

8 OCHRANA KOMUNIKAČNÝCH ZARIADENÍ PRED PREPÄTÍM

Ciele

- Naučiť sa základné pojmy z problematiky ochrany elektrických zariadení pred impulzným prepätím,
- pochopiť princípy vzniku a šírenia impulzného prepätia,
- naučiť sa základné princípy ochrany pred impulzným prepätím.

8.1 Úvod

Ochranou elektronických zariadení pred deštručnými účinkami impulzného prepätia je potrebné zaoberať sa z toho dôvodu, že sa používa čoraz viac obvodov s veľmi vysokou integráciou, ktoré sú obzvlášť citlivé na rušivé elektromagnetické vplyvy. Okrem toho sa systémy spájajú do rozľahlých sietí. V sieti sú v prípade poškodenia jediného zariadenia ohrozené aj všetky ostatné, ktoré sú k nemu pripojené. Spôsobené škody tak úmerne narastajú.

V neposlednom rade sa k ochrane proti škodlivým účinkom prepätí pristupuje aj preto, že následné škody spôsobeným výpadkom informačných tokov často mnohonásobne prevyšujú bezprostredné materiálne škody na zariadeniach.

Podľa štatistík poisťovní tvorí podiel porúch elektrických zariadení spôsobených prepätiami od 20 do 35%.

8.2 Impulzné prepätie

Prepätie je akékoľvek napätie vyššie ako prevádzkové napätie v elektrickom obvode. Charakterizuje sa buď maximálnou (vrcholovou) hodnotou, alebo ako pomerné zvýšenie. Prepätia majú najčastejšie charakter prechodných javov.

Impulzné prepätie je krátkodobé prepätie trvajúce niekoľko nanosekúnd až niekoľko milisekúnd. Amplitúda impulzného prepätia môže dosahovať až stovky kV. Patrí medzi najvýraznejšie a najškodlivejšie prejavy elektromagnetického rušenia a ohrozuje zvlášť elektronické zariadenia s vysokou hustotou integrácie polovodičových súčiastok.

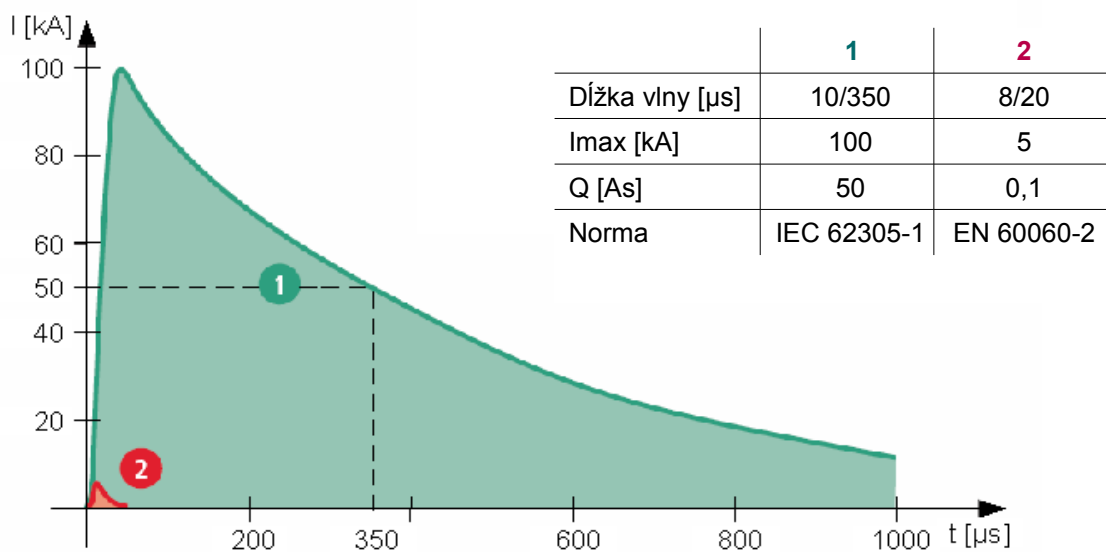
Zdroje impulzného prepätia

Atmosférické prepätie (anglická skratka *LEMP*) – vzniká pri údere blesku. Jeho najnebezpečnejším prejavom je *bleskový prúd*, alebo jeho časť vnikajúca do zariadenia. Jeho deštruktívny účinok je daný jeho vysokou energiou uvoľnenou v krátkom okamihu (niekoľko ms). Energeticky menej nebezpečné sú *prepätia indukované pri údere blesku*, avšak aj v tomto prípade môže mať prepätie amplitúdu niekoľko sto kV a to až na vzdialenosť 1,5 až 3 km od miesta úderu blesku.

