

Jaroslav Petráš

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach

Podmienky ochrany pred prepätím vo vysokofrekvenčnej technike

Abstrakt. Tento článok je zameraný na zariadenia prepäťovej ochrany pre použitie vo vysokofrekvenčnej technike v elektronických systémoch. Sú popísané niektoré konštrukčné obmedzenia takýchto zariadení vzhľadom na frekvenčný rozsah spracovávaných signálov v chránených obvodoch.

Abstract. This paper focuses on overvoltage protection device usage in high frequency technology in electronic systems. Some restrictions in construction of such devices are de-scribed according to usage of high frequency signals in protected circuits.

Kľúčové slová: Prepätie, prepäťová ochrana, vysoké frekvencie.

Keywords: Overvoltage, overvoltage protection, high frequency.

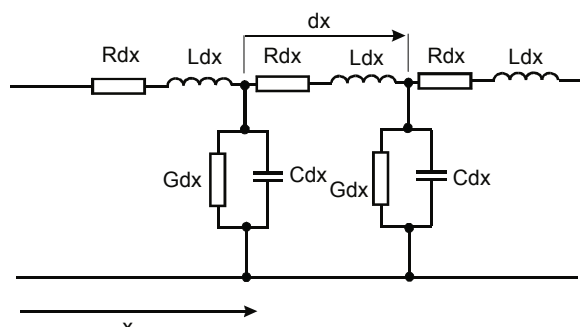
Úvod

Široké spektrum aplikácií elektronických zariadení využívajúcich vysoké frekvencie zvyšuje riziko vplyvu výpadkov týchto zariadení v rámci normálnej prevádzky na ich funkčnosť a spoľahlivosť. Jedna z najčastejších príčin výpadkov elektronických zariadení je vplyv prepätí, vznikajúcich ako dôsledok atmosférických dejov, spínacích a poruchových dejov v rozvodnom systéme. Zvlášť dôležitá je spoľahlivosť zariadení v zdravotníctve, vojenskej technike, v dopravných systémoch, v telekomunikáciách, bankových inštitúciách, zabezpečovacej technike. V týchto oblastiach je tento vplyv kritický, preto z ekonomických a bezpečnostných dôvodov je nutné urobiť ochranné opatrenia proti týmto vplyvom.

Prepätia v obvodoch vysokých frekvencií

Špecifickou oblasťou ochrany pred prepätím je ochrana používaná vo vysokofrekvenčnej technike. Jej špecifickosť je daná najmä vysokou frekvenciou obvodmi používaných, spracovávaných a prenášaných signálov. Tomuto frekvenčnému rozsahu sa musí prispôbiť aj výber konštrukcie a typu prepäťovej ochrany pre vysokofrekvenčnú techniku.

Rozsah vysokých frekvencií môžeme určiť z podmienky, kedy vzhľadom na spracovávanú frekvenciu nemožno už pre elektronické obvody a prenosové cesty oddeliť elektrickú a magnetickú energiu (a sústrediť ju v prvkoch so sústredenými parametrami) a nie je možné modelovať tieto obvody s prvkami so sústredenými parametrami, ale je potrebné použiť model s prvkami s rozloženými parametrami. U týchto obvodov sa začína prejavovať konečná rýchlosť šírenia sa elektromagnetického poľa a prúd a napätie sa mení spojitě pozdĺž vedenia.



Obr. 1 Úsek dlhého vedenia s priečnymi a pozdĺžnymi impedanciami

Obr. 1 zobrazuje úsek dlhého vedenia s priečnymi a pozdĺžnymi impedanciami, kde R , L tvoria pozdĺžnu impedanciu a reprezentujú ohmický odpor resp. indukčnosť vodičov s dĺžkou dx . G a C vytvárajú priečnu impedanciu a reprezentujú zvodovú vodivosť a kapacitu vodiča dĺžky dx .

V prípade prepäťových ochrán vo vysokofrekvenčnej technike ide predovšetkým o prepäťové ochrany určené pre antény systémy a rozvody, televízne systémy s uzavretým okruhom – CCTV, vysielačie alebo prijímacie systémy.

