ZAŠTITA ENERGETSKIH I TELEKOMUNIKACIONIH VODOVA OBJEKTA OD ATMOSFERSKOG ELEKTRIČNOG PRAŽNJENJA
LIGHTNING PROTECTION OF POWER AND TELECOMMUNICATION LINES CONNECTED TO A STRUCTURE

Milan Paripović, *m:tel, Banja Luka*

Sadržaj - *Ne postoje uređaji niti metode koje mogu izmjeniti tok prirodnih vremenskih pojava u toj mjeri da bi mogle spriječiti atmosfersko električno pražnjenje. Atmosfersko električno pražnjenje u objekat ili pokraj njega opasno je za ljude, za sam objekat, njegov sadržaj kao i za energetske i telekomunikacione vodove. Tema rada ukazuje na potrebu primjene sistematskog rješenja u zaštiti u zaštiti energetskih i telekomunikacionih vodova objekta od direktnog i indirektnog udara groma. U radu je urađena analiza atmosferskog električnog pražnjenja na objekat i projektno rješenje kojem je cilj da maksimalno umanji rizik nastanka šteta od energetskihi i telekomunikacionih vodova. Nove tehnologije u proizvodnji uređaja za zaštitu od prenapona omogućuju optimalnu zaštitu objekata od atmosferskog pražnjenja.*
Ključne riječi: *prenapon, zaštita od prenapona, prenaponska kategorija, uređaji za zaštitu od prenapona, udarna struja groma, napon prorade, zaštitni nivo, štete od prenapona, procjena rizika od prenapona, analiza šteta, uzemljenje.*

Abstract – *Neither devices nor methods exist that can alter the natural flow of weather phenomena in order to prevent the occurrence of lightning discharge. A lightning flash to, or nearby, structure is hazardous to people, to the structure itself, its contents as well as to power and telecommunication lines. The purpose of this paper is to emphasize the need to apply a systematic solution in lightning protection of power and telecommunication lines connected to a structure from direct or indirect lightning strikes. In the paper, an analysis of a lightning flash to a structure is conducted and, furthermore, a project solution is proposed with a goal to maximally reduce the damage risk for power and telecommunication lines. New technologies in production of surge protective devices enable optimal protection of structures against lightning.*
Ključne riječi: *overvoltage, overvoltage protection, overvoltage category, surge protective devices,lightning surge current, breakdown voltage, protection level, overvoltage damage, overvoltage risk assessment, damage analysis, grounding.*

1. UVOD

Udari groma u zemlju opasni su za vodove kao što su energetski i telekomunikacioni vodovi. Takvi vodovi se koriste u mnogim objektima. Grom može izazvati različite vrte šteta na vodovima kao što su fizičke štete na vodovima i kvarove na priključnim na električnim i elektroničkim sistemima.

Prenapon se najčešće definiše kao kratkotrajno nastupajući napon između dva provodnika ili provodnika i zemlje koji prelazi najveći dozvoljeni iznos pogonskog napona. Negativni utjecaj prenapona je naprezanje izolacije električne opreme, telekomunikacione opreme opreme i uređaja priključenih na električne i telekomunikacione instalacije, zbog čega dolazi do proboja izolacije ili do preskoka u vazduhu ili do kliznog proboja preko površine izolacije.

Primjer jednog srednje velikog objekta za koji je procjenjen rizik od prenapona iznosi 11 000 EUR-a, dok su procjenjeni troškovi ugradnje zaštite od prenapona 1 500 EUR-a. Prema tome, nije sporno da li treba na električne i telekomunikacione instalacije ugraditi uređaje za zaštitu od prenapona, već je pitanje koje i kakve uređaje ugraditi.

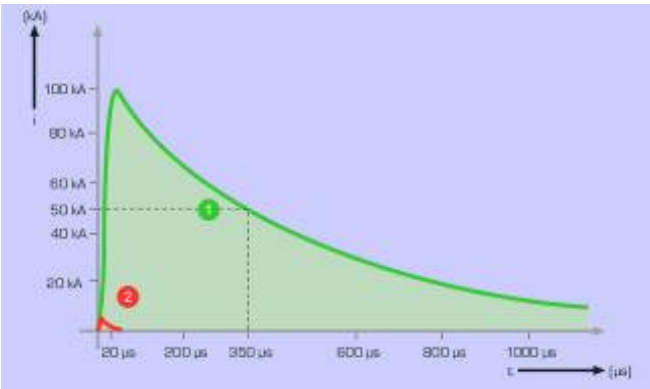
2. ATMOSFERSKI PRENAPONI

Pod udarnim naponom podrazumjeva se vrlo kratki visoki naponi koji nastaju uslijed atmosferskog utjecaja (vanjski atmosferski prenaponi). Oni višestruko prelaze vrijednost pogonskog napona, pa pri probojima ili preskocima mogu uzrokovati oštećenja uređaja..

