

Prenapetostna zaščita

predavatelj
prof. dr. Grega Bizjak, u.d.i.e.

Obremenitve električne inštalacije

**Obremenitve električne inštalacije
lahko razdelimo na:**

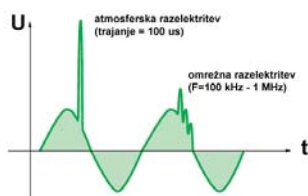
- tokovne in
 - napetostne
- obremenitve električne inštalacije
oziroma vodnikov in izolacije.**

Varovanje električne inštalacije

**Da preprečimo poškodbe inštalacije
je potrebno v inštalacijo namestiti
ustrezne zaščitne naprave:**

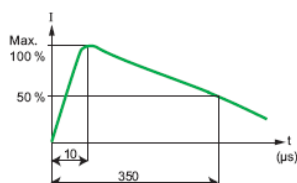
- za zaščito pred prevelikim tokom in
- za zaščito pred previsoko
napetostjo (prenapetostjo).

Prenapetosti



Prenapetost je napetostni impulz, ki je "naložen" (superponiran) na nazivno napetost v omrežju.

Prenapetosti



Prenapetostni impulz lahko opišemo z:

- časom vzpona,
- časom trajanja,
- gradientom.

Prenapetostni impulz ne pomeni samo povišane napetosti ampak tudi EM motnjo.

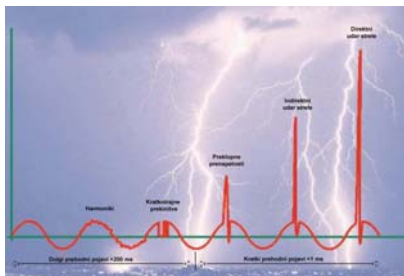
Prenapetosti

Prenapetosti, ki se lahko pojavijo v električni inštalaciji imajo različne vzroke:



- Omrežne prenapetosti,
- Preklopne prenapetosti,
- Elektrostatične razelektritve in
- Atmosferske razelektritve.

Prenapetosti



NNEI: Varovanje električne inštalacije

7

Atmosferske razelektritve

Atmosferska razelektritev (udar strele) lahko povzroči zelo hude posledice kot:

- smrt ljudi in domačih živali,
- uničenje opreme (električni stroji in aparati, telefonske linije, transformatorji ...,
- uničenje objektov.

NNEI: Varovanje električne inštalacije

8

Atmosferske razelektritve

Pogostost strele:

- na svetu stalno divja od 2000 do 5000 neviht
- vsako sekundo udari 30 do 100 strel
 - vsako leto okoli 3.000.000.000,
- v Sloveniji vsako leto med 40.000 in 90.000.

NNEI: Varovanje električne inštalacije

9

Atmosferske razelektitve



NNEI: Varovanje električne inštalacije

10

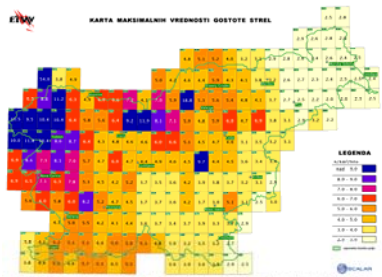
Atmosferske razelektitve



NNEI: Varovanje električne inštalacije

11

Atmosferske razelektitve



NNEI: Varovanje električne inštalacije

12

Atmosferske razelektritve

Pri udaru strele ni ogrožena samo stavba (inštalacija) kamor strela udari ampak tudi sosednje stavbe zaradi:

- direktnih galvanskih povezav,
- elektromagnetnih vplivov in
- kapacitivne porazdelitve naboja.

Prenapetosti zaradi udara strele

Direkten udar v objekt (strelovod)

- tok strele se odvede v zemljo,
- potencial zemlje se dvigne (prenapetost),
- prenapetost se prenaša preko inštalacije v hiši



Prenapetosti zaradi udara strele

Direkten udar v energetske vod

- tok strele potuje po omrežju,
- ko tok vstopi v inštalacijo povzroči velike prenapetosti,
- zaradi velike energije lahko raznese glavni razdelilec



Prenapetosti zaradi udara strele

Indirektni udar

- dvigne se potencial zemlje okoli mesta udara,
- energija potuje kot EM valovanje,
- v okolici se pojavijo močna električna polja.