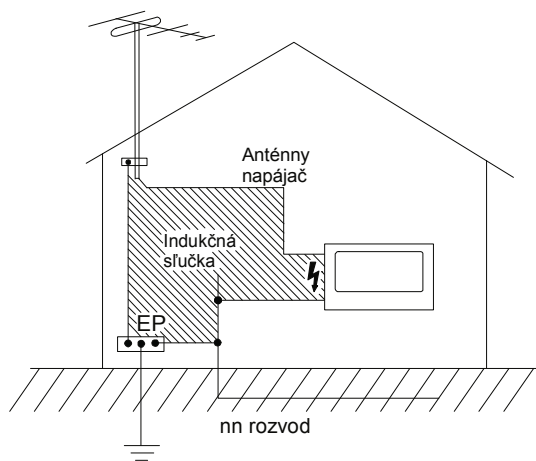
Atmosférické výboje, silové vedenia vedené v bezprostrednej blízkosti koaxiálneho alebo dátového vedenia, alebo prevádzka a spínanie elektrických spotrebičov môžu na vstupe citlivých elektronických zariadení vyvolať nežiaduce účinky, poškodenie alebo úplné zničenie elektronického zariadenia. Preto každé zariadenie, ktoré je priamo pripojené ku koaxiálnemu alebo dátovému vedeniu by malo mať prepäťovú ochranu aj na tomto vstupe.

Spôsoby ohrozenia vysokofrekvenčných obvodov prepätím

Spôsobov ako prenikne nebezpečné prepätie na vstup elektronického zariadenia je viac. Prvým zo spôsobov je prenos prepätia galvanickou väzbou. Z hľadiska vysokofrekvenčných obvodov a vedení sú však významnejšie induktívna a kapacitná väzba.

Pri údere blesku preteká bleskovým kanálom prúd rádovo desiatky a stovky kA, čo v okolí tohto kanálu vytvára elektromagnetické pole, ktoré môže v slučkách vytvorených vodivými predmetmi v okolí bleskového kanálu indukovať napätie. Takéto slučky vytvárajú napríklad kovové konštrukcie budov, kovové potrubia, rozvod nn sietí, ale aj prenosové cesty vysokofrekvenčného signálu ako napríklad antény napájač, koaxiálne káble rozvodu CCTV, dátové vedenia. Indukované napätie môže dosahovať hodnoty rádovo niekoľko kV a závisí priamo úmerne od plochy, ktorú obopína vodivá slučka a nepriamo úmerne od vzdialenosti slučky od bleskového kanálu.

Na obr. 2 je znázornený príklad takejto indukčnej slučky vytvorenej anténym napájačom a silovým príivodom, ktorá je zakončená v televíznom prijímači a obopína plochu niekoľko m². Pri údere blesku sa v nej indukujú napätia rádovo 10 000V až 100 000V. Výsledkom sú s vysokou pravdepodobnosťou nielen priame škody – zničenie vysokofrekvenčných vstupných obvodov TV tunera alebo celého prístroja, ale aj možné sekundárne škody spôsobené následným požiarom.



Obr. 2 Indukčná slučka

Takto ani pri správnom uzemnení anténneho systému nie sú pred indukovaným prepätím chránené analógové a digitálne dátové vstupy elektronických zariadení. Riešením je použitie prepäťových ochrán určených pre vysokofrekvenčnú techniku.

Pri kapacitnej väzbe sú ohrozené hlavne elektronické zariadenia a prístroje, ktoré sú umiestnené z vonkajšej strany objektu a sú galvanicky prepojené s komponentmi vo vnútri budovy. Takýmito zariadeniami sú napríklad CCTV kamery, snímače a iné elektronické zariadenia a v prípade kapacitnej väzby fungujú ako akumulátory náboja. Kanál blesku a kovové predmety v okolí bleskového kanálu vytvárajú kondenzátor, na ktorého jednej elektróde, tvorenej práve vodivými predmetmi v okolí bleskového kanálu, sa akumuluje značné množstvo náboja opačnej polarita ako náboj bleskového kanálu. Tento naakumulovaný náboj sa po doznení blesku uvoľní a šíri sa vo forme prúdovej vlny z vonkajších komponentov do vnútorných cez galvanickú väzbu. Aj v tomto prípade, aj keď sú rozvody riešené podľa príslušných noriem, sú citlivé vysokofrekvenčné vstupy ohrozené prepätím.