Atmosferski prenaponi koji se javljaju na nadzemnim provodnicima mogu nastati na različite načine. Grom može udariti u zemlju pokraj provodnika, pri čemu se naponi indukuju na provodnicima. Najopasniji su direktni udari u fazni provodnik, koji nastaje veoma rijetko, ali su ipak mogući [1].

Norme propisuju i načine testiranja zaštitne opreme

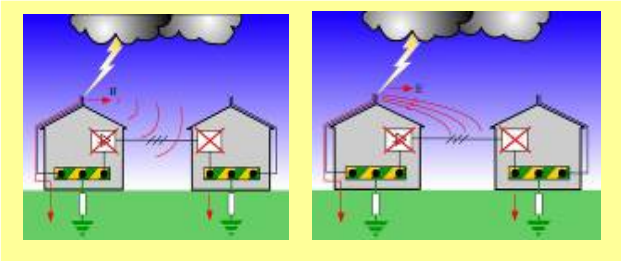
standardnim ispitnim impulsom 10/350 µs (odvodnici kla-se B), 8/20 µs (posredno djelovanje - odvodnici klase C, D i E i zaštite u telekomunikacijama i računarskim sistemima) [4]. Energetski i vremenski odnos navedenih impulsa prikazuje Sl.1.



Sl. 1 Standardni ispitni impulsi

Vanjski utjecaji na instalacije se mogu svesti na tri kategorije:

1. utjecaji uslijed direktnog udara groma u energetska postrojenja i prenosne sisteme (LEMP-Lighting Electromagnetic Pulse);
2. utjeicaj uslijed posrednog djelovanja groma (induktivnog i kapacitivnog) na vanjske i unutrašnje energetske instalacije.
3. utjeicaj prenapona nastalih uslijed kvara na energetskim postrojenjima ili kao posljedica sklopnih operacija na tim postrojenjima (SEMP –Switching Elektromagnetic Pulse).



Sl. 2 Vanjski utjecaji

Ukupna količina kompletnog pražnjenja

$$Q = \sum_{i=1}^{n} \int i dt \qquad (1)$$

gdje je n-broj uzastopnih pražnjenja. Ova veličina predstavlja ukupnu količinu elektriciteta koja protiče u zemlju u toku svih n pražnjenja [2].

3. ANALIZA ŠTETA NA OBJEKTU

Atmosfersko pražnjenje, prema tragovima koje je ostavila struja groma, je takozvani višestruki udar groma. Radi se o tri lokacije pražnjenja i to:

- Udar u ugao objekta u pravcu sjevero-istoka desna strana objekta.
- Udar u rožnik lijeve strane objekta
- Udar u drvo lipu udaljenu 35 m od objekta.

Objekat nije imao vanjski sistem zaštite od groma. Ovaj sistem zaštite od groma namjenjen je prihvatanju udara groma u objekat, a zatim odvođenju struje groma od tačke udara u zemlju. Dakle objekat nije imao prihvatni sistem da smanji vjerovatnoću direktnog udara groma u štićeni prostor. Kod udara u ugao objekta, u pravcu sjevero-istoka , došlo je do oštećenja drvene potkovice i pocinčanog limenog opšava krova preko kog se struja groma širila horizontalnim olucima. Struja groma se na ćošku objekta preko vertikalnog spusta oluka i nosača oluka probila do armature stuba objekta, koja je povezana sa armaturom u temeljima, i ispraznila u zemlju. Zbog velikog prelaznog otpora između oluka i armatire u stubu, došlo je do termičkog i mehaničkog djelovanja struje groma te oštećenja dijela ćoška objekta.