NNEI: Varovanje električne inštalacije

16

Prenapetosti zaradi udara strele

Za analizo okvar in preizkušanje zaščitne opreme se uporablja več standardiziranih potekov toka in napetosti ob udaru strele:

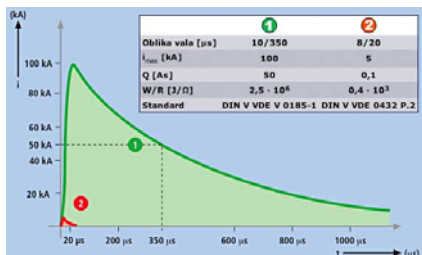
- tokovni udar 10/350 μ s kot predstavitev direktnega udara strele,
- tokovni udar 8/20 μ s kot predstavite indirektnega udara strele in
- napetosti udar 1,50 μ s kot ponazoritev nastale prenapetosti.

NNEI: Varovanje električne inštalacije

17

Prenapetosti zaradi udara strele

Tokovni udar atmosferske razelektritve

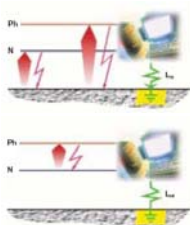


NNEI: Varovanje električne inštalacije

18

Prenapetosti zaradi udara strele

Prenapetost se lahko pojavi:



- med vodnikom in zemljo (ogroženi so predvsem aparati, ki imajo ozemljeno ohišje),
- med dvema vodnikoma (ogrožena je predvsem elektronika)

Zaščita pred udarom strele

Osnovni princip zaščite je preprečiti energiji strele, da pride do občutljivih naprav. To dosežemo tako, da:

- strelo ujamemo in jo po najkrajši poti peljemo v zemljo (strelovod),
- poskrbimo za izenačitev potenciala v stavbi (odvodniki prenapetosti, iskrišča),
- poskrbimo za čim manjši vpliv induciranih in indirektnih napetosti (odvodniki prenapetosti).

Zaščita pred udarom strele



Zaščito pred delovanjem razelektritve delimo na dva dela:

- zunanja zaščita in
- notranja zaščita.

Zunanja zaščita - strelovod

Zunanja zaščita (strelovod) je sestavljena iz:

- lovilnega sistema,
- strolovodnih odvodov in
- ozemljilnega sistema.



Strelovodna naprava ne more preprečiti udara strele, lahko pa zaščiti ljudi in premoženje pred njegovimi posledicami.

Zunanja zaščita - strelovod

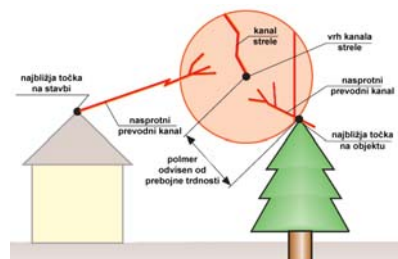
Geometrično električen model ščitenega prostora:

- kanal strele, ki se približuje zemlji, povzroča naglo rast električnega polja (E);
- ko se kanal dovolj približa točki na objektu ($E > 500-600 \text{ kV/m}$) pride do preboja med objektom in kanalom – strela udari v objekt;
- R ... končna prebojna razdalja, pri kateri pride do preboja.

$$R = 10 \cdot I_{\max}^{0,65}$$

Zunanja zaščita - strelovod

Geometrično električen model ščitenega prostora:



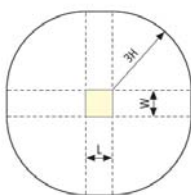
Zunanja zaščita - strelovod

Kdaj, koliko in kako ščititi:

- odločitev o zunanji zaščiti lahko sprejmemo na podlagi verjetnosti udara strele, verjetnosti nastanka določene škode in ocenjene velikosti škode ob udaru strele;
- pomagamo si lahko z dopustno letno pogostostjo udarov strele (N_c) in dejansko vrednostjo pogostosti direktnih udarov strele (N_d) v objekt;
- če je $N_d > N_c$, je potrebno namestiti zunanjo zaščito.