Zariadenia s citlivými vysokofrekvenčnými vstupmi

Z uvedeného vyplýva aj spektrum zariadení, u ktorých je potrebné aplikovať prepäťové ochrany určené pre vysokofrekvenčnú techniku.

Sú to predovšetkým:

- televízne prijímače
- rozvody STA
- rozvody káblovej televízie
- prijímacie a vysielačie systémy
- systémy CCTV a ich komponenty
- telekomunikačné, rádiové a rádioreléové systémy
- bezdrôtový prenos telemetrie
- mikrovlnné pripojenie k internet v 2,4 GHz pásme GSM.

Koordinácia v inštalácii VF prepäťových ochrán

Podľa rozdelenia chráneného priestoru na zóny bleskovej ochrany – ZBO je možné odporučiť inštaláciu hrubých prepäťových ochrán, dimenzovaných podľa požiadaviek pre ochranné vyrovnanie potenciálu, ako prvý stupeň vF prepäťovej ochrany na rozhranie zón bleskovej ochrany ZBO 0_B (do tohto priestoru sa väčšinou umiestňujú zariadenia antén a anténne napájače) a ZBO 1, a to na miesto vstupu vysokofrekvenčného prenosového kábla do budovy.

Jemné ochrany, dimenzované podľa citlivosti chráneného zariadenia na prepätie, sú takmer výhradne konštrukčne riešené pre použitie a montáž priamo na

vysokofrekvenčný vstup chráneného elektronického zariadenia, a tvoria tak druhý stupeň ochrany.

V rámci koordinácie týchto stupňov ochrán je nutné, aby tieto dva stupne boli od seba oddelené vedením dlhým aspoň 5 m. Ak táto požiadavka nie je splnená, je potrebné zaradiť medzi stupne ochrany tzv. oddeľovacie tlmičky, ktoré zabezpečia zaúčinkovanie 1. stupňa pred zaúčinkovaním 2. stupňa.

Zvláštne požiadavky na konštrukciu vysokofrekvenčných prepäťových ochrán

Okrem toho, že na vysokofrekvenčné (koaxiálne) prepäťové ochrany a ich parametre sú kladené rovnaké požiadavky ako na ostatné prepäťové ochrany, na niektoré ich parametre je kladený zvýšený dôraz. Je to výsledok použitia frekvencií, ktoré majú tieto ochrany preniesť (spracovať). Cieľom je použiť taký ochranný prvok, ktorý čo najmenej ovplyvňuje prenos vF signálu po koaxiálnom vedení. Z toho vyplývajú nasledujúce požiadavky na prepäťové ochrany používané v oblasti prenosu vF signálov.

Sú to hlavne tzv. prenosovo-frekvenčné parametre:

- činiteľ útlmu
- činiteľ odrazu
- šírka pásma

Činiteľ útlmu

Činiteľ útlmu je číslo udávané v dB a určuje veľkosť vysokofrekvenčnej energie, ktorá sa vplyvom dielektrických a vodivých strát na vedení utlmí. Pre vysokofrekvenčné vedenie požadujeme, aby bola hodnota činiteľa útlmu čo najmenšia, blízka nulovej hodnote. Vtedy je prenášaný signál tlmený najmenej. Z toho vyplýva, že vlastný útlm je parameter prepäťovej ochrany, ktorý pri jej inštalácii je potrebné vziať do úvahy, jeho veľkosť by mala byť čo najmenšia v pásme frekvencií prenášaných signálov, aby zbytočne ochrana nezvyšovala celkový útlm signálu na koaxiálnom vedení a tým nezhoršovala pomer signál/šum na vstupe elektronického zariadenia.

Na útlm, o ktorý sa zvýši celkový útlm na prenosovej ceste signálu po vložení prepäťovej ochrany do tejto cesty majú vplyv vložení odpor, vložení indukčnosti alebo zvodová kapacita. Typické hodnoty vlastného útlmu prepäťovej ochrany sú asi 1 – 3 dB pre frekvencie 1,3 až 1,7 GHz, 0,2 dB pre frekvencie menšie ako 1 GHz.