Spínacie prepätie (anglická skratka *SEMP*) – vzniká pri spínaní v elektrických obvodoch a sieťach. *Môže ísť o náhodné deje* pri prepájaní obvodov, zapínaní niektorých zariadení (napr. transformátorov, alebo motorov) alebo pri poruche. Spínacie prepätie *môže mať aj trvalý (opakovaný) charakter*, ak je spôsobené činnosťou zariadenia. V takom prípade ho môže spôsobovať napríklad neodrušený komutátorový motor, žiarivka, alebo iné zariadenia, ktoré trvale spínajú napájacie napätie záťaže. Spínacie prepätie môže dosahovať hodnotu až niekoľko desiatok kV.

Prepätie spôsobené atómovými výbuchmi (anglická skratka *NEMP*) – možnosť jeho vzniku sa berie do úvahy v prípade zariadení a sietí, ktorých prevádzka je dôležitá pre obranu štátu.

Prepätie vznikajúce pri výbojoch statickej elektriny (anglická skratka *ESD*). Odolnosť zariadenia voči tomuto druhu prepätia musí zabezpečiť výrobca zariadenia. Ten musí preukazovať odolnosť zariadenia proti ESD skúškam podľa medzinárodnej normy IEC 1000-4-2 a stanoviť také podmienky prevádzky (antistatická obuv, podlaha, vlhkosť vzduchu a pod.), aby bol vznik statickej elektriny obmedzený na minimum.



Obr.8.1 Skúšobné impulzy LEMP (10/350 μs, 100 kA) a SEMP (8/20 μs, 5 kA) podľa noriem IEC 62305-1 a EN 60060-2

Pre účely testovania a modelovania účinkov impulzných prepätí sú definované skúšobné impulzy, ktoré simulujú najčastejšie prípady impulzného prepätia v praxi. Ich parametre sú uvedené v medzinárodných a národných normách (napr. IEC 62305-1, EN 60060-2). Na Obr.8.1 sú zobrazené dva takéto impulzy: 10/350 μs, 100 kA a 8/20 μs, 5 kA. Prvé dva údaje označujú čas za ktorý impulz dosiahne 90 % amplitúdy (10, alebo 8 μs) a čas pokým úroveň impulzu klesne na 50 % amplitúdy (350, alebo 20 μs), ktorou je 100, resp. 5 kA.

Impulz č.1 sa používa pri modelovaní účinkov blesku, impulz č. 2 (nižší a užší impulz) reprezentuje impulzné prepätie spôsobené priemyselným rušením.

Z tvaru impulzov je zrejmé, že ochranný systém musí pre rôzne typy impulzov odvieť diametrálne odlišné množstvo náboja ($Q = \int i dt$).

8.3 Šírenie porúch

8.3.1 Cesty prenikania prepätia do zariadenia

Prepätie preniká do zariadenia:

