . V případě přepětí jeho odpor prudce klesne a svede proud přepětové vlny. Během své činnosti při omezování přepětí se varistor zahřívá, proto je vybaven tepelnou pojistkou, která jej v případě nadměrného oteplení vybaví. Tepelná pojistka je spojená s terčíkem indikující jeho stav. Oproti jiskřišti je varistor schopen rychlejší reakce na přepětovou vlnu na úkor menší proudové zatížitelnosti. Varistor také nezkracuje délku přepětové vlny. Ceněnou vlastností je, že nevzniká následný proud. [5] [6]

Supresorová dioda je součástka tvořená polovodičovými přechody. Má strmou nelineární voltampérovou charakteristiku podobnou zenerově diodě v závěrném směru, ale symetrickou. Právě díky této strmosti dosahuje při použití ve svodičích krátkých spínacích časů a hodí se tedy k použití do svodičů pro jemnou ochranu typu SPD 3 nebo do svodičů chránících datové přenosy. Nevýhodou je možnost jen malého proudového zatížení, proto se často využívá ve spojení s varistory.

Svodiče typu SPD 1 jsou základní (hrubou) ochrannou, která se umísťuje u vstupu chráněného objektu, tedy na rozhraní zón LPZ 0b a LPZ 1. Jsou označovány jako svodiče bleskových proudů a musejí být proto dimenzovány na veliké napětové i proudové zatížení. Z toho důvodu jsou testovány vlnou o tvaru 10/350 μ s. Svodiče typu SPD 1 pracují na principu jiskřišť, která mohou být uzavřená, nebo otevřená a jejich úkolem je snížit přepětí na napětovou hladinu pod 4 kV. Výběr správného svodiče typu SPD 1 se zakládá zejména na předpokládané velikosti bleskového proudu, napětové hladině a typu sítě. U objektů vybavených vnější ochranou proti přepětí se předpokládá, že 50% z celkového bleskového proudu projde přes uzemňovací soustavu do země. Dalších 50% musí být schopen pojmout právě svodič na vstupu objektu. [3] [5]

Jemnější ochranou jsou svodiče SPD typu 2, které se instalují převážně do podružného rozvaděče, tedy na rozhraní LPZ 1 a LPZ 2. Tyto svodiče snižují přepětí na hladinu pod 2,5 kV a jsou testovány vlnou o tvaru 8/20 μ s. Jsou nazývány omezovači přepětí a podle provedení je lze rozdělit do dvou skupin. Prvním provedením je tzv. „4+0“ tvořené soustavou čtyř varistorů připojených na jednotlivé fáze a střední (pracovní) vodič. Vývody z varistorů jsou spojeny a vyvedeny na ochranný vodič. Toho provedení však může být nevyhovující v případě, že je před svodičem instalován proudový chránič. Tato situace je ukázána na Obr. 2.4. V případě výskytu přepětí na fázovém vodiči, jej svodič svede do ochranného vodiče, což proudový chránič vyhodnotí jako chybu a odpojí obvod. Proto existuje ještě druhé provedení vhodné pro část instalace za bodem rozdělení na TN-S popř. za proudovým chráničem, které je tvořené třemi varistory připojenými na fázové vodiče. Jejich vývody jsou spojeny a připojeny k střednímu (pracovnímu) vodiči a zároveň přes speciální vyrovnávací jiskřiště spojené s ochranným vodičem. Přepětí fázových vodičů je zde svedeno na střední vodič a reziduální proud chrániče je nulový, tudíž jej nevybaví. Tato situace je ukázána na Obr. 2.5. [5][6]



Obr. 2.4. – Zapojení v provedení 4+0 [7]

Obr. 2.5. – Zapojení v provedení 3+1 [7]

Nejjemnější ochranu na hladině nízkého napětí jsou svodiče typu SPD 3 omezující přepětí pod hodnotu 1,5 kV a jsou testovány vlnou o tvaru 1,2/50 μ s. Mohou pracovat na principu supresorové diody, transilu, varistoru nebo jejich kombinaci. [5][6]

2.2.5 Charakteristické parametry

Maximální přípustné trvalé napětí U_C [V]

Je hodnota napětí stejná s efektivní hodnotou (rms), která může být na příslušně označených svorkách svodiče během provozu. Je to maximální hodnota na svodiči v definovaném nevodivém stavu, na kterou se napětí obnoví po zareagování a svedení přepětí.

Hodnota U_C může být vybrána podle shody se jmenovitým napětím chráněné sítě. Bere se v potaz deseti-procentní tolerance napětí v sítích TN a TT. Maximální přípustné napětí U_C pro síť 230/400V je 253V. [3]

Maximální proud impulsu I_{IMP} [kA]

Jde o standardizovaný proudový impuls odpovídající průběhu vlny 10/350 μ s.

Parametry jako (špičková hodnota, náboj, specifická energie) simulují stejnou zátěž jako přírodní bleskový proud. Zkušební bleskový proud s tvarem 10/350 μs se používá na ověření správné činnosti svodičů typu 1. Ty musejí být schopné svést bleskový proud bez následného poškození přístroje. [3]

Jmenovitý svodový proud I_N [kA]

Jmenovitý svodový proud I_N je špičková hodnota proudu protékající skrz chránící svodič. Průběh vlny impulsního proudu je reprezentován vlnou 8/20 μs a je určen ke klasifikaci testu přepětových ochran typu 2 a také k tvorbě podmínek pro test koordinace přepětových ochran typu 1 a 2. [3]

Ochranná úroveň U_p [kV]

Ochranná úroveň je maximální hodnota napětí na svorkách svodiče označovaná jako napětí ochranná hladina. Hodnota ochranné úrovně je měřena při aktivaci svodiče impulsem o tvaru podle typu svodiče a platí jen pro tento typ impulsu. [3]

Montážní omezení

Montážní omezení vychází z principu SPD a zejména provedení jeho krytí. Je nutno uvážit prostředí, ve kterém má SPD být umístěno. Zde bereme v potaz chemické a fyzikální podmínky prostředí, aby byla umožněna jejich správná funkce. Například SPD obsahující jiskřiště potřebují prostor k vyfukování žhavých plynů, což může být problém v prostorech s nebezpečím výbuchu. Správným krytím SPD se zabývá norma ČSN EN 60529. [3]

2.3 Přehled typů současně vyráběných svodičů pro sítě nn

2.3.1 Svodiče bleskových proudů

Jsou svodiče typu 1 (typ B) chránící sítě nízkého napětí před vzniklými přepětími i při přímém úderu blesku do objektu. Instalují se na rozhraní zón LPZ $0_A - 1$.