Nízky vložení odpor je dôležitý z hľadiska čo najmenšieho útlmu vF signálu pri prechode prepäťovou ochranou. Bežné hodnoty vložení odporu prepäťových ochrán sa pohybujú okolo hodnoty 1-2 Ω.

Vložená indukčnosť môže pri zvyšujúcej sa frekvencii prenášaného signálu výrazne vplyvať na celkovú vložení impedanciu a tým aj na útlm signálu na ochrannom prvku.

Zvodová kapacita rovnako ako vložení indukčnosť môže pri zvyšujúcej sa frekvencii prenášaného signálu výrazne vplyvať na celkovú vložení impedanciu a tým aj na útlm signálu na ochrannom prvku.

Činiteľ odrazu

Z teórie lineárnych obvodov s rozloženými parametrami je známe, že pri kaskádnom spojení dvoch homogénnych vedení s rôznymi vlnovými impedanciami vzniká v mieste spojenia čiastočný odraz vysokofrekvenčného signálu smerom späť k zdroju. V tomto prípade je vysokofrekvenčný signál vo vedení daný fázovým súčtom priamej a odrazenej vlny. Je zjavné, že neprispôbené spojenie je zdrojom problémov:

- odrazená vlna pôsobí rušivo na priamu vlnu, v prípade ak vo vedení existuje viac neprispôbených spojov, vedie to

k niekoľkonásobným odrazom. Tieto rušivé vplyvy znehodnocujú prenášaný signál.

- cez neprispôsobený spoj sa neprenesie celá užitočná energia vysokofrekvenčného signálu zo zdroja na záťaž, vznikajú tak straty v energii signálu, čo má v konečnom dôsledku zase vplyv na zhoršenie celkového pomeru signál/šum na vstupe elektronického zariadenia.

Činiteľ odrazu je definovaný podľa vzťahu:

$$r = \frac{U_r}{U_f} \quad (1)$$

kde r je činiteľ odrazu, U_f je amplitúda priamej (doprednej vlny) a U_r je amplitúda odrazenej vlny. Činiteľ odrazu sa väčšinou udáva v dB.

Je zrejmé, že čím je činiteľ odrazu menší, tým má spojenie menší vplyv na prenos v signálu. V praxi nás preto pri výbere prepäťovej ochrany zaujíma vlnová impedancia ochrany, ktorú vyberáme podľa vlnovej impedancie vysokofrekvenčného vedenia, ako aj činiteľ odrazu samotnej prepäťovej ochrany.

Šírka pásma

Pracovná šírka pásma udáva v akom frekvenčnom rozsahu má prepäťová ochrana garantované technické požiadavky. Z tohto hľadiska je možné rozdeliť prepäťové ochrany určené pre koaxiálne vedenia na:

- širokopásmové: tento typ umožňuje prenos signálu so širokým spektrom frekvencií, napr. od jednosmerného napájacieho napätia až po vysoké frekvencie používané vo vlnovej technike,
- úzkopásmové: tento typ prepäťových ochrán je pevne naladený na určitú rezonančnú frekvenciu. Na rezonančnej frekvencii a v jej úzkom okolí táto ochrana prenáša v signál bez jeho ovplyvnenia.

Vplyv neprispôsobeného vedenia v vedení na šírenie rázových vln

Tak ako vysokofrekvenčný signál, aj prepätie šíriace sa vo forme rázovej vlny sa na spojení dvoch vedení s rôznymi vlnovými impedanciami správa rovnako, t.j. dochádza k čiastočnému odrazu vlny späť do prvého vedenia. To znamená, celkovú vlnu v prvom vedení možno popísať ako superpozíciu priamej a odrazenej (spätne postupujúcej vlny). To má za následok fakt, že napäťové a prúdové pomery v oboch spojených vedeniach sa zmenia vzhľadom na prípad, kedy je spojenie oboch vedení impedančne prispôsobené. Je treba rozlišovať dva prípady:

- $Z_{v1} < Z_{v2}$, kde Z_{v1} je vlnová impedancia prvého vedenia a Z_{v2} je vlnová impedancia druhého vedenia. Použitím Kirchhoffových zákonov a Ohmovho zákona je pre tento prípad možné odvodiť, že celkové napätie na prvom vedení sa zvýši najviac na dvojnásobok a celkový prúd v prvom vedení sa zmenší.