Kod udara u rožnik objekta struja groma ispoljena mehaničkim djelovanjem je čitavom dužinom rožnika napravila pukotinu i na prelazu preko naosača oluka, koji je bio vezan za rožnik, spalila nosač i oštetila kraj rožnika (prelazni otpor sa drveta na metal-oluk). Dalje se struja groma širila horizontalnim olukom, te kao u prethodnom slučaju preko vertikalnog spusta oluka, obujmice i armature stuba objekta ispraznila u zemlju. Na prelaznom otporu sa oluka prema armaturi je takođe nastalo mehaničko razaranje dijela ćoška objekta, ali u manjem obimu.

Sl. 3. Štete nastale na objektu

Mehaničko naprezanje električnih instalacija aparata i uređaja proizlaze uglavnom iz sile na provodnike po dužini metra zbog privlačnih-odbojnih djelovanja koje se nazivaju elektrodinamičke sile. Kada struja pređe iznos 20 kA jačina sila se izražava u tonama po metru za razmak od 2 cm. udaljenosti. Najveće deformacije se javljaju na mjestima prelaznih otpora. Takve deformacije se često sreću pri direktnom udaru groma u jedan od uglova objekta. Takav slučaj je bio i ovdje.

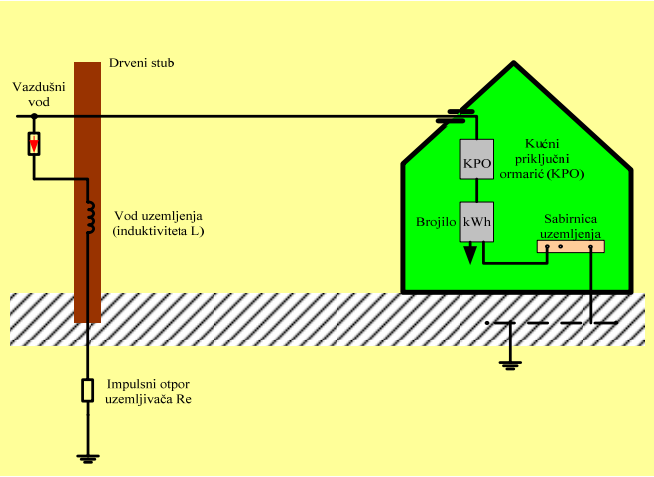
Prva prepreka indukovanih struja su bili pancir osigurači na tavanu i grebenasta sklopka za izbor faze Priključak na objekat je trofazni, a instalacija je monofazna. Grebenasta sklopka je eksplodirala i tako užarena pala je na pod koji je izazvao požar na tavanu koji je uspješnom intervencijom prisutnih bio spriječen. Na prelazu priključak brojilo razvodna tabla sa osiguračima, je djelovanjem elektromehaničke sile došlo do izbijanja brojila iz ormara, deformacije samog ormara i zida i izbijanje kablova i razvodne kutije. Mehanička i toplotna dejsta u vidu spržene izolacije su bila takođe na prelazima provodnikzrak (utičnice,

sijalice). Čak je na mjestima gdje je električna instalacija prolazila blizu armatire serklaža ili stuba došlo do izbijanja maltera preskakanjem elektriciteta .Prema tome energetski i telekomunikacioni vodovi su bili žrtve ovog udara groma [3].

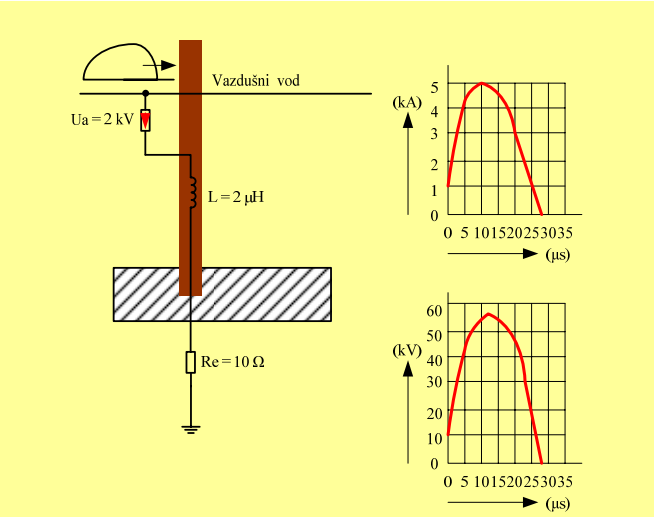
Nikakvom indukcijom preko TF kabla kapaciteta jedne parice i presjeka 0,6 mm i sajle koja nosi taj kabl, bez obzira na nemarnost i vezivanje kabla za lipu, nisu se mogli stvoriti uslovi da naprave štetu na objektu u obimu kakav je prikazan. Provodnik u kablu do objekta je usljed indukcije spaljen, a sajla na mjestu vezivanja na gredu objekta, kao mogući prelazak struje groma ka objektu, kao i sama greda su neoštećeni. Telefonska instalacija u objektu nije pretrpjela ni električna ni mehanička oštećenja. Usljed prenapona oštećena je utičnica , priključni gajtan i sam telefon.