Vyrábějí se v jednopólovém nebo třípólovém provedení. Mezi svodiči bleskových proudů a následnou ochranou vyššího stupně je nutné zařadit sériovou indukčnost. Tato indukčnost zajišťuje koordinaci mezi jednotlivými svodiči. V základu je tvořena délkou vedením mezi svodiči, přičemž hodnota indukčnosti kabelu činí přibližně $1\mu\text{H/m}$. Výrobce

v katalogu určuje minimální délku vedení mezi svodiči, pokud není možné tuto délku vedení dodržet, zařazuje se za svodič rázová oddělovací tlumivka. [8]

Zástupcem této kategorie je svodič bleskových proudů DEHNbloc DB 3 255 H.

Tab. 2.2. Parametry DEHNbloc DB 3 255 H

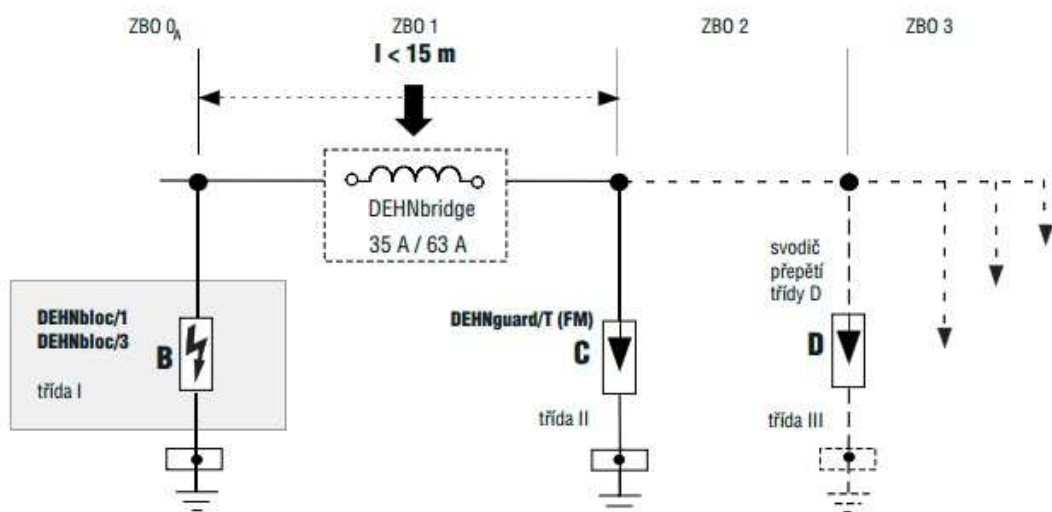
DEHNbloc DB 3 255 H	
maximální přípustné trvalé napětí AC U_c	255 V
zkušební bleskový proud (10/350) [L1+L2+L3+N/PEN] I_{TOTAL}	100 kA
ochranná úroveň U_p	$\leq 4,0$ kV
délka vedení mezi dalším SPD	≥ 15 m



Svodič je vyroben v kompaktní konstrukci obsahující uzavřená jiskřiště s technologií RADAX-Flow. Je schopen zhášet následné síťové proudy do efektivní hodnoty 3 kA. Zařízení je uzpůsobeno k montáži na lištu TS 35. V případě, že není dodržena délka vedení mezi další SPD, lze zařadit rázovou oddělovací tlumivku doporučenou výrobcem. Schéma zapojení této tlumivky na Obr. 2.7. [8]

Obr. 2.6. DB 3 255 H

V nezměněné podobě převzato z [9]



Obr. 2.7. Rázová oddělovací tlumivka
V nezměněné podobě převzato z [8]

2.3.2 Zkoordinované svodiče bleskových proudů

Jsou svodiče typu 1 (typ B) chránící síť nízkého napětí před vzniklými přepětími i při přímém úderu blesku do objektu. Instalují se na rozhraní zón LPZ $0_A - 1$.

Lze tedy říci, že jsou svými parametry téměř shodné se svodiči bleskových proudů. Rozdílem je, že zkoordinované svodiče mají oproti nezkoordinovaným svodičům bleskových proudů výhodu. Není zde potřeba řešit délku vedení mezi dalším svodičem, či používat rázovou oddělovací tlumivku. Koordinace je již vyřešena uvnitř svodiče elektronicky řízeným zapalováním jiskřiště. Je tedy možné instalovat první i druhý stupeň ochrany do jednoho rozvaděče. U výrobku může být uvedeno s jakým svodičem typu 2 je tento svodič zkoordinován.

2.3.3 Kombinované svodiče

Jedná se o svodiče s označením typu 1+2 (B+C). Instalují se na rozhraní zón LPZ 0_A až 1 nebo LPZ 0_A až 2. Jde tedy o sloučení prvního a druhého stupně ochrany do jediného zařízení. Což přináší výhodu jednoznačně zkoordinovaného prvního a druhého stupně. Tyto svodiče pracují na principu jiskřišť spolu s varistory nebo na principu „dvojitého“ jiskřiště. Výsledkem je snížení ochranné úrovně U_p u některých svodičů až pod hodnotu 1,5 kV.

2.3.4 Svodiče bleskových proudů N-PE

Jsou svodiči bleskových proudů typu 1 nebo 2 určenými ke svedení přepětí z pracovního vodiče. V sítích TT a TN-S se používají jako svodiče součtových proudů v zapojení svodičů „3+1“ nebo v jednopólové variantě „1+1“, což umožňuje použití svodičů i za proudovým chráničem bez vybavení v případě reakce svodiče. Vyrábějí se jak v provedení pro uchycení na lištu TS 35 nebo na přípojnicí.

2.3.5 Svodiče přepětí typ 2

Jsou svodiči omezující přepětí zpravidla na hodnotu pod 2,5 kV a chrání tak elektrospotřebiče kategorie III. Umisťují se na rozhraní zón LPZ 1/LPZ 2. Pracují na principu varistorů vyráběných ze spékaného granulátu ZnO. U těchto svodičů je důležitá pravidelná kontrola jejich stavu. Varistor propouští určitý malý proud i v případě normálního chodu sítě.