$$N_d = N_g \cdot A_d \cdot C_d \cdot 10^{-6}$$

Zunanja zaščita - strelovod



Kdaj, koliko in kako ščititi:

- N_g ... povprečna letna gostota strel proti zemlji
- A_d .. efektivna zbirna površina objekta
 - C_d ... koeficient okolja:
- 0,5 .. objekt obdan z drugimi objekti
- 1,0 .. objekt na samem
- 2,0 .. objekt na vrhu hriba

$$N_d = N_g \cdot A_d \cdot C_d \cdot 10^{-6}$$

Zunanja zaščita - strelovod

Glede na ogroženost izberemo ustrezen zaščitni nivo (LPL – Lightning Protection Level):

Zaščitni nivo LPL	Učinkovitost	R .. radij zaščitne krogle	M .. velikost lovilne mreže
I	0,98	20 m	5x5 m
II	0,95	30 m	10x10 m
III	0,9	45 m	15x15 m
IV	0,8	60 m	20x20 m

Zunanja zaščita - strelovod

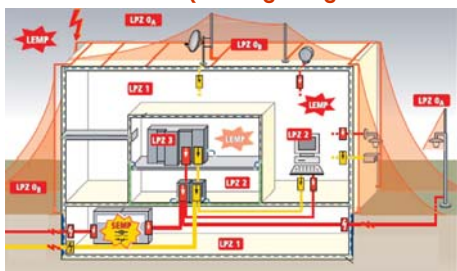
Zaščitne cone

(LPZ – Lightning Protection Zone):

- znotraj cone je dosežena enaka zaščita/izpostavljenost udaru strele:
 - LPZ 0A ... možen direktni udar strele, poln tok strele, celotno EM polje;
- LPZ 0B ... ni možen direktni udar, delni tok strele, celotno EM polje;
 - LPZ 1 ... ni možen direktni udar, delni tok strele, zmanjšano EM polje;
 - LPZ 2 ... ni možen direktni udar, delni tok strele, še bolj zmanjšano EM polje;
 - LPZ 3

Zunanja zaščita - strelovod

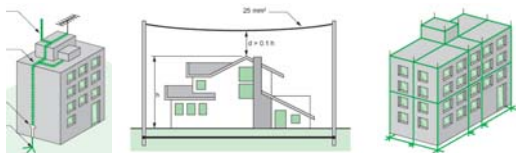
Zaščitne cone (LPZ – Lightning Protection Zone):



Strelovod

Poznamo tri vrste strelovodov:

- preprost strelovod z lovilci in odvodi,
- strelovod z napetim vodnikom in
- strelovod z Faradayevo kletko.



Lovilni sistem

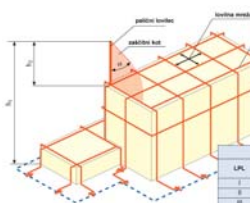
Za lovilni sistem lahko uporabimo:



- paličaste lovilce,
- napete žice,
- lovilno mrežo,
- radioaktivne lovilnike,
- lovilnike z aktivno kroglo.

Lovilni sistem - načrtovanje

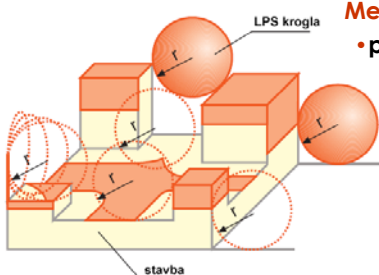
Pri načrtovanju lovilnega sistema si pomagamo z različnimi orodji:



- metoda zaščitnega kota,
- metoda LPS krogle,
- metoda mreže.

Zaščitno orodje		
LPL	Radialni LPS krogla	Velikost zaščitne mreže
I	20 m	5 x 5 m
II	30 m	10 x 10 m
III	40 m	15 x 15 m
IV	60 m	25 x 25 m

Lovilni sistem - načrtovanje



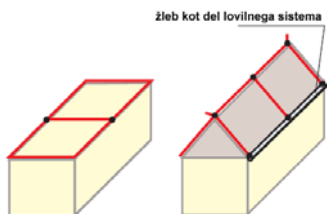
Metoda LPS krogle:

- površine, ki se jih krogla ne dotakne so varne (v električni senci).