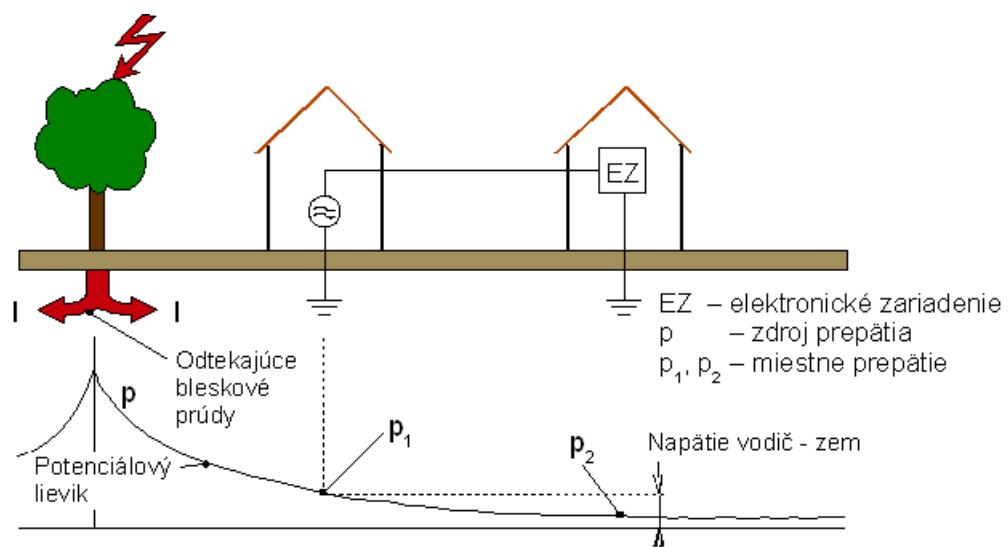
- Vyžarovaním elektromagnetického poľa do obvodov zariadení,
- z napájacej siete nn,
- z komunikačných vedení: z telekomunikačného a dátového vedenia, z antén, z meracích, regulačných a signalizačných vedení
- z nesprávne zriadeného systému uzemnenia.

Pri údere blesku, elektromagnetickom rušení, nukleárnom výbuchu a pod. vo vedení vzniká prepätie vplyvom kapacitnej, indukčnej, alebo galvanickej väzby.

8.3.2 Typy väzieb

Galvanická väzba

Galvanicky preniká impulzné prepätie do zariadenia cez uzemňovaciu sústavu a uzemnené časti zariadenia. Amplitúda prepätia závisí na veľkosti prúdu pretekajúceho zemniacim systémom.



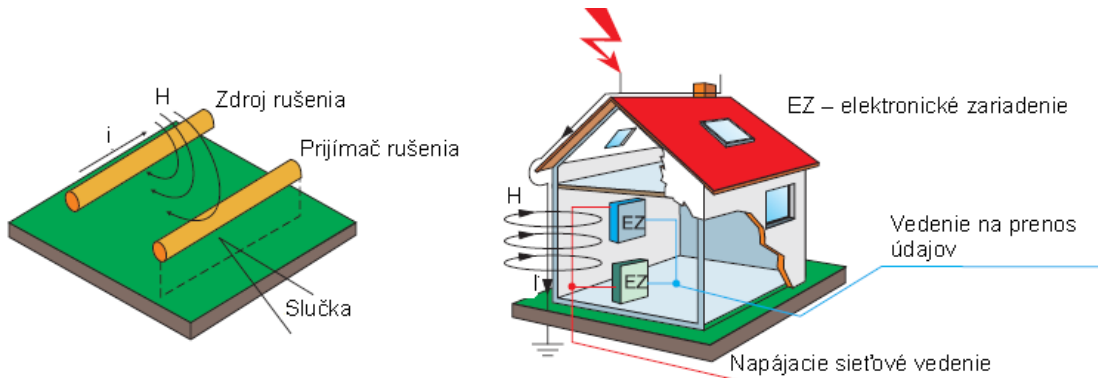
Obr.8.2 Vznik impulzného prepätia vplyvom galvanickej väzby pri údere blesku

Pri priamom údere blesku tečú zemniacou sústavou prúdy s amplitúdou až 200 kA, ktoré zvýšia elektrický potenciál budovy. Tak vznikne medzi napájacím (alebo dátovým) a zemniacim vedením potenciálový rozdiel niekoľko desiatok kV.

Induktívna väzba

Medzi zdrojom rušenia a prijímačom existuje vždy indukčná väzba. Amplitúda indukovaného prepätia je úmerná rýchlosti zmeny magnetického poľa.