Ak $Z_{v1} > Z_{v2}$, rovnakými postupmi ako v prvom prípade je možné zistiť, že prúd v prvom vedení sa zvýši najviac na dvojnásobok a napätie zmenší svoju hodnotu.

Tieto zmeny napäťových a prúdových pomerov by sa tiež mali brať do úvahy pri návrhu projektov s použitím prepäťových ochrán.

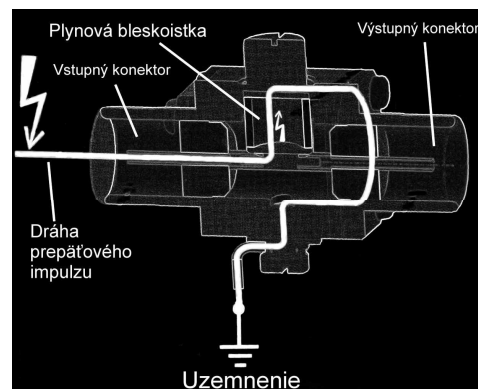
Koncepcné riešenia konštrukcie prepäťových ochrán koaxiálnych vedení

Konštrukcie prepäťových ochrán koaxiálnych vedení v súčasnosti využívajú hlavne nasledujúce koncepcie a konštrukčné prvky:

- prepäťová ochrana s plynom plnenoubleskoistkou
- ochrana štvrtvlnným skratom
- jemné ochrany so supresorovými diódami

Plynovébleskoistky

Prepäťové ochrany využívajúce plynom plnenébleskoistky fungujú ako napäťovo citlivý spínač, na ktorom sa pri napätí presahujúcom zápalné napätie vytvorí dočasný skrat medzi elektródamibleskoistky, vznikne elektrický oblúk a tak sa úroveň prepätia redukuje na úroveň napätia elektrického oblúku t.j. asi 30 V. Na obr. 3 je schematicky znázornený rez typickej koaxiálnej prepäťovej ochrany s použitím plynovejbleskoistky.



Obr. 3 Koaxiálna prepäťová ochrana s použitím plynovejbleskoistky

Výhodou takýchto prepäťových ochrán je ich šírka pásma od 0 až do 2,5GHz, to znamená, že patria medzi širokopásmové prepäťové ochrany. Umožňujú teda aj prenos jednosmerného napájacieho napätia cez takto chránený koaxiálny kábel. Toto sa využíva napr. v niektorých anténnych systémoch pre prenos jednosmerného napájacieho napätia cez koaxiálny kábel pre anténne predzosilňovače, kanálové zosilňovače, zmiešavače a pod.

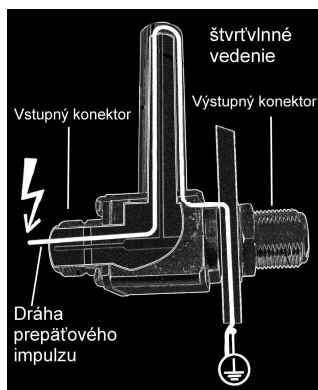
Nevýhodou plynom plnenejbleskoistky je však to, že pri nej pre vysokofrekvenčné vedenie prenášaná vysokofrekvenčná energia znižuje hranicu potrebnú pre zapálenie, čo má za následok, že môže byť použitá iba pre prenos nižších výkonov. Navyše k aktiváciibleskoistky dôjde s určitým oneskorením po prekročení zápalného napätia rádovo niekoľko sto voltov. Ďalšou nevýhodou je, že plynovábleskoistka vie zvládnuť iba určitý obmedzený počet prepäťových impulzov a keďže nie je možnosť reálneho sledovania počtu zaúčinkovaní takejto ochrany, je nutné v pravidelných intervaloch merať ich parametre, poprípade vymieňať ich za nové. Ich obmedzená životnosť je značnou nevýhodou týchto prepäťových ochrán a zvyšuje servisné náklady.

Vlastnosti prepäťovej ochrany s plynom plnenoubleskoistkou ju predurčujú na použitie ako hrubej ochrany inštalovanej na vstupe vysokofrekvenčného kábla do budovy pre nižšie frekvencie do 1 GHz.