Lovilni sistem - načrtovanje

Metoda mreže:

- velikost mreže izberemo glede na zaščitni nivo (LPL).



Lovilni sistem - načrtovanje

Metoda zaščitnega kota:

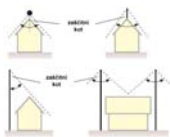
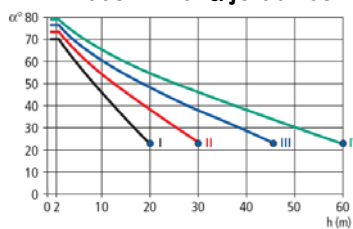
- zaščitni kot α je odvisen od višine lovilca in zaščitnega nivoja.



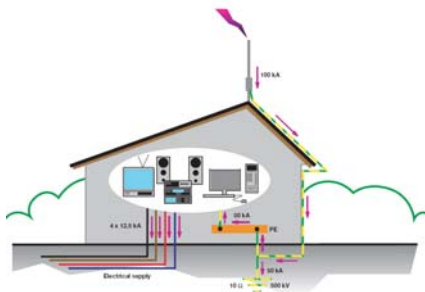
Lovilni sistem - načrtovanje

Metoda zaščitnega kota:

- zaščitni kot α je odvisen od višine lovilca in zaščitnega nivoja.



Notranja prenapetostna zaščita



NNEI: Varovanje električne inštalacije

37

Samo strelovod ni dovolj za zaščito inštalacije v stavbi.

Notranja prenapetostna zaščita

Notranja prenapetostna zaščita ščiti pred posledicami udara strele pa tudi pred posledicami ostalih prenapetosti, ki lahko pridejo v zgradbo preko inštalacij (energetske, komunikacijske) in ostalih prevodnih povezav (vodovod, kanalizacija, plinovod, ...)

NNEI: Varovanje električne inštalacije

38

Notranja prenapetostna zaščita

Prenapetosti v inštalaciji moramo omejiti na vrednosti, ki jih naprave in oprema še prenesejo. Za omejevanje uporabljamo:

- prenapetostnimi zaščitnimi elementi,
- izenačitev potenciala.



NNEI: Varovanje električne inštalacije

39

Notranja prenapetostna zaščita

Izenačitev potenciala uporabljamo tudi v stavbah brez strelovoda. Z njo želimo preprečiti nastanek nevarnih potencialnih razlik.

Izenačitev potenciala pomeni prevodna povezava vseh kovinskih delov med seboj:

- s povezovalnimi vodniki ali
- preko prenapetostnih zaščitnih elementov.

Notranja prenapetostna zaščita

Potrebne informacije za uspešno implementacijo:

- katero so napetostno občutljiva bremena v inštalaciji,
- katere povezave obstajajo z "zunanjim svetom" in kje vstopajo v stavbo,
 - ali je na stavbi ali v bližini kakšen strelovod,
- kateri predpisi veljajo za obravnavano stavbo,
 - kakšna je verjetnost udara strele.

Notranja prenapetostna zaščita

Kako do prave rešitve:

- izvedba izenačitve potenciala povsod, kjer je to potrebno,
 - inštalacija prenapetostnih zaščitnih elementov (SPD*) v glavnem razdelilcu,
- inštalacija SPD v podrazdelilcih ter v bližini občutljivih porabnikov (vtičnice).

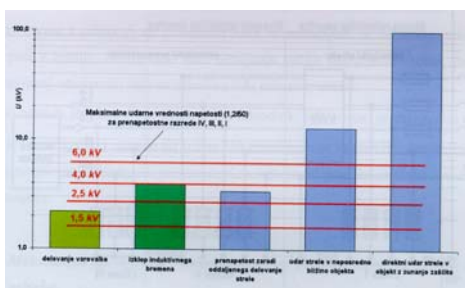
*SPD – surge protection device

Notranja prenapetostna zaščita

Glede na odpornost proti prehodnim prenapetostim delimo električne naprave v 4 razrede:

- razred I (prenese prenapetosti do 1,5 kV):
naprave z elektroniko ...;
- razred II (prenese prenapetosti do 2,5 kV):
gospodinjski aparati ...;
- razred III (prenese prenapetosti do 4,0 kV):
razdelilniki, stikala, kabli, stacionarni motorji...;
- razred IV (prenese prenapetosti do 6,0 kV):
števci električne energije, glavne varovalke ...