Průchodem tohoto proudu se varistor vyhřívá, postupně stárne a mění svoje parametry. Z toho důvodu jsou tyto svodiče vybaveny indikátorem stavu. Druhým problémem je menší energetická výdržnost. Případné přehřátí varistoru je chráněno termodynamickou pojistkou, která je vybaví a zabrání tak zahoření. Tyto svodiče jsou složeny ze dvou dílů tak, aby bylo možné jejich varistorové moduly vyměnit i pod napětím.

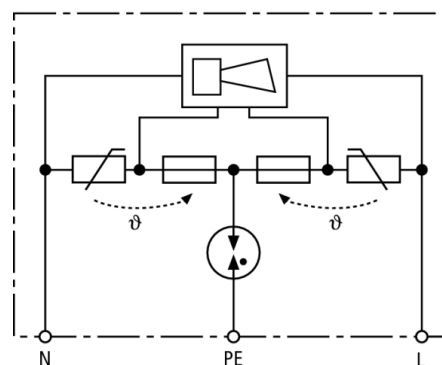


Obr. 2.8. Výměna varistorového modulu. V nezměněné podobě převzato z [17]

2.3.6 Svodiče přepětí typ 3

Jsou svodiči snižující přepětí na ochrannou úroveň pod 1,5 kV a tvoří tak ochranu přímo koncových zařízení kategorie IV. Dle provedení je lze rozdělit podle použitého ochranného prvku. Zde se nejčastěji setkáme s použitím varistorů.

Jedním z konstrukčního provedení je modul určený pro instalaci do zásuvkových rozvodných krabic. Jelikož by bylo obtížné jeho stav kontrolovat, je vybaven akustickou signalizací, která se aktivuje při skončení životnosti svodiče.



Obr. 2.9. Svodič s akustickou signalizací. V nezměněné podobě převzato z [18]

V případě, že není dopředu jasné, kde se bude chráněné zařízení nacházet, nebo se jeho umístění bude měnit, může být vhodné využít přemístitelných jemných svodičů zabudovaných do adaptérů či prodlužovacích přívodů. Ty jsou vybaveny optickou signalizací provozu/poruchy.

2.3.7 Svodiče pro ochranu slaboproudých zařízení

Jsou svodiče typu SPD 3 uzpůsobené k ochraně sdělovacích vedení televizních rozvodů, protipožárních systému, informačně technických sítí a jim podobných systémů.

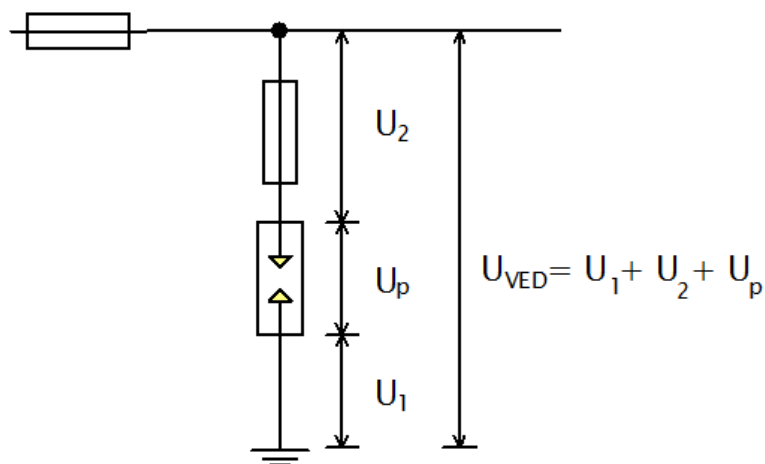
Vyrábějí se v provedení přímo určených pro daný typ slaboproudého rozvodu.

2.4 Instalace svodičů přepětí

Při instalaci svodičů do sítí nízkého napětí je důležité dodržet bezpečnostní předpisy normy ČSN 332000 – Ochrana před nebezpečným dotykem. Navrhovat svodiče podle velikosti předpokládané energie přepětové vlny. Respektovat technické údaje a montážní předpisy o svodiči dodané výrobcem, protože pouze při jejich dodržení výrobce garantuje jejich spolehlivost a dodržení ochranné úrovně. Přívody ke svodiči stejně jako ochranný vodič by měli být co možná nejkratší a vyhnout se vytváření indukčních smyček. Další důležitou zásadou je rozdělit trasování vodičů do svodiče vstupujících a tedy nechráněných od vodičů ze svodiče vystupujících. Nedodržením této zásady se vystavujeme riziku naindukování přepětí do chráněných vodičů. Případně lze vodiče oddělit stínící přepážkou. Svodiče musejí být připojeny k ochranné svorkovnici vodičem dostatečného průřezu a případná místní ochranná svorkovnice propojena příslušným vodičem k přípojnici hlavního ochranného pospojování. [4]

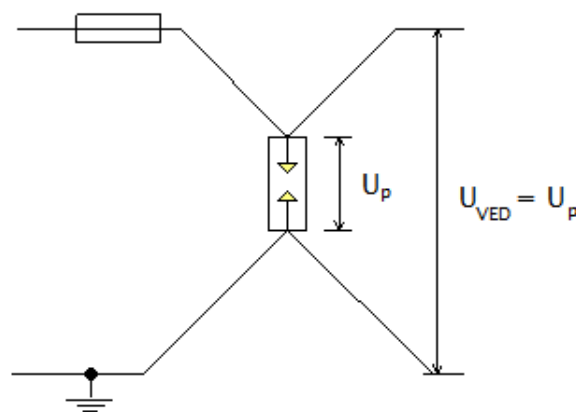
Způsob připojení zde hraje také významnou roli a to kvůli úbytkům napětí na připojovacích vodičích, které při průchodu bleskového proudu svodičem dosahují až 1 kV na 1 metr délky. Napětí, které je za svodičem je součtem zbytkového napětí a úbytků na připojovacích vodičích. [19]

Prvním způsobem zapojení je provedeno pomocí samostatných vodičů, nazývané zapojení do „T“. Délka jednotlivých vodičů by neměla přesahovat 0,5 m a součet přívodních vodičů by neměl přesáhnout hodnotu jednoho metru. V případě delších vodičů se potom snižuje účinnost ochrany. Tento způsob je znázorněn na Obr. 2.10.