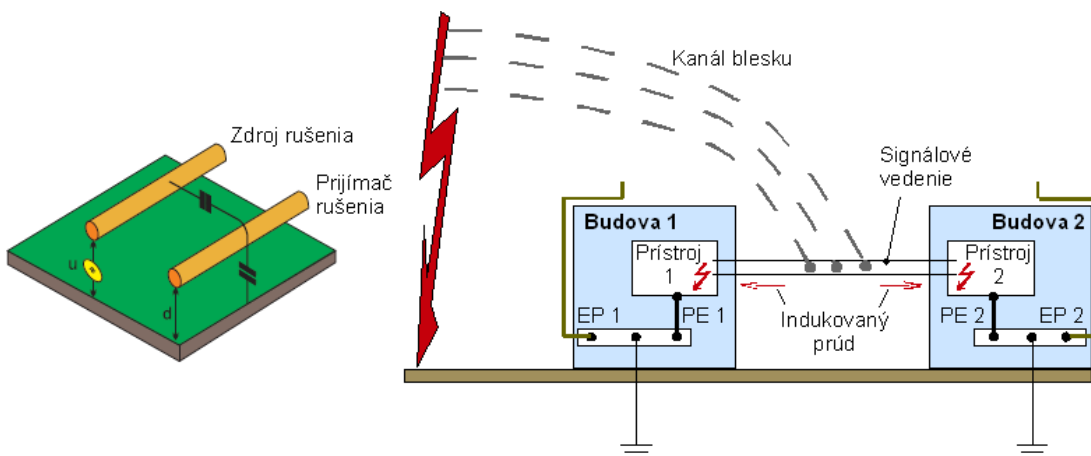
Prúd pretekajúci bleskozvodom vyvoláva silné elektromagnetické pole, ktoré indukuje v elektrických vodičoch napätie s amplitúdou rádovo desiatok kV. Toto pole pôsobí až do vzdialenosti 2,5 km od úderu blesku.



Obr.8.3 Vznik impulzného prepätia vplyvom indukčnej väzby a príklad vzniku impulzného prepätia pôsobením indukčnej väzby pri údere blesku do bleskozvodu budovy

Kapacitná väzba

Medzi zdrojom rušenia a prijímačom existuje vždy kapacitná väzba (parazitná kapacita). Amplitúda vzniknutého prepätia je úmerná strmosti poruchového napät'ového impulzu (du/dt).



Obr.8.4 Vznik impulzného prepätia vplyvom kapacitnej väzby (EP – ekvipotenciálna prípojnica)

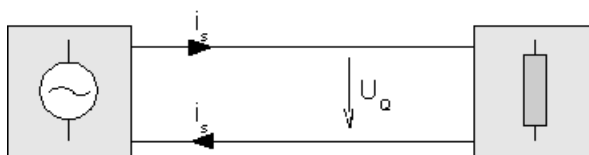
Pri údere blesku tečie kanálom prúd o veľkosti niekoľko desiatok kA, ktorý vytvorí silné elektrické pole, ktoré pôsobí podobne ako kondenzátor so vzduchovým dielektrikom. Jednu elektródu predstavuje výboj blesku, druhú elektródu reprezentujú vodiče zariadenia. Táto väzba sa uplatní pri údere blesku do blízkeho objektu.

8.3.3 Typy prepätí

Vplyvom vyššie uvedených väzieb vznikajú vo vodičoch dva druhy prepätí.

Priečne prepätie

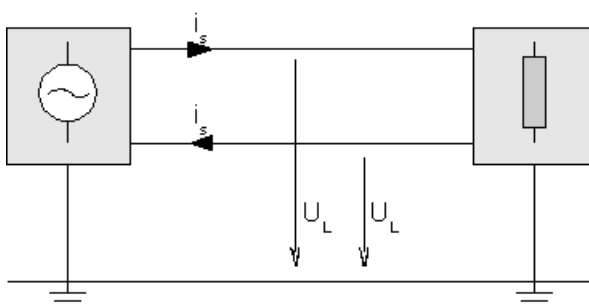
Priečne prepätie vzniká v dvojvodičových vedeniach, kde sa vplyvom nesymetrie vedenia a rôznej polohy vodičov indukujú v oboch žilách rôzne napätia. V dôsledku toho vznikne medzi týmito vodičmi priečne prepätie s amplitúdou až niekoľko kV (napätie U_Q na Obr.8.5).



Obr.8.5 Vznik priečného prepätia medzi vodičmi vedenia

Pozdĺžne prepätie

Pozdĺžne prepätie sa indukuje na dlhých komunikačných vedeniach, ktoré obvykle vytvárajú veľké indukčné slučky. Vplyvom pozdĺžneho prepätia vznikne veľký potenciálový rozdiel medzi zemiacim potenciálom zariadení a signálovými vodičmi (napätie U_L na Obr.8.6). Pozdĺžne prepätie môže mať amplitúdu niekoľko desiatok kV.