Štvrtvlnný skrat

Tento typ ochranného prvku pre koaxiálne káble sa pripája paralelne k chránenému zariadeniu alebo vedeniu a je naladený na prenos určitej frekvencie, ktorú je schopný preniesť bez útlmu a pre ostatné frekvencie tvorí skrat (nulový prenos).

V princípe sa jedná o filter typu pásmová priepust s veľmi úzkym pásmom frekvencií, ktoré prepúšťa. Frekvenčné spektrum normovanej prúdovej vlny 8/20 obsahuje relevantné zložky práve v rozsahu frekvencií od 0 MHz asi do 1 MHz. Znamená to, že z hľadiska frekvencií, pre ktoré sa štvrtvlnný skrat používa sú tieto zložky v nepriepustnom pásme ochrany, teda ochrana zaúčinkuje a prúdovú vlnu na svoj výstup neprepustí. Čím užšie je priepustné pásmo koaxiálnej ochrany so štvrtvlnným skratom, tým je zvyškové prepätie za ochranou menšie. Na obr. 4 je schematický rez koaxiálnej prepäťovej ochrany s použitím štvrtvlnného skratu.



Obr. 4 Koaxiálna prepäťová ochrana s použitím štvrtvlnného skratu

Výhodou týchto prepäťových ochrán je ich neobmedzená životnosť, čím odpadá nutnosť pravidelných kontrol a servisných zásahov. Ďalšou výhodou je vysoký ochranný účinok.

Nevýhodou je, že vzhľadom na podstatu pásmovej priepuste neumožňuje prenos napájacieho jednosmerného napätia po koaxiálnom kábli.

Použitie tejto ochrany je vhodné pre frekvencie podstatne vyššie ako 1MHz, pri nižších frekvenciách je výroba takýchto prepäťových ochrán z hľadiska rozmerov nevýhodná. Vyrába sa až do frekvencie 12GHz, predovšetkým v prevedení pre 2,4GHz (bezdrôtový prenos dát - internet), 0,9 – 1,8GHz (GSM).

Supresorové diódy

Supresorové diódy sú polovodičové prvky, principiálne sú to dve proti sebe zapojené Zenerove diódy. Sú navrhnuté tak, aby boli schopné pracovať v oblasti lavínového prerazu a využívajú veľkú oblasť PN prechodu na absorpciu veľkých prúdov spôsobených prepätiami. Tieto diódy charakterizuje aj rýchla odozva. Prevádzka v lavínovom režime zabezpečuje nízku impedanciu, čo je zvlášť dôležité pri použití pre ochranu koaxiálnych vŕ vedení.

Supresorové diódy sa používajú v prevažnej miere ako jemné ochrany s miestom inštalácie na vstupe citlivých elektronických zariadení. Prepäťové ochrany s použitím supresorových diód sa vyrábajú pre frekvenčný rozsah asi do 2GHz.

Záver

Pri konštrukcii prepäťovej ochrany je nutné brať do úvahy obmedzujúce hodnoty parametrov prepäťových ochrán, ktoré vyplývajú z cieľovej oblasti použitia takýchto ochrán. Pre vysokofrekvenčnú techniku sú to najmä šírka pásma, činiteľ odrazu a činiteľ útlmu.

Literatúra

- [1] PETRÁŠ, Jaroslav - DŽMURA, Jaroslav - CIMBALA, Roman: Ochrana počítačových sietí pred nepriaznivými účinkami prepätí. In: Sďelovací technika. no. 10 (2007), p. 22-26. ISSN 0036-9942
- [2] PETRÁŠ, Jaroslav - CIMBALA, Roman: Prepäťové ochrany pre koaxiálne vedenia. In: Strojárstvo. roč. 8, č. 7-8 (2004), s. 30. ISSN 1335-2938



Európska únia



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku. Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ. Tento článok bol vypracovaný v rámci projektu "Centrum

excelentnosti integrovaného výskumu a využitia progresívnych materiálov a technológií v oblasti automobilovej elektroniky", ITMS 26220120055.

Autori: Jaroslav Petráš, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: jaroslav.petras@tuke.sk