Obr. 2.10. Připojení SPD pomocí odbočky z vedení. Zdroj vlastní tvorba.

Druhý způsob je připojení svodiče pomocí zapojení do „V“. Vodiče vedeme až na svorky svodiče a ze zdvojených svorek vodiče pokračují. Podmínkou však je aby svodič zdvojené svorky měl. Toto zapojení minimalizuje vliv přívodních vodičů na ochrannou úroveň za svodičem. Napětí za svodičem se prakticky rovná napětí na vedení za ním. Většina současných svodičů bleskových proudů již mají zdvojené svorky a toto zapojení je upřednostňováno. [4]



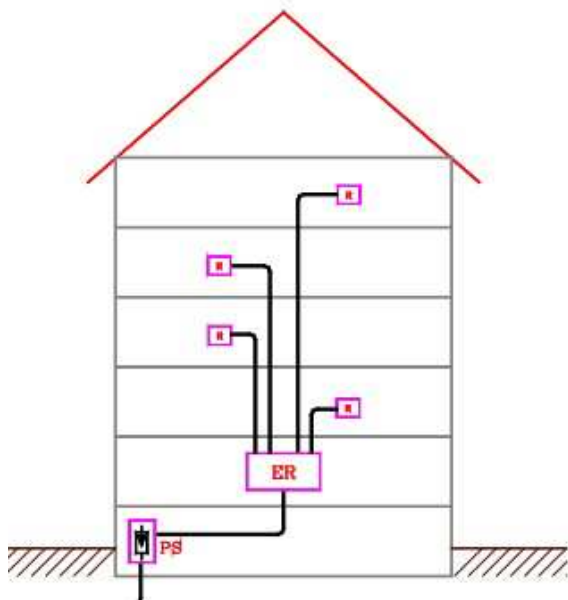
Obr. 2.11. Připojení SPD do „V“. Zdroj vlastní tvorba.

2.4.1 Instalace Svodičů bleskových proudů (SPD typ 1)

Hlavní zásadou pro instalaci svodiče bleskových proudů je dodržení koncepce ochranný zón a tedy instalovat svodiče typu 1 na rozhraní zón LPZ 0 / LPZ 1. Není tedy vhodné instalovat svodič bleskových proudů například do elektroměrového kiosku, který se může nacházet na hranici pozemku a může být tedy vzdálen i několik desítek metrů od vstupu do objektu. V tomto případě by byl chráněn pouze tento rozvaděč, ale již by nebyl chráněn samotný vstup objektu. [1]

Svodič bleskových proudů je nutné instalovat na každé rozhraní zón a to tedy i na místa kde elektrická instalace ze zóny vystupuje, což může být například tažení instalace na střechu objektu napájející jednotku klimatizace, topných kabelů v okapech, světelné cedule nebo jakékoliv ostatní elektrické zařízení umístěné na střeše objektu. Stejný případ nastává u vedení pro napájení zahradních domků, pohonů automatických vrat, či zahradního osvětlení [15]

V případě instalace svodiče do objektu se starší elektroinstalací se můžeme setkat s umístěním elektroměrné skříně hluboko v objektu. Zde je důležité z hlediska dodržení koncepce zón instalovat svodič bleskových proudů před elektroměr. Stejná situace nastává u



Obr. 2.12. Umístění SPD 1 u objektu s více odběrateli. V nezměněné podobě převzato z [16]

bytových jednotek, činžovních domů nebo rozsáhlých komplexů, kde je více odběratelů v jedné budově. Zde je nutné splnit podmínky podnikové normy pro energetiky PNE 33 0000-5. K této normě se již přihlásily všechny distribuční společnosti v České republice. Touto podnikovou normou může být omezen výběr SPD jen na některé druhy. O souhlasu použití konkrétního typu rozhoduje provozovatel distribuční sítě. V zásadě je zakázáno použití svodičů pracujících na bázi varistorů a musí se tedy použít svodiče na bázi jiskřišť. Je možné použít jak jiskřiště otevřená (vyfukovací) tak i uzavřená (zapouzdrěná). Kombinované svodiče

obsahující varistory i jiskřiště jsou také zakázány. Další podmínkou je prokázání propustnosti zkouškou impulsním proudem 10/350 ($\mu\text{s} / \mu\text{s}$) podle ČSN EN 62305. Hodnoty minimální propustnosti jsou v tabulce číslo 2. Jiskřiště ochranného zařízení musí být schopno zhaset následné proudy vyvolané síťovým napětím do hodnoty 3 kA_{ef}, aby nedocházelo k přerušení pojistek v neměřené části sítě a nutnosti zásahu jejího provozovatele. Pokud tato hodnota není dodržena, instalují se před svodič v sérii pojistky, které proud oblouku přeruší. Poslední podmínkou je možnost zaplombování místa instalace přepětové ochrany. [16]

Tab. 2.3. Požadavky na propustnost SPD typ I[16]

Třída ochrany před bleskem	Propustnost pro bleskový proud		
	TN - systém	TT - systém (L-N)	TT - systém i TN-S v zap. 3+1 (N-PE)
I	$\geq 100 \text{ kA/n}$	$\geq 100 \text{ kA/n}$	$\geq 100 \text{ kA}$
II	$\geq 75 \text{ kA/n}$	$\geq 75 \text{ kA/n}$	$\geq 75 \text{ kA}$
III-IV	$\geq 50 \text{ kA/n}$	$\geq 50 \text{ kA/n}$	$\geq 50 \text{ kA}$
n: počet vodičů			

Důležité hledisko při instalaci svodiče bleskových proudů s vyfukovacími jiskřišti je dodržení vyfukovacího prostoru doporučeného výrobcem s přihlédnutím na hořlavost použitých materiálů.