Obr.8.6 Vznik pozdĺžneho prepätia medzi vodičmi vedenia a zemiacim potenciálom zariadenia

Možnosť vzniku prepätí je možné potláčať vhodnou inštaláciou vedení. Odporúča sa používať krútené dvojlinky, tienené vedenia a vyhýbať sa súbežnému vedeniu signálových vedení so silovými a bleskozvodnými vedeniami.

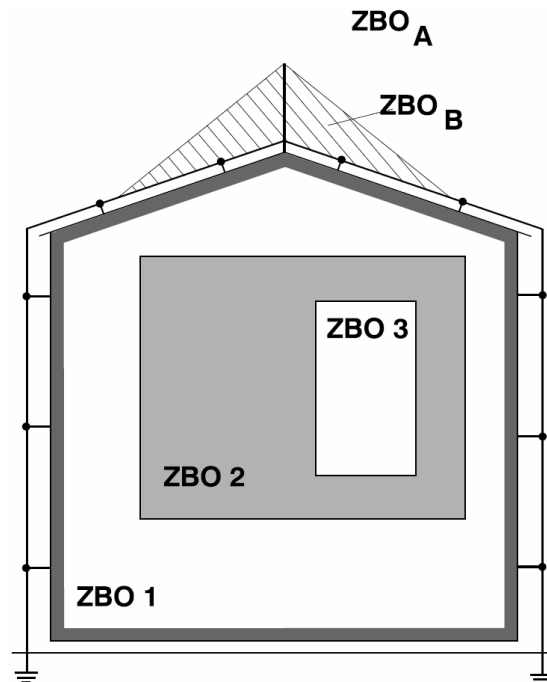
8.4 Ochrana pred impulzným prepätím

Základný prístup k ochrane pred prepätiami spôsobenými atmosférickými vplyvmi, je popísaný v norme STN EN 62305 „Ochrana pred bleskom“.

8.4.1 Zóny bleskovej ochrany

V norme STN EN 62305-1 („Všeobecné princípy“) sa chránený priestor rozdeľuje do niekoľkých zón (ZBO – zóny bleskovej ochrany). Na Obr.8.7 je ilustrované

začlenenie jednotlivých priestorov v budove a jej bezprostrednom okolí do nižšie uvedených zón.



Obr.8.7 Zóny bleskovej ochrany (ZBO)

- $ZBO 0_A$ – oblasť s možnosťou priameho zásahu bleskom a výskytu silných elektromagnetických polí, mimo ochranného uhla bleskozvodu (antény a podobné vyčnievajúce prvky).
- $ZBO 0_B$ – oblasť chránená bleskozvodom pred priamym zásahom s možnosťou výskytu silných elektromagnetických polí (vonkajšie zariadenia, lampy, spínače,...).
- $ZBO 1$ – vo vnútri budovy chránenej bleskozvodom je priamy úder vylúčený, môže sa vyskytnúť len utlmený LEMP (rozdávače a menej citlivé zariadenia).
- $ZBO 2$ – odtienené priestory vo vnútri budov, predpokladá sa podstatný útlm LEMP impulzov (citlivé zariadenia).
- $ZBO 3$ – prostredie v uzavretých plechových skrinách elektrických zariadení.

Základom ochrany je fungujúca *bleskozvodná sústava*. Ďalej je nutné pospájať všetky kovové časti (vodovodné, plynové a iné kovové potrubia) na tzv. *ekvipotenciálnu prípojnicu*¹. Až keď sú realizované tieto opatrenia, má zmysel používať *prídavné ochranné prvky* uvedené nižšie.