4. POSTOJEĆE METODE ZAŠTITE NA NN NADZEMNOJ MREŽI

Za sada jedini način sistemske prenaponske zaštite na nadzemnoj NN mreži je ugradnja odvodnika prenapona 15 kA talasnog oblika 8/20 µs i nominalnog napona 275/440 V.Slika 4. prikazuje šemu nadzemnog priključka objekta.



Sl.4 Šema nadzemnog priključka objekta



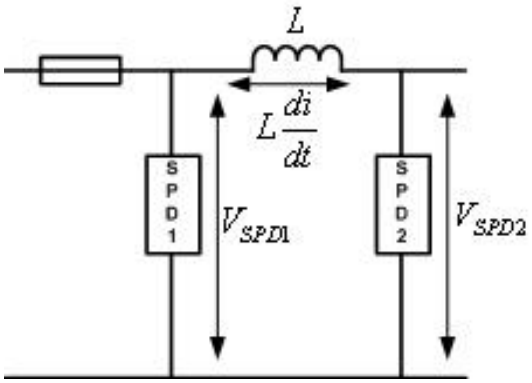
Sl. 5 Stvarni napon na nadzemnom vodu za impuls 8/20 µs

Ako predpostavimo vrijednost preostakog napona na odvodniku (2kV) kod prenaponskog impulsa vršne vrijednosti 5kA, vrijednost induktivnosti odvoda (FeZn trake 30x3 mm dužine 10m) oko 2µH i vrijednost udarnog otpora rasprostiranja uzemljivača stuba od 10 Ω, prema slici 5. proizlazi da napon na nadzemnim vodovima može dostići i vrijednost preko 50 kV. I za granične vrijednosti je previsoki napon tako da se uopšte ne može govoriti o korosnosti ovakve prenaponske zaštite krajnjeg korisnika. U najboljem slučaju može se govoriti o zaštiti izolacije nadzemnih vodova od proboja a nikako zaštiti korisničkog energetskog priključka. Zaštitu korisničkog energetskog priključka treba uraditi odgovarajućim odvodnicima na mjestu priključka objekta (KPO ili KMPO).

5. NOVO RJEŠENJE U PRENAPONSKOJ ZAŠITI ELEKTRIČNIH PRIKLJUČAKA OBJEKTA

Prenaponska zaštita vodova postavlja se na ulazu energetskih vodova u objekat i instalira između energetskog voda i uzemljenja. Konkretne šeme spajanja zavise od primijenjenog sistema uzemljenja niskonaponske energetske mreže. Elementi prenaponske zaštite moraju imati velike energetske sposobnosti kako bi bili u stanju odvesti ka zemlji prenaponske impulse velike energije uz preostali napon koji neće negativno djelovati na opremu koja se napaja ovim vodovima.

U skladu s klasifikacijom koja je definisana u standardu IEC 61643-1 [4], uređaj prenaponske zaštite koji se instalira prvi na ulazu u objekat označava se kao zaštita klase I i mora izdržati struje koje su posljedica direktnih atmosferskih pražnjenja. Prema navedenom standardu uređaj klase II namijenjen je za zaštitu od efekata koji su rezultat indirektnih udara i indukovanih prenapona. Testiranje uređaja klase I vrši se za impuls 10/350 µs i 8/20 µs, dok se za klasu II vrši samo ispitivanje za impuls 8/20 µs. Instaliranje dva stepena prenaponske zaštite povlači pitanje osiguranja koordinacije između ova dva stepena (Slika 6). Razdvajanje prvog i drugog stepena vrši se instaliranjem zavojnice odgovarajuće induktivnosti ili, ukoliko postoji, vodom odgovarajuće dužine između prvog ili drugog stepena [5].