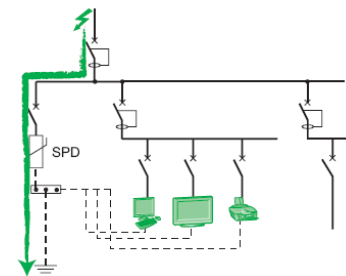
Notranja prenapetostna zaščita



Prenapetostni zaščitni elementi

- Prenapetostni zaščitni elementi (SPD) so deli električne inštalacije, ki ščitijo pred prevelikimi napetostmi med posameznimi vodniki in/ali zemljo.
- Vezani so vzporedno z inštalacijo oz. bremenom, ki jih ščitijo.
- So najbolj pogosto uporabljena vrsta prenapetostne zaščite in tudi najbolj učinkovita.

Prenapetostni zaščitni elementi



NNEI: Varovanje električne inštalacije

46

Prenapetostni zaščitni element omeji velikost tranzientne prenapetosti in preusmeri tokovni udar v zemljo.

Prenapetostni zaščitni elementi

Poznamo 3 razrede (tipe) prenapetostnih zaščitnih elementov:

- razred I je namenjen odvajanju toka strele po najbližji poti v zemljo,
- razred II so delno odvodniki toka delno pa odvodniki prenapetosti,
- razred III so prenapetostni odvodniki, namenjeni zmanjševanju prenapetosti na nivo, ki ga naprave še prenesejo.

NNEI: Varovanje električne inštalacije

47

Prenapetostni zaščitni elementi

SPD razreda I (Type 1):

- uporablja se v stavbah s strelovodi in stavbah z nadzemnim priključkom,
- namenjen je odvodu tokovnega udara (po strelovodu ali priključku) v zemljo,
- napetostni zaščitni nivo pri nazivnem toku je $\leq 4,0$ kV,
- preizkuša se z udarnim valom 10/350 μ s.

NNEI: Varovanje električne inštalacije

48

Prenapetostni zaščitni elementi

SPD razreda II (Type 2):

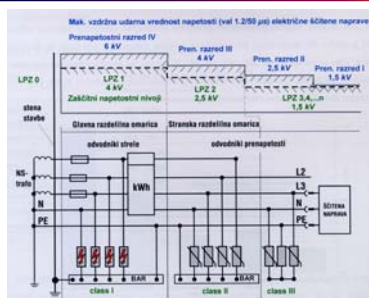
- je glavni prenapetostni zaščitni element v el. inštalaciji in se uporablja praktično povsod,
 - namenjen je preprečevanju širjenja prenapetosti po el. inštalaciji,
 - napetostni zaščitni nivo pri nazivnem toku je $\leq 2,5$ kV,
 - preizkuša se z udarnim valom 8/20 μ s.

Prenapetostni zaščitni elementi

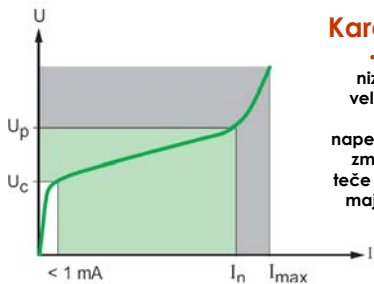
SPD razreda III (Type 3):

- ima majhno zmožnost odvajanja toka, zato se ga inštalira v povezavi z razredom II,
 - namenjen je zmanjševanju prenapetosti pri občutljivih bremenih,
 - napetostni zaščitni nivo pri nazivnem toku je $\leq 1,5$ kV,
 - preizkuša se z napetostnim udarnim valom 1,2/50 μ s in tokovnim udarnim valom 8/20 μ s.