¹ Pripojenie všetkých kovových častí na ekvipotenciálnu prípojnicu umožní vyrovnanie potenciálov všetkých pospájaných častí. Základné vyrovnanie potenciálov sa uskutočňuje na rozhraní zón ZBO 0 a 1. Jeho účelom je čo najviac vylúčiť prenikanie častí bleskového prúdu z bleskozvodnej sústavy alebo ktorejkoľvek kovovej konštrukcie, vrátane elektrických vedení vstupujúcich do budovy do inštalácie vo vnútri budovy. Pripojením všetkých týchto konštrukcií na ekvipotenciálnu prípojnicu čo najbližšie pri vstupe do budovy sa dosiahne to, že bleskové prúdy „obchádzajú“ budovu. Živé vodiče sa do vyrovnania potenciálov v ochrane pred bleskom zapoja pomocou výkonných zvodíčov bleskových prúdov. V nasledujúcich rozhraniach zón vo vnútri budovy je potrebné zriaďovať *miestne vyrovnania potenciálov* ku ktorým sú pripojované všetky kovové vodiče a inštalácie prechádzajúce týmito rozhraniami. Na ochranu sa používajú zvodíče prepätia. Miestne ekvipotenciálne prípojnice musia byť prepojené s hlavnou.

8.4.2 Trojstupňová ochrana rozvodov nn

Najčastejšie používaný prídavný ochranný prvok je zvodič, ktorý obmedzuje vzniknuté prepätie na bezpečnú mieru. *Žiadny ochranný prvok však nedokáže úplne eliminovať impulzné prepätie vzniknuté úderom blesku a preto sa používa kaskádové radenie ochranných prvkov rôzneho typu.*

1. stupeň: Zvodič bleskového prúdu

Zvodič bleskového prúdu musí odvieť impulzy LEMP (10/350 μ s, 100 kA). Amplitúdu impulzu obmedzí na niekoľko kV.

Inštaluje sa na vstupe do budovy – na rozhraní zón ZBO 0_B/1. Sú nízkoimpedančne spojené s potenciálovým vyrovnaním budovy (na ekvipotenciálnu prípojnicu).

2. stupeň: Zvodič prepätia

Zvodič prepätia obmedzí impulzné prepätie s amplitúdou niekoľkých desiatok kV na úroveň 1,5 až 2,5 kV. Inštaluje sa v podružných rozvádzačoch.

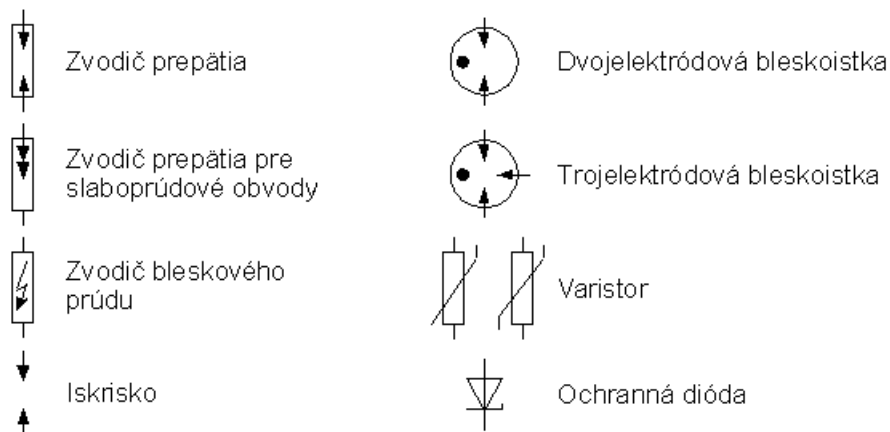
3. stupeň: Vlastná ochrana zariadenia

Inštaluje sa čo najbližšie ku chránenému zariadeniu. Prepäťové impulzy potlačí na hodnotu nižšiu ako 500 V.

8.5 Ochranné prvky

Ochrana proti prepätiam býva realizovaná *skratovaním*, alebo *odpojením* chránených obvodov. Najčastejšie používané ochranné prvky proti prepätiam sú:

- ochranné iskriská,
- bleskoistky,
- varistory,
- ochranné (supresorové) diódy,
- filtre.



Obr.8.8 Schematické značky najčastejšie používaných ochranných prvkov proti prepätiu

Na Obr.8.8 sú schematické značky najčastejšie používaných ochranných prvkov proti prepätiu.