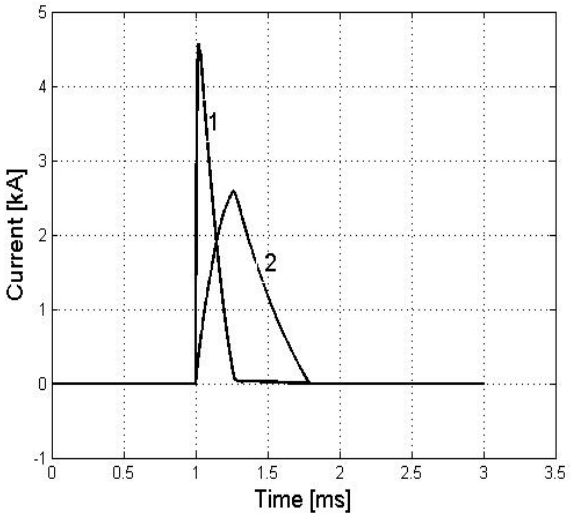


Sl. 6 Koordinacija prvog i drugog stepena prenaponske zaštite energetskih vodova

Primjena iskrišta u prvom stepenu (SPD1 na Slici 6) osigurava veoma nisku impedansu između voda i zemlje a takođe i nizak preostali napon poslije početne špice. Paljenje iskrišta ostvareno je induktivnošću zavojnice koja razdvaja dva stepena prenaponske zaštite za vrijeme prednje ivice

prenaponskog impulsa. Prenaponska zaštita u drugom stepenu je uobičajeno bazirana na metal oksidnim varistorima. Primjena iskrišta osigurava lakšu koordinaciju između prvog i drugog stepena ali s druge strane povlači značajne nedostatke koji dolaze do izražaja kod instalacija u zaštiti energetskih vodova. Električni luk koji nastane paljenjem iskrišta može biti ugašen samo pri prolasku kroz nulu struje industrijske frekvencije. Upaljeno iskrište predstavlja kratak spoj i poslije prestanka prenaponskog impulsa, što izaziva struju kratkog spoja (follow-up current) koja teče kroz iskrište sve do promjene znaka napona industrijske frekvencije [5].

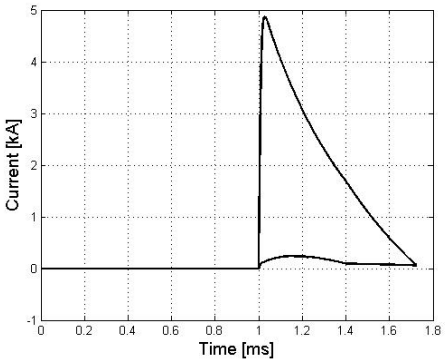
Struja kratkog spoja ne pojavljuje se pri primjeni metal-oksidnih varistora u prvom stepenu prenaponske zaštite. Tehnologija izrade visokoenergetskih varistora omogućila je njihovu primjenu i u prvom stepenu prenaponske zaštite. Pri tome je potrebno odvesti ka zemlji struje direktnog udara groma odnosno njihovu primjenu u klasi I po IEC standardizaciji. Raspodjela struja, kada je u oba stepena prenaponske zaštite (klasa I i II) primijenjen varistor kao element prenaponske zaštite, prikazana je na Slici 5.



Sl.7 Raspodjela struja: (1) kroz SPD1, (2) kroz SPD2

Oba stepena prenaponske zaštite mogu se realizirati kao serijska veza varistora i plinskog odvodnika (gas-discharge tube - GDT) [5]. Osnovna uloga varistora u ovoj vezi je prekid vođenja plinskog odvodnika poslije prestanka prenaponskog impulsa. Uključeni plinski odvodnik osigurava nisku impedansu te nizak preostali napon u prvoj grani u odnosu na slučaj kada je primijenjen samo varistor. Ovakva kombinacija takođe osigurava eliminaciju struje curenja koja postoji prilikom primjene samih varistora između faznog i nultog vodiča ili faznog vodiča i uzemljenja.
Primjena serijske veze varistora i plinskog odvodnika omogućava da energija zadnjeg dijela impulsa 10/350 μs uglavnom protiče ka uzemljenju kroz prvi stepen (Slika 6). Napon prvog varistora mora biti niži u odnosu na varistor u drugom stepenu.