Prenapetostni zaščitni elementi



Prenapetostni zaščitni elementi



Karakteristike SPD:

- Osnovno delovanje: pri nizki napetosti je upornost velika in ne teče praktično noben tok; pri visoki napetosti se upornost močno zmanjša in skozi SPD lahko teče velik tok pri razmeroma majhnem padcu napetosti.

Prenapetostni zaščitni elementi

Karakteristike SPD:

- Osnovni podatki:
 - U_c ... največja dovoljena obratovalna napetost,
 - U_p ... napetostni zaščitni nivo (preostala napetost),
 - I_n ... nazivni tok (temenska vrednost 8/20),
 - I_{max} (R II) ... maksimalni zdržni tok (1x),
 - I_{imp} (R I) ... maksimalni zdržni tok (5x),
 - I_{fi} (R I, iskrišča) ... samougasnitveni tok,
 - U_{oc} (R III) ... testna napetost praznega teka

Prenapetostni zaščitni elementi

Vrste SPD:

- SPD s stikalno karakteristiko:
 - delujejo kot stikala - dve značilni stanji: visokoohmsko stanje in nizkoohmsko stanje;
 - plinski prenapetostni odvodnik,
 - iskrišče.



Prenapetostni zaščitni elementi

Vrste SPD:

- SPD s stalno omejevalno karakteristiko:
- elementi na osnovi nelinearnega upora iz SiC ali ZnO;
- večja absorpcija energije, večje segrevanje, hitrejši odziv, majhna preostala napetost;
- potrebujejo dodatno zaščito:
- Varistor (MOV)
- hitra dioda (SAD).



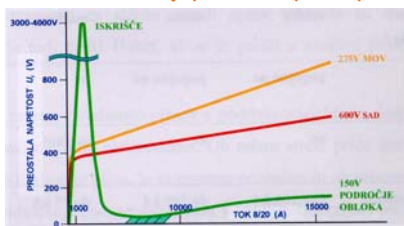
NNEI: Varovanje električne inštalacije

55

Prenapetostni zaščitni elementi

Vrste SPD:

- Razlika je predvsem v poteku preostale napetosti:



NNEI: Varovanje električne inštalacije

56

Projektiranje prenapetostne zaščite

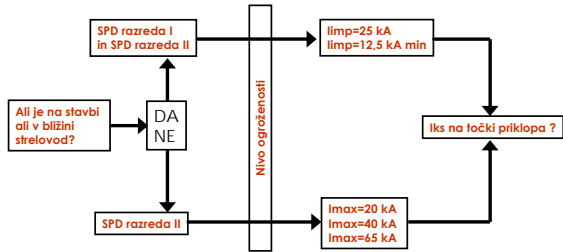
Pri projektiranju prenapetostne zaščite moramo:

- izbrati pravi SPD;
- razred oz. tip SPD;
- izbrati prave nazivne podatke SPD (obratovalna napetost, zaščitni nivo, nazivni tok, maksimalni tok ...)
- ga opremiti z ustrezno zaščito:
- maksimalni zdržni tok;
- maksimalni KS tok na mestu vgradnje.

NNEI: Varovanje električne inštalacije

57

Izbira SPD



Izbira SPD

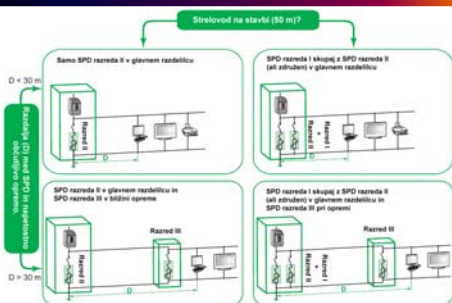
Sledi izbira glede na parametre inštalacije:

- število potrebnih polov;
- potreben napetostni zaščitni nivo U_p ;
- nazivna napetost omrežja U_c .

Lokacija SPD:

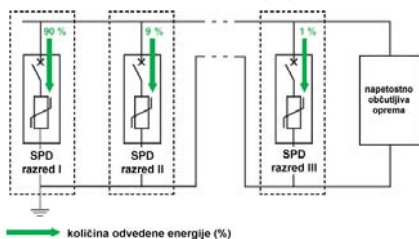
- SPD mora vedno biti nameščen na začetku električne inštalacije;
- če je inštalacija velika, SPD namestimo tudi v vse podrazdelilce;
- če so občutljiva bremena več kot 30 m stran od SPD jih opremimo z dodatnim SPD.