Ochranné iskriská

Ochranné iskriská spôsobujú dočasné spojenie so zemou pri prepätí. Pri prekročení tzv. zapalovacieho napätia vznikne medzi elektródami iskriska elektrický oblúk. Dielektrikom je spravidla vzduch. Existujú dva druhy iskrísk: *otvorené* a *zapúzdzrené*. *Používajú sa v prvom stupni – ako vodič bleskového prúdu.*

Bleskoistky

Bleskoistky sú špeciálne iskriská s kovovými elektródami umiestnenými v malej vzdialenosti v keramickom alebo sklenenom puzdre valcového tvaru, z ktorého je vyčerpaný vzduch a puzdro je naplnené inertným plynom pod malým tlakom. Statické zápalné napätie je 75 V až 1500 V. Doba zapálenia je rádovo stovky ns.

Vyrábajú sa vo vyhotovení s dvomi, alebo tromi elektródami. *Používajú sa prvom stupni – ako vodič bleskového prúdu, podobne ako ochranné iskriská.*

Varistory

Varistory sú napätovo závislé rezistory so symetrickou voltampérovou charakteristikou. Odpor varistora pri istom napätí prudko klesne. Vyznačujú sa rýchlejšou odozvou ako ako bleskoistky – asi 25 ns, ale pre polovodičové súčiastky nie je ani táto rýchlosť dostatočná. *Používajú sa v druhom stupni – ako vodič prepätia.*

Ochranné diódy

Ako ochranné diódy sa niekedy používajú bežné Zenerove diódy, častejšie však špeciálne supresorové diódy. Supresorové diódy majú v porovnaní so Zenerovými diódami väčšiu prúdovú zaťažiteľnosť a veľmi rýchlu odozvu. Jedine tieto prvky dokážu pri svojej rýchlosti ochrániť polovodičové zariadenia.

Používajú sa v treťom stupni na vlastnú ochranu zariadenia.

Filtre

Používajú sa pasívne (LC, RC) i aktívne (RC) filtre. Výkon filtrov sa pohybuje v širokom rozsahu, rádovo od wattov až po stovky wattov a kilowatty. Na rozdiel od predchádzajúcich druhov ochranných prvkov, filtre – podľa druhu a zapojenia – sa zapájajú nielen paralelne, ale aj do série s chráneným zariadením.

Používajú sa na vlastnú ochranu zariadenia, pričom obmedzujú aj šírenie impulzného prepätia zo zariadenia samotného.

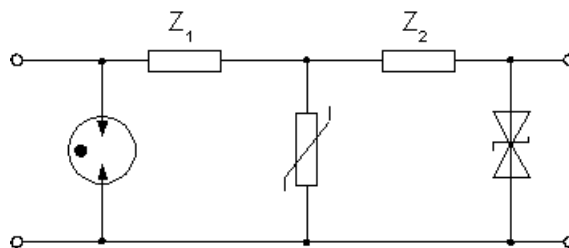
Základné parametre vyššie uvedených ochranných prvkov sú uvedené v tabuľke 1.

Na Obr.8.9 je zapojenie trojstupňovej ochrany pred účinkami impulzného prepätia, ktorá v pozostáva z bleskoistky, varistora a supresorovej diódy. Jednotlivé stupne ochrany sa oddelujú oddelovacími impedanciami, ktoré sú tvorené indukčnosťami menšími ako 20 μ H, alebo odpormi menšími ako 5 Ω . Dôvodom na ich použitie je rôzny reakčný čas jednotlivých stupňov. Pretože rýchlejšie prvky reagujú skôr ako výkonnejšie, avšak pomalšie prvky, tak obmedzia napätový impulz skôr ako by sa napríklad stihla zapáliť bleskoistka a mohlo by dôjsť k ich preťaženiu. Preto indukčnosti a odpory zaradené medzi jednotlivými stupňami znížia zaťaženie rýchlejších, ale menej výkonných ochranných prvkov.

Tabuľka 1

Základné parametre ochranných prvkov proti prepätiu

	Iskrisko	Bleskoistka	Varistor	Supresorová dióda
Impulzný prúd	< 100 kA	> 100 kA	niekoľko kA	stovky A
Reakčný čas	< 500 ns	<100 ns	< 25 ns	< 10 ps
Ochranná úroveň	65 – 12 000 V	100 – 2 000 V	20 – 2 000 V	6 – 190 V
Zvodový prúd	< 15 mA	< 15 mA	< 0,2 mA	< 5 mA



Obr.8.9 Zapojenie trojstupňovej ochrany pred účinkami impulzného prepätia

8.6 Ochrana sietí

Ide najmä o ochranu počítačových sietí a zariadení výpočtovej techniky, telekomunikačných, meracích a regulačných vedení a zariadení. Napr. v počítačových sieťach, ktoré nemajú dostatočnú ochranu proti prepätiam, môže dochádzať k samovoľnému reštartu, „mrznutiu“ systému, stratám dát a pod., až po zničenie zariadenia.