Kaskadna veza varistora i plinskog odvodnika daje niži preostali (clamping) napon te garantuje duži životni vijek uređaja prenaponske zaštite. Serijska veza u prvom stepenu takođe omogućava primjenu varistora u drugom stepenu sa znatno nižim energetskim zahtjevima odnosno strujama koje treba da izdrži taj varistor.



Sl. 8 Raspodjela struja za slučaj kaskadne veze varistora i plinskog odvodnika u prvom stepenu i varistora u drugom stepenu

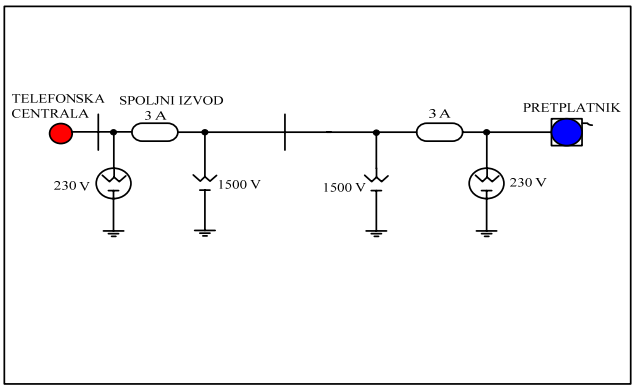
6. POSTOJEĆE METODE ZAŠTITE TELEKOMUNIKACIONIH VODOVA

Telekomunikacioni vodovi i telefonski uredjaji mogu biti izloženi opasnim strujama i naponima koji dolaze sa telefonskih vodova mjesne mreže uslijed uticaja električnih vodova i atmosferskih pražnjenja.

Zaštita telefonskih instalacija uređaja od opasnih napona i struja vrši se, po potrebi, pomoću strujnih i naponskih osigurača uz izradu odgovarajućeg uzemljenja.

Električno osiguranje pretplatničkih vodova kod preplatnika vrši se pomoću slijedećih osigurača:
- grubi naponski osigurači 1500 V,
- grubi strujni osigurači 3 A,
- fini naponski vakum osigurači 130 V.

Strujni osigurači se postavljaju u provodnike voda, a naponski osigurači između provodnika voda i zemlje. Šema električnog osiguranja pretplatničkog voda data je na slici 6.



Sl. 9. Električno osiguranje pretplatničkog voda

Ovakav način zaštite telekomunikacionih linija po mom mišljenu nije dobar jer su osigurači spori. Predlažem da se pređe na nove tehnologije. Prenaponska zaštita bih se izvodila elektronskim modulima koji su jako brzi. Otpor uzemljenja mora biti 10 Ω a mreža mora biti podzemna. Kad

mreža nije podzemna a ima veliku dužinu to se rješava na drugi način.

7. NOVO RJEŠENJE PRENAPONSKE ZAŠTITE TELEKOMUNIKACIONIH VODOVA

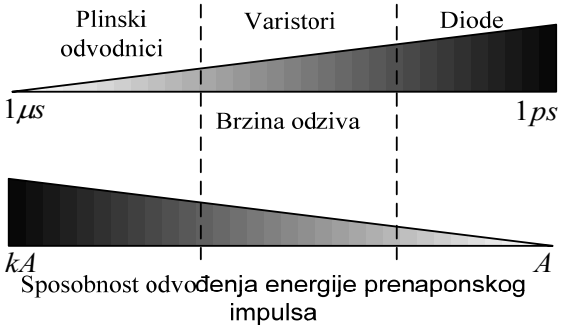
Elementi prenaponske zaštite telekomunikacijskih vodova moraju na prvom mjestu biti kompatibilni sa sistemom koji štite. Instalirana prenaponska zaštita mora biti projektovana u odgovarajućem kućište te imati odgovarajući konektor što je u najvećem broju slučajeva prilagođenje za koaksijalni kabl. Takođe, moraju biti ispunjene električne karakteristike u pogledu prilagođenja karakteristične impedanse te minimalnog izobličenja korisnog signala u frekventnom opsegu sistema.

Najjednostavnija realizacija sistema prenaponske zaštite telekomunikacijskog sistema može se realizirati primjenom plinskih odvodnika prenapona. Nizak kapacitet plinskog odvodnika omogućava njegovu primjenu u zaštiti telekomunikacijskih sistema u frekvencijskom opsegu od najnižih frekvencija korištenih u telekomunikacijskim sistemima do nekoliko GHz.