2.4.2 Instalace omezovačů přepětí (SPD typ 2)

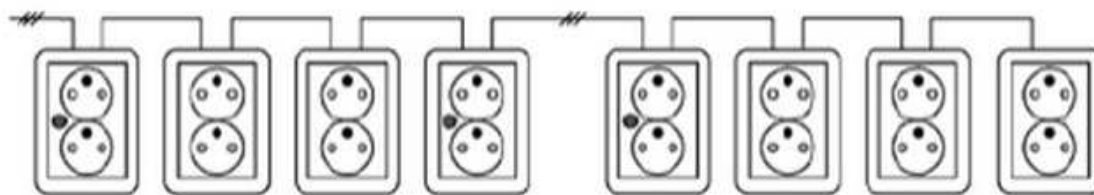
Omezovač přepětí typu 2 instalujeme na rozhraní zón LPZ 1 / LPZ 2. Jde převážně o podružné rozvaděče. V průmyslových objektech může jít o napájecí rozvaděče technologických linek. U vícepatrových rodinných domů je instalujeme do patrových rozvaděčů.

Pro sítě TT a TN-S (nebo TN-C-S za bodem rozdělení N-PE) je vhodné použít svodičů v zapojení 3+1, čímž si zajistíme součinnost s proudovými chrániči. Toto zapojení je účinnější při omezování příčných přepětí. Za příčné přepětí je bráno přepětí mezi fázovými vodiči a středním (nulovým) vodičem a má za následek elektrické namáhání pracovních částí přístrojů. Oproti tomu použití svodičů v zapojení 4+0 je efektivnější při pro omezování podélných přepětí. Za podélné přepětí uvažujeme přepětí mezi pracovními vodiči a ochranným vodičem a má za následek namáhání izolace mezi pracovními částmi zařízení a částmi připojenými na potenciál země. [7]

2.4.3 Instalace jemných svodičů přepětí (SPD typ 3)

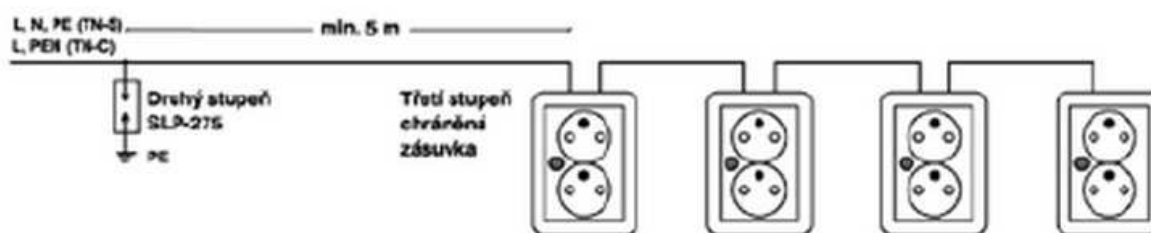
Jemné svodiče přepětí (SPD typ 3) mají za úkol chránit citlivá koncová zařízení a proto se instalují co nejblíže koncovým zařízením. Při instalaci dodržujeme doporučení výrobce na vzdálenost mezi druhým a třetím stupněm ochrany, aby byla dodržena koordinace ochran. Třetí stupeň reaguje na přepětovou vlnu nejrychleji, ale je samostatně schopen pojmout jen malé množství energie přepětové vlny.

V případě, že je vedle sebe instalováno více zásuvek, lze použít zapojení s chráněnými zásuvkami v krajních pozicích, jak je znázorněno na Obr. 2.13. V tomto případě je možné zásuvky mezi nimi považovat za chráněné. Nebo v případě skupiny zásuvek na konci zásuvkového okruhu instalovat chráněnou zásuvku pouze ze strany přívodu. [15]



Obr. 2.13. Zapojení chráněných zásuvek do krajních pozic. V nezměněné podobě převzato z [15]

Toto zapojení je ekonomicky výhodné, avšak za nejbezpečnější řešení lze považovat pouze zapojení zásuvky se svodičem ke každému chráněnému koncovému zařízení. To použijeme tam, kde se nachází zvláště důležité zařízení. Znázorněno na Obr. 2.14. [15]



Obr. 2.14. Zapojení chráněných zásuvek ke každému zařízení. V nezměněné podobě převzato z [15]

3 Návrh vícestupňové ochrany pro RD

3.1 Východisko návrhu

Návrh je sestaven pro přízemní rodinný dům vybavený běžným vybavením. Jelikož se tento bod týká návrhu pouze vícestupňové ochrany a nikoliv kompletního návrhu ochrany před přepětím, je východiskem pro návrh předpoklad, že pro rodinný dům byla provedena analýza rizik, které přepětí pro daný objekt představují. Na základě této analýzy byla navržena a provedena vnější ochrana před atmosférickým přepětím. Tato ochrana zahrnuje provedení jímací soustavy, soustavu svodů a soustavu zemničů v souladu s příslušnými normami spolu s provedením vzájemného pospojování všech inženýrských sítí na svorkovnici hlavního ekvipotenciálního vyrovnání. Jde tedy o doplnění stávající elektroinstalace o svodiče přepětí.

Jelikož se jedná o rodinný dům, byl objekt zařazen do třídy ochrany před bleskem LPS III. Tato skutečnost dává podklad, že předpokládaná vrcholová hodnota bleskového proudu, na kterou bude návrh proveden, je 100 kA. Dále předpokládáme, že bleskový proud vstupující do objektu se rozdělí následujícím způsobem. Polovina bleskového proudu bude svedena svody z jímací soustavy do soustavy zemničů a zde rozptýlena do země. Zbylá polovina „vnikne“ do elektrické instalace objektu. Velikost předpokládaného bleskového proudu vniknutého do objektu je tedy 50 kA na počet všech vodičů. Jelikož se jedná o typ sítě TN-C-S, mající na vstupu čtyřvodičové vedení, vyjde hodnota bleskového proudu na jeden vodič 12,5 kA. Na tuto hodnotu musí být dimenzován svodič na vstupu do objektu. Aby byla správně chráněna vnitřní instalace, musí se svodič prvního stupně instalovat co nejbližší vstupu do objektu. V našem případě jej instalujeme do hlavního domovního rozvaděče. Vstup do objektu je zároveň rozhraní zón LPZ 0 / LPZ 1. Dle požadavků na typ sítě a hodnotu bleskového proudu se jeví jako vhodný svodič z řady výrobků DEHNventil® typ DV M TNC 255 od firmy DEHN+SÖHNE. Tím bude zajištěna ochrana elektrických spotřebičů patřících do kategorie III. Výrobce zajišťuje ochranou úroveň až pod 1,5 kV, tedy vhodné pro spotřebiče třídy IV, ale jen do pěti metrů od svodiče. Citlivé elektrospotřebiče patřící do kategorie IV vzdálené od svodiče více jak pět metrů budou chráněny dalším stupněm ochrany a to jemným svodičem typu T3. Zde se nabízí jemný svodič přepětí DEHNflex M 255 od firmy DEHN+SÖHNE. Ten bude instalován do rozvodných elektroinstalačních krabic zásuvek, ke kterým budou vybrané spotřebiče připojovány.