Dôležité hlavné siete bývajú obvykle realizované optickým vláknom, *preto sú aktívne prvky ohrozené najmä zo strany napájacích vedení. Z tejto strany treba zariadenia chrániť až do úrovne priameho zásahu bleskom.*

V prípade, *keď sa ako horizontálna kabeľáž používajú metalické vedenia*, treba rátať s vysokými indukovanými prepätiami. Prídavné ochranné prvky by mali byť inštalované v podružných rozvádzačoch (zvodiče prepätí), ale aj pri jednotlivých počítačoch, čo najbližšie k miestu pripojenia koncového zariadenia (vlastná ochrana zariadenia).

Najkomplexnejšia je *trojstupňová ochrana sietí* pred účinkami impulzného prepätia:

1. *stupeň: ochrana pri vstupe vedení do objektu.* Vykoná sa pomocou ochranných prvkov (zvodiče bleskových prúdov), uzemnením, pospájaním a ekvipotenciálnym vyrovnaním.
2. *stupeň: vlastná ochrana všetkých zariadení nevyhnutných na činnosť systému* (napr. centrálny počítače, servery, prevodníky, zosilňovače, modemy a pod.).
3. *stupeň: vlastná ochrana ostatných (koncových) zariadení.*

Z hľadiska ochrany proti prepätiam je *pri inštalácii komunikačnej siete* a jej častí nutné *dodržiavať nasledujúce zásady:*

- umiestnenie ochranných prvkov čo najbližšie k chránenému zariadeniu,

- prírodné (nechránené) vedenia nesmú byť vedené paralelne s chránenými časťami vedenia,
- dátové vodiče nemajú byť vedené súbežne s vodičmi nn (odporúča sa vzdialenosť 30 cm alebo použitie tienených žľabov s tieniacimi priečkami).

8.7 Súhrn

Impulzné prepätie sa do rozvodov dostáva okrem galvanickej väzby aj indukčnou i kapacitnou väzbou. Elektromagnetické polia vznikajúce pri úderoch blesku generujú prepäťové impulzy, ktoré síce trvajú len niekoľko desiatok mikrosekúnd, ale amplitúdy dosahujú aj desiatky kV.

Ochrana proti ich deštruktívnym účinkom spočíva v pospájaní kovových častí na rovnaký potenciál a v doplnení zvodíčov bleskových prúdov a prepätí. Koncové zariadenia sa odporúča chrániť ochrannými prvkami umiestnenými čo najbližšie k prístroju. Ochrany sú riešené kaskádovo, pretože žiaden prvok nedokáže spoľahlivo ochrániť sám.

8.8 Literatúra

- [1] Balogh, R., Béla, I., Dorner, J., Drahoš, P.: Priemyselné komunikácie. Vydavateľstvo STU, Bratislava, 2001. ISBN 80-227-1600-6.
- [2] Kroupa, J.: Nové normy na ochranu pred bleskom (1). AT&P Journal, č. 1, roč. 14, 2007, str. 34-35.
- [3] Kroupa, J.: Princíp ochrany pred prepätím. AT&P Journal, č. 10, roč. 14, 2007, str. 32-33.
- [4] Kroupa, J.: Nové normy na ochranu pred bleskom (7). AT&P Journal, č. 12, roč. 14, 2007, str. 42-43.

8.9 Kontrolné otázky

1. Vysvetlite pojem „impulzné prepätie“.
2. Aké sú najčastejšie zdroje impulzného prepätia?
3. Akými cestami môže prepätie prenikáť do zariadenia?
4. Z čoho pozostáva trojstupňová ochrana rozvodov NN?
5. Aké ochranné prvky sa používajú v treťom stupni na vlastnú ochranu zariadenia?