Lokacija SPD



Lokacija SPD

Več SPD v inštalaciji si medsebojno razdeli energijo, ki jo je potrebno odvesti



NNEI: Varovanje električne inštalacije

61

Izbira nazivne napetosti SPD (U_c)

Ustrezna nazivna napetost SPD je odvisna od ozemljitve inštalacije:

- v TN in TT ozemljeni inštalaciji izberemo U_c , ki je za 10 % večja od nazivne fazne napetosti v inštalaciji ($U_c = 1,1 U_f$);
 - za SPD med N in PE vodnikom v TT in TN inštalaciji zadošča $U_c = U_f$;
 - v IT inštalaciji izberemo U_c , ki je enaka:
 - $U_c = 1,1 U_f$ za SPD med L in N,
- medfazni napetosti v inštalaciji ($U_c = U_{mf}$) za SPD med L in PE,
- fazni napetosti v inštalaciji ($U_c = U_f$) za SPD med N in PE.

NNEI: Varovanje električne inštalacije

62

Izbira napetostnega zaščitnega nivoja SPD (U_p)

Izbira je odvisna od nazivne napetosti inštalacije in razreda (od I do IV) ščiteneh naprav v inštalaciji:

- za enofazne sisteme (240 V): 0,8 kV; 1,5 kV; 2,5 kV; 4 kV
- za trifazne sisteme (230/400 V): 1,5 kV; 2,5 kV; 4 kV; 6 kV
- za trifazne sisteme (277/480 V): 1,5 kV; 2,5 kV; 4 kV; 6 kV
- za trifazne sisteme (400/690 V): 2,5 kV; 4 kV; 6 kV; 8 kV

NNEI: Varovanje električne inštalacije

63

Vezava SPD

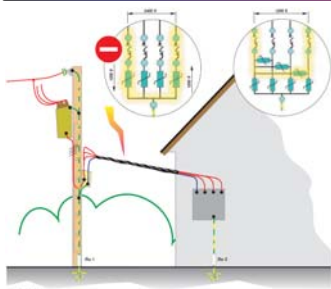
SPD lahko vežemo:

- med vodnik in ozemljitev (common mode CM),
- med dvema vodnikom (differential mode DM).

Izbira vezave je odvisna od ozemljitve električne inštalacije:

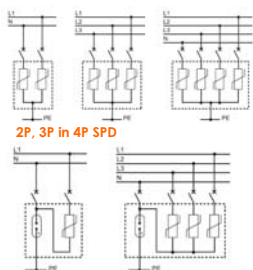
- v TN-C uporabimo CM vezavo med L in PEN;
- v TN-S uporabimo CM med L, N in PE, priporočljiva je tudi DM med L in N (L);
- v TT uporabimo CM med L, N in PE, priporočljiva je tudi DM med L in N (L);
- v IT uporabimo CM med L, N in PE, DM nima učinka;

Vezava SPD



Z vezavo dodatnih SPD med vodniki (DM vezava) zmanjšamo napetost na porabnikih v določenih primerih.

Število polov SPD



2P, 3P in 4P SPD

1P+N, 3P+N SPD

Število priključnih polov pri SPD izberemo glede na omrežje (enofazno, trifazno) ter glede na to, ali uporabimo samo vezavo med vodniki in zemljo ali kombinirano vezavo: tako med vodniki in zemljo (CM); kot tudi med vodniki (DM):

Zunanja kratkostična zaščita SPD

Pri polprevodniških SPD (varistor, dioda) se na koncu življenjske dobe lahko zgodi, da SPD povzroči kratek stik. Prav tako lahko do kratkega stika pride zaradi odpovedi med delovanjem.

Zaradi tega je potrebno take SPD dodatno zaščititi z kratkostično zaščito (varovalka, inštalacijski odklopnik).