Primjena plinskih odvodnika u frekvencijski selektivnim kolima predstavlja dobro rješenje prenaponske zaštite telekomunikacijskih linija. Za zaštitu telekomunikacijskih vodova mogu se koristiti i čevrttalasni protektori (stubs). Osnovno ograničenje ovih komponenti je njihova uskopojasna frekventna karakteristika.

Nedostatak plinskih odvodnika je brzina odziva te neprovođenje u slučaju manjih impulsnih prenapona. Iz tog razloga vrši se dodavanje sekundarne prenaponske zaštite. Ova zaštita se najčešće realizuje primjenom varistora ili dioda (TS diode) koji imaju veoma brz odziv u odnosu na plinski odvodnik. Paralelan rad ova dva stepena moguć je jedino kroz odgovarajuću koordinaciju koja povlači raspodjelu energije u primarnoj i sekundarnoj zaštiti, osiguranje sekundarnog dijela pri prednjoj ivici prenaponskog impulsa i odziv sekundarne zaštite pri malim impulsnim prenaponima. Koordinacija ova dva stepena najčešće je realizovana paralelnim dodavanjem induktivnog elementa, otpornosti ili pozistora odnosno otpornika sa pozitivnim temperaturnim koeficijentom.

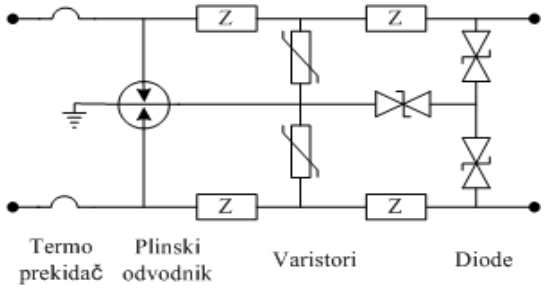
Komparacija elemenata upotrijebljenih u pojedinim stepenima prenaponske zaštite prema njihovim energetskim sposobnostima i brzini odziva data je na slici 7.



Sl. 10 Uspoređivanje elemenata prenaponske zaštite

Sa slike 7 se vidi da je sposobnost elementa za odvođenje energije prenaponskog impulsa na potencijal zemlje obrnuto proporcionalna brzini odziva. Prema tome, prenaponska zaštita telekomunikacijskih sistema nije moguća bez primjene kompleksnih sistema zaštite. Potrebno je naglasiti da parazitne kapacitivnosti u elementima prenaponske zaštite treba svesti na minimalnu moguću mjeru radi postizanja što većih graničnih učestanosti cjelokupnog modula prenaponske zaštite, odnosno omogućiti prolaz korisnog signala kroz modul prenaponske zaštite bez izobličenja.

Primjer prenaponske zaštite telekomunikacijskoga sistema koji ispunjava naprijed navedene zahtjeve je prikazan na slici 8. Ovo je samo jedna od mogućih realizacija te zaštite i naglašavamo da postoje razne varijante povezivanja navedenih elemenata prenaponske zaštite.



Sl. 11 Primjer prenaponske zaštite telekomunikacijskog voda

8. ZAKLJUČAK

Nove tehnologije u proizvodnji modula za zaštitu od prenapona omogućuju implementiranje korisne zaštite od struje groma i zaštite od prenapona čak i u slučaju direktnog ili indirektnog udara munje i to tehnički i troškovno optimalan način. Tek na taj način projektovana i izvedena električne instalacije i telekomunikaciona mreža bit će svrsishodno zaštićeni od prenapona, a ugrađeni uređaji za zaštitu od prenapona povećat će raspoloživost električni instalacija, telekomunikacione mreže i uređaja na njih priključeni.

LITERATURA

[1] Milan Savić i Zlatan Stojaković, Tehnika visokog napona

[2] Prof. Dr Jovan Nahman i Dr Vladica Mijailović Razvodna postrojenja, Beograd 2005

[3] Milan Paripovoć ,"Analiza šteta uslijed atmosferskog pražnjenja i prenaponska zaštita: Praktično iskustvo *Diskobolos 2010, Beograd, Srbija*

[4] IEC 61643-12, "Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Selection and application principles", 2002.

[5] V. Murko, A Stagoj, A. Mujcic, N. Suljanovic, "Coordinating Surge Protective Devices with Metal-oxide Varistors at Direct Lightning Stroke. Application Note", *International Conference on Lightning Protection ICLP,Kanazawa*, 2006.