Mezi spotřebiče kategorie IV byly zařazeny spotřebiče jako PC, televize a ostatní jemná elektronika. Ostatní elektrospotřebiče byly zařazeny do kategorie III. Zařízení, která nemají prokázanou odolnost, je vhodné chránit jako spotřebiče kategorie IV.

3.2 Vybrané svodiče

Základní ochranu před přepětím bude tvořit kombinovaný svodič bleskových proudů typu 1+2 z řady výrobků DEHNventil® typ DV M TNC 255 od firmy DEHN+SÖHNE umístěný v hlavním rozvaděči, tedy před bodem rozdělení sítě na TN-C-S.

Tab. 3.1. Parametry DV M TNC 255 [10]

DEHNventil DV M TNC 255		
třída požadavků		1+ 2 (B+C)
maximální přípustné napětí	U_C	255V /50 Hz
max. následný síťový proud při U_C	I_f	50 kA _{ef}
celkový zkušební impulzní proud (10/350 μ s)	I_{imp}	75 kA
ochranná úroveň	U_p	<1,5 kV
doba odezvy	t_A	<100 ns
zkratová pevnost		50 kA _{ef}
rozsah provozních teplot	ϑ	-40 °C ..+80 C°
uchycení		lišta TS 35
materiál pouzdra		termoplast GF
stupeň krytí		IP 20
rozměry		6 jednotek

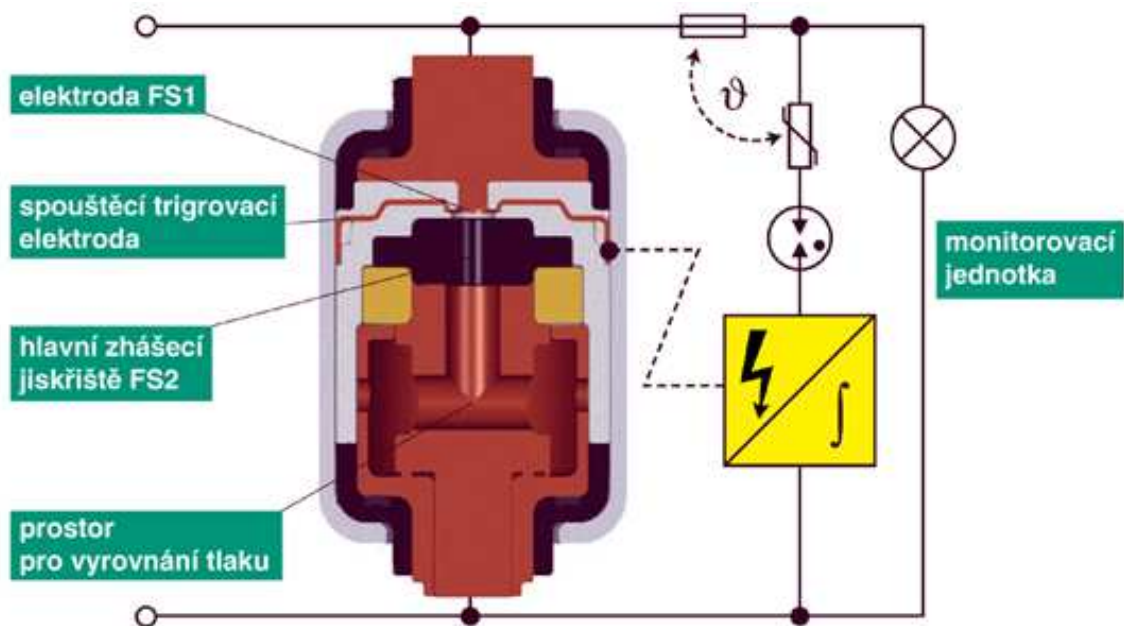


Obr. 3.1. DEHNventil M TNC 255
Převzato z [10]

Jde o modulární třípólový svodič obsahující uzavřené „bezvýfukové“ jiskřiště s technologií RADAX-Flow pracující na bázi klouzavého výboje s radiálním a axiálním odfukováním. Technologie se obecně nazývá ICE (Integrated, Coordinated, Encapsulated). Tedy integrované, zkoordinované a zapouzdřené. Jiskřiště je složeno ze dvou dílčích výbojových cest, řízených monitorovací jednotkou. První jiskřiště se chová jako varistor a velikost jeho procházející energie je hlídána monitorovací jednotkou. Toto jiskřiště se nazývá FS1. V případě energetického přetížení FS1 je elektronicky spuštěno druhé, velmi výkonné

jiskřiště FS2, které svede bleskový proud a dokáže účinně zhášet následný proud sítě. [10]

Ač tedy jde o svodič typu 1 a zároveň 2, neobsahuje varistory, ale jedno z jiskřišť splňuje podmínky potřebné pro svodič typu 2 tj. nízká ochranná úroveň pro omezení energeticky menších přepětí. Díky tomu v klidovém stavu neprotéká svodičem žádný proud, jak by tomu bylo v případě použití varistorů. [10]



Obr. 3.2. Jiskřiště technologií RADAX
V nezměněné podobě převzato z [10]

Zařízení je složeno z hlavního dílu a vyměnitelných modulů. Jejich stav je indikován barevným terčíkem na přední straně.

Ochrana citlivých koncových zařízení kategorie IV, u kterých není předpoklad přemístění, bude provedena pomocí jemných svodičů přepětí z řady DEHNflex® typ DFL M 255 umístěných v instalačních krabicích chráněných zásuvek.