Zunanja kratkostična zaščita SPD

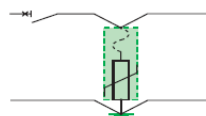
Dodatna kratkostična zaščita SPD mora:

- zagotoviti ustrezno delovanje SPD:
- zdržati tokovni udarni val ob udaru strele,
- ne sme povzročiti dodatne preostale napetosti,
- zagotoviti ustrezno zaščito pri kratkih stikih:
 - pri termičnem "pobegu" varistorja,
 - pri visokoohmskih okvarah in
 - pri nizkoohmskih okvarah.

Vezava kratkostične zaščite SPD

Serijska vezava varovalke ali odklopnika:

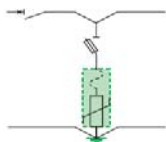
- ne deluje vedno pri okvari SPD,
- v primeru delovanja izklopi celotno inštalacijo,
- pri vzdrževanju moramo izklopiti celotno inštalacijo,
- lahko uporabimo kar prečkovno zaščito inštalacije.



Vezava kratkostične zaščite SPD

Paralelna vezava varovalke:

- deluje, če izberemo pravo varovalko,
- ne delovanje vedno pri visokohmskih okvarah,
- pri delovanju izklopi samo SPD ne tudi inštalacije,
- pri vzdrževanju ni potrebno izklopiti celotne inštalacije.



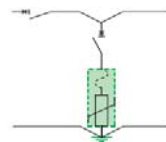
NNEI: Varovanje električne inštalacije

70

Vezava kratkostične zaščite SPD

Paralelna vezava odklopnika:

- deluje, če izberemo pravi odklopnik,
- varuje v vseh primerih,
- pri delovanju izklopi samo SPD ne tudi inštalacije,
- pri vzdrževanju ni potrebno izklopiti celotne inštalacije.



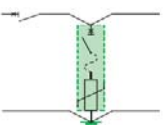
NNEI: Varovanje električne inštalacije

71

Vezava kratkostične zaščite SPD

Vezava s prigrajenim odklopnikom:

- vedno deluje,
- varuje v vseh primerih,
- pri delovanju izklopi samo SPD ne tudi inštalacije,
- pri vzdrževanju ni potrebno izklopiti celotne inštalacije.

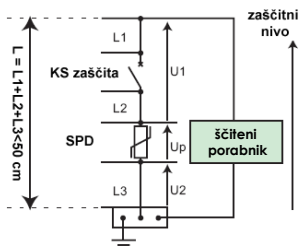


NNEI: Varovanje električne inštalacije

72

Inštalacija SPD

SPD mora biti tako inštaliran, da ne poslabšamo zaščitnega nivoja:



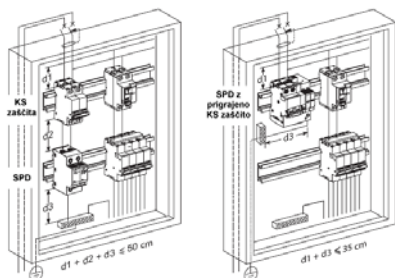
- padec napetosti na povezovalnih vodih se prišteva k U_p SPD,
- pri tokovnem udaru 8/20 je padec napetosti na inštalacijskih vodih približno 1000 V/m,
- dolžina priključnih vodov naj ne bi bila daljša od 50 cm,
- zaščitni nivo je v tem primeru $U_p + 500V$.

Inštalacija SPD

Pri vezavi razdelilca z SPD se držimo naslednjih pravil:

- dolžina priključnih vezi ne sme biti daljša od 50 cm;
- povezava z varovalnimi elementi izvodov mora biti priključena na SPD ali na njegov KS varovalni element in čim bolj ločena od priključnih vezi SPD;
- L, N in PE vodniki varovalnih elementov in izvodov morajo biti čim bližje drug drugemu da ne nastanejo zanke;
- priključni vodniki SPD morajo biti čim dlje (>30 cm) od izvodov iz razdelilca;
- če je razdelilec v kovinski omarici, naj bodo kabli pritrjeni čim bližje steni, da preprečimo velike zanke in posledično inducirano napetost.

Inštalacija SPD



... in še:



Vprašanja?