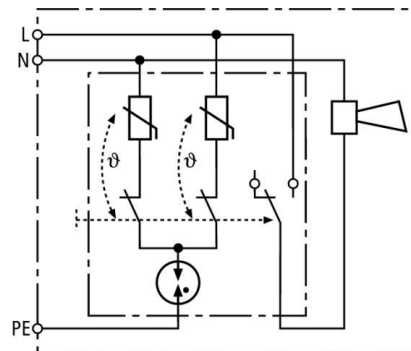


Obr. č. 3.3. DEHNflex DFL M 255. V nezměněné podobě převzato z [21]

Tento svodič pracuje na bázi varistorů v zapojení 2+1 jak je vyobrazeno na Obr. č. 3.4. Skončení životnosti svodiče je indikováno akustickou signalizací. V tom případě je nutné svodič bezpodmínečně vyměnit [21]

Tab. 3.2. Parametry DEHNflex

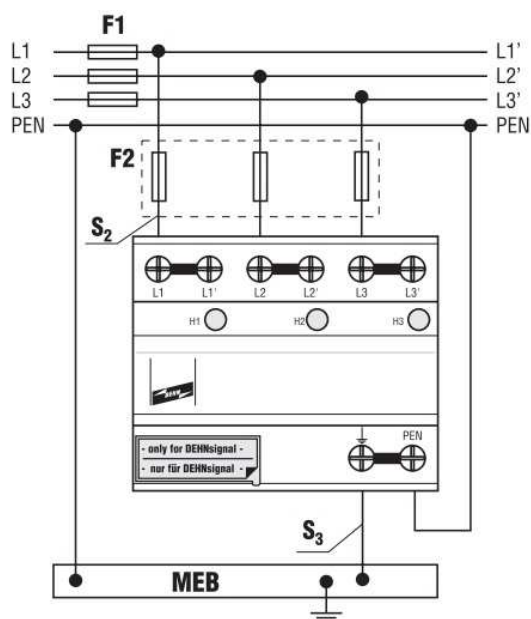
DEHNflex DFL M 255		
třída požadavků		3 (D)
maximální přípustné napětí	U_C	255 V / 50 Hz
ochranná úroveň L-N	U_p	$\leq 1,25$ kV
doba odezvy L-N	t_A	≤ 25 ns
Jmenovitý proud svodiče (8/20 μ s)	I_N	1.5 kA
stupeň krytí		IP 20
uchycení		volně ložené
rozsah pracovních teplot	ϑ	*-25... 40 °C
rozměry		30 x 50 x 11 mm



Obr. č. 3.4. Vnitřní zapojení DEHNflex. V nezměněné podobě převzato z [21]

3.3 Instalace přepět'ové ochrany

Svodič bleskových proudů DV M TNC 255, bude umístěn v hlavním rozvaděči na montážní liště TS 35. Jeho připojení bude provedeno zapojením do „T“ dle Obr. 3.5.



Obr. č. 3.5 Zapojení svodiče bleskových proudů. [22]

Průřezy přípojovacích vodičů jsou vybrány dle tabulky 3.3. Při jejich výběru se řídíme hodnotou jistění před svodičem. V našem případě jsou to pojistky s pomalou vypínací charakteristikou typ gL-gG 40 A, které se nacházejí v přípojkové skříni objektu. V technických listech je uvedeno, že je nutno svodič jistit pojistkami s charakteristikou gL-gG maximálně na hodnotu 315 A. Jelikož jsou v přípojkové skříni pojistky 40 A, není přídatné jistění svodiče potřeba.

Prívodní vodiče ke svodiči budou mít tedy průřez 10 mm^2 a průřez ochranného vodiče 16 mm^2 .

Jemný svodič přepětí (DFL M 255) bude připojen pomocí přípojovacích vodičů, které jsou již součástí výrobku. Při instalaci je nutné dodržet délku vedení od svodiče bleskových proudů minimálně pěti metrů.

Stávající elektroinstalace rodinného dům zůstane ponechána a doplněna o přepětové ochrany rozmístěné podle schématu, které je v příloze č. 1.

Tab. č. 3.3. Průřezy přípojovacích vodičů DVM TNC 255 [22]

Fuse F1 A gL / gG	S₂ / mm ²	S₃ / mm ²	Fuse F2 A gL / gG
25	10	16	---
35	10	16	---
40	10	16	---
50	10	16	---
63	10	16	---
80	10	16	---
100	16	16	---
125	16	16	---
160	25	25	---
200	35	35	---
250	35	35	---
315	50	50	---
>315	50	50	315

4 Ekonomická bilance

Tato ekonomická bilance zhodnocuje realizaci návrhu víceúrovňové ochrany vypracované ve třetím bodu.

Tab. 4.1. Cenový rozpočet

Typ materiálu	ks (m)	cena za kus (včetně DPH)	celková cena (včetně DPH)
kombinovaný svodič typ 1+2 DEHN+SÖHNE DV M TNC 255	1	18 783,6 Kč	18 783,6 Kč
jemný svodič typ 3 DEHN+SÖHNE DFL M 255	3	1 196,8 Kč	3 590,4 Kč
ekvipotenciální přípojnice 563020	1	774,2 Kč	774,2 Kč
Vodič CY 16 ZŽ H07V-U	1	38,9 Kč	38,9 Kč
Vodič CY 10 Č H07V-U	3	25,5 Kč	76,4 Kč
lišta DIN TS 35 1m	1	36,5 Kč	36,5 Kč
CELKOVÁ CENA MATERIÁLU			23 300,0 Kč
CELKOVÁ CENA S PRACÍ			32 620,0 Kč

Po instalaci přepět'ové ochrany je nutné počítat ještě s náklady spojenými s revizí. Kontrolu přepět'ových ochran je doporučeno provádět před nainstalováním do provozu, následně při každé větší bouři a dále potom při výchozích a periodických revizích, jejichž periodu stanovují normy. [23]

Ač se cena za přepět'ové ochrany může dát pro rodinný dům nemalá, nutno podotknout, že více jak čtvrtina úhrad pojistných událostí za škody způsobené na elektronických zařízeních je vzniklá právě přepětím. [5]

Ekonomická výhodnost přepět'ové ochrany se odvíjí od ceny elektrospotřebičů, které se v domě nacházejí. Dle ČSN 62305-1 lze zejména u komerčních staveb zhodnotit ekonomickou efektivitu porovnáním součtu ceny za ochranná opatření a součtu reziduálních ztrát oproti ceně ztrát bez použití ochran. [4]

Závěr

Na začátku této práce jsem se zabýval teorií vzniku jednotlivých druhů přepětí. Dále potom jejich parametry a možnostmi, jakými se přepětí může do objektu dostat.

Druhou kapitolu jsem věnoval nejprve vnější ochraně proti přepětí popisující její jednotlivé části. V druhé části je rozepsána vnitřní ochrana proti přepětí vysvětlující koncepci ochranných zón, kategorizaci přepětí a metodiku ochrany vzájemným pospojováním s návazností na přepětěvací ochranná zařízení. U přepětěvacích ochranných zařízení je dále popsán způsob jejich činnosti a rozdělení vyúsťující v přehled současně vyráběných typů používaných v rozvodech nízkého napětí. Zde je vysvětlena i problematika instalace svodičů.

Pro rodinný dům jsem vypracoval návrh víceúrovňové ochrany, který doplňuje současnou instalaci a vnější ochranu před bleskem. U vybraných svodičů je popsána jejich technologie a způsob umístění. Pro jejich připojení jsou vybrány vodiče vhodného průřezu

Navržená ochrana se skládá z kombinovaného svodiče bleskových proudů modelové řady DEHNventil DV TN-C M 255 umístěného na vstupu objektu a dále potom jemným svodičem přepětí modelové řady DEHNflex DFL M 255, umístěného u koncových zařízení. Rozmístění svodičů je znázorněno v liniovém schématu.

Cenový rozpočet je potom shrnut v ekonomické bilanci. Celková cena za přepětěvací ochranu včetně práce je vyčíslena na 32 620 Kč.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Ing. KUTÁČ Jiří, Ing. ROUS Zdeněk, Ing. HLADNÝ Zdeněk. *Hromosvody a Zemniče*. IN-EL Praha, 2008. 133 s. ISBN 978-80-86230-45-0
- [2] Ing. ROUS Zdeněk. *Zařízení do 1000V a ochrana před přepětím (1.)* [online], 2015 [cit. 25.4.2015]. Dostupné na World Wide Web: <http://elektrika.cz/data/clanky/derou1030925>
- [3] Dehn + Söhne : *Lightning Protection Guide*, 2nd updaten edition, Neumarkt, Germany, Dehn + Söhne, 2007, ISBN 3-00-015975-4, 328 s.
- [4] ČSN EN 62305-1, *Ochrana před bleskem- Část 1 : Obecné principy*
- [5] Ing. BURANT Jiří, *Blesk a přepětí. Systémová řešení ochran*. Praha: FCC public s.r.o. 2006, 252 s. ISBN 80-86534-10-3
- [6] Ing. POCHOP Zbyněk, *Projektování přepětových ochran dle ČSN EN 62305*. [online], 2015 [cit. 12. 5. 2015]. Dostupné na World Wide Web: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30304
- [7] OEZ [online]. 2015 [cit. 16. 4. 2015]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.oez.cz/aktuality/prepetove-ochrany-minia-v-bezne-pouzivanych-sitich-nizkeho>
- [8] Lumaplus [online]. 2015 [cit. 18. 5. 2015]. Dostupné na World Wide Web: http://www.lumaplus.cz/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=4&Itemid=34
- [9] Elektromaterialy.cz [online]. 2015 [cit. 28. 5. 2015]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.elektromaterialy.cz/?p=productsMore&iProduct=2209&sName=Svodic-prepeti-DEHNBloc-3-255-H-900120>
- [10] Dehn + Söhne [online]. 2015 [cit. 29. 5. 2015]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.dehn.sk/dehn.sk/dehnventil/par/fpar1.htm>
- [11] ČSN EN 62305-3, *Ochrana před bleskem- Část 3 : Hmotné škody na stavbách a ohrožení života*
- [12] Schoolphysics [online]. 2015 [cit. 28. 5. 2015]. Dostupné na World Wide Web: http://www.schoolphysics.co.uk/age16-19/Electricity%20and%20magnetism/Electrostatics/text/Electric_field_and_potential_gradient/index.html
- [13] Egu-vvn [online]. 2015 [cit. 29. 5. 2015]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.egu-vvn.cz/cs/activities/engineering/diagnostic-of-hv-equipment>

- [14] ElektriKa.cz [online]. 2015 [cit. 26. 5. 2015]. Dostupné na World Wide Web: <http://elektrika.cz/data/clanky/dehn-porovnani-svodicu-prepeti>
- [15] Proprojektanty.cz [online]. 2015 [cit. 19. 5. 2015]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.proprojektanty.cz/ochrany-proti-prepeti/321-problematika-navrhu-ochrany-proti-pepti-v-obytnych-budovach>
- [16] Dehn + Söhne [online]. 2015 [cit. 30. 5. 2015]. Dostupné na World Wide Web: http://www.dehn.pl/docs/ochrona/pne_330000-5.pdf
- [17] ElektriKa.cz [online]. 2015 [cit. 22. 5. 2015]. Dostupné na World Wide Web: <http://elektrika.cz/data/clanky/obycejny-dehnguard-precizne-vyrobeny-svodic-prepeti-typ-2>
- [18] Dehn + Söhne [online]. 2015 [cit. 31. 5. 2015]. Dostupné na World Wide Web: <https://www.dehn.de/de/479/31742/Familie-html/31742/DEHNflex.html>
- [19] TBZ-info [online]. 2015 [cit. 30.5.2015]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.tzb-info.cz/3747-zasady-instalace-svodicu-v-rozvadecich>
- [20] ATPjournal [online]. 2015 [cit. 29.5.2015]. Dostupné na World Wide Web: http://www.atpjournal.sk/rubriky/aplikacie/pozitivne-skusenosti-so-systemom-ochrany-pred-ucinkami-blesku-v-towercom-a.-s..html?page_id=17993
- [21] Dehn + Söhne [online]. 2015 [cit. 28. 5. 2015]. Dostupné na World Wide Web: <https://www.dehn.de/de/479/31742/Familie-html/31742/DEHNflex.html>
- [22] Dehn + Söhne [online]. 2015 [cit. 28. 5. 2015]. Dostupné na World Wide Web: http://dehn-cz.com/pdf/downloads/montazni/2006-montazni_navody/1385CZ_DVTNC.PDF
- [23] Odborné časopisy [online]. 2015 [cit. 31. 5. 2015]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/43679.pdf>

Seznam příloh

- [1] Liniové schéma instalace přepětové ochrany do rodinného domu

Příloha č. 1. - Liniové schéma instalace přepětové ochrany do rodinného domu

