

Poglavlje 12

Energija oslobođena u odvodniku prenapona

12.1 Energetska naprezanja pri radu odvodnika prenapona

Osnovna razlika u ponašanju visokonaponskih i srednjenaponskih metal-oksidnih odvodnika prenapona je u apsorbiranoj energiji u toku perioda pražnjenja kada su napregnuti različitim vrstama prenapona. Visokonaponski metal-oksidni odvodnici prenaponi su najviše napregnuti sklopnim prenaponima koji prouzrokuju protok velike količine elektriciteta kroz odvodnik u toku celokupnog perioda trajanja prenapona. U slučaju mreže sa dugaćkim nadzemnim vodovima ili kablovima, pri nastanku sklopnog prenapona dolazi do protoka zaostalog električnog opterećenja sa vodova kroz odvodnik, koji mora da podnese tu energiju. Najkritičnija sklopna operacija je ponovno uključenje na vod na kojem postoji zaostali napon suprotnog polariteta od napona sa strane izvora, usled električnih opterećenja koja se nisu rasteretila za vreme beznaponske pauze (APU bez kvara ili trofazno APU pri jednopolnom kvaru). Sa druge strane, srednjenaponski odvodnici prenapona su najviše napregnuti direktnim atmosferskim pražnjenjem u blizinu štice objekta. Naprezanja su u ovom slučaju kratkotrajna, ali su struje koje protiču kroz odvodnik znatno veće. Zbog toga se vrši laboratorijsko testiranje odvodnika prenapona u pogledu energetske sposobnosti sa dve vrste testova:

- sposobnost podnošenja višestrukog transfera elektriciteta Q_{rs} , što se radi strujnim talasima relativno male amplitude i dugog trajanja (pravougaoni talasi trajanja od 2 ms do 4 ms za odvodnike za postrojenja (station class arresters) koji su predviđeni za energetske teže uslove rada. Mogu se koristiti i talasi oblika jedne poluperiode sinusnog oblika ekvivalentnog trajanja 2 do 4 ms. Za distribucijske odvodnike (distribucij-

nution class arresters koji su predviđeni za manja energetska naprezanja) ispitivanja se rade sa serijom strujnih impulsa oblika $8/20 \mu s$.

- Ispitivanje odvodnika u radnim uslovima vrši se kratkotrajnim atmosferskim udarnim strujnim talasima velike amplitude (talasi oblika $4/10$ ili $8/20 \mu s$).

Pod ispitivanjem u radnim uslovima vrši se naknadno izlaganje ispitivanih uzoraka povišenom naponu industrijske učestanosti da bi se proverila sposobnost termičkog oporavka posle ispitivanja.

Za visokonaponske metal-oksidne odvodnike prenapona postoje standardne metode za izbor energetske apsorpcione moći koje su zasnovane na proceni energije pražnjenja akumulirane u nadzemnim vodovima koja izaziva protok dugotrajne struje kroz odvodnik. Apsorbovana energija sredjenaponskih odvodnika prenapona prouzrokovana atmosferskim pražnjenjem može se proceniti analitički i numeričkom metodom koja je opisana na ovom mestu.

12.2 Procena energije oslobođene u odvodniku

Apsorbovana energija u odvodniku prenapona je izračunata u toku simulacije prelaznog procesa usled atmosferskog prenapona na osnovu sledeće relacije:

$$W = \int_{t_o}^t u_A(t) i_A(t) dt \quad (12.1)$$

gde su:

W - energija oslobođena u odvodniku prenapona u toku procesa pražnjenja, izražena u džulima,

$u_A(t)$ - trenutna vrednost napona na odvodniku (trenutna vrednost preostalog napona) izražena u voltima,

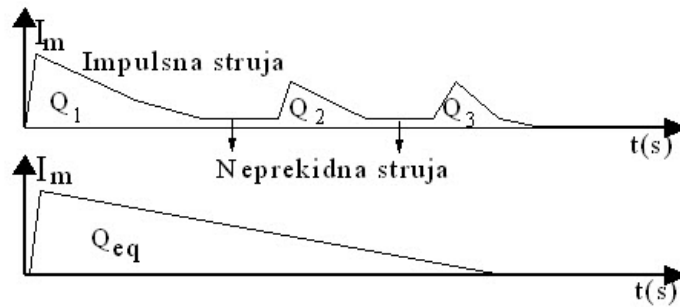
$i_A(t)$ - trenutna vrednost struje pražnjenja kroz odvodnik izražena u amperima,

t_o - trenutak prvog pojavljivanja atmosferskog prenapona na krajevima odvodnika,

t - vreme izraženo u sekundama.

Simulacija prelaznog procesa se vrši strujnim talasom linearno opadajućeg začelja amplitude I_{max} , bez uvažavanja čela talasa koje je zanemarljivo kratko u odnosu na trajanje talasa. Za energetska naprezanja odvodnika prenapona pri negativnim udarima,

koji su oko 10 puta češći od pozitivnih, vrši se ekvivalentiranje višestrukog negativnog pražnjenja sa jednim udarom amplitude koja odgovara maksimumu prvog udara, a trajanja da količina elektriciteta koja protekne kroz kanal groma bude identična za višestruki udar i za ekvivalentni jednostruki, kao na slici 12.1. Pri proračunu ekvivalentne količine elektriciteta uzima se u obzir samo udarna količina elektriciteta za vreme proticanja impulsne struje, a ne uzima u obzir uticaj neprekidne struje pražnjenja koja ima malu amplitudu, ali dugo trajanje i može da prenese značajnu količinu elektriciteta kroz kanal groma. Neprekidna struja pražnjenja ima amplitudu nekoliko stotina ampera, koja ne može da izazove naprezanje odvodnika prenapona, jer ne može da prouzrokuje porast napona na odvodniku iznad kolena u U-I karakteristike kada počinje naglo povećanje struje odvođenja, tako da neprekidna struja nema uticaja na naprezanje odvodnika.



Slika 12.1: Ekvivalentiranje višestrukog negativnog pražnjenja sa jednim udarom amplitude koja odgovara maksimumu prvog udara, a trajanja da količina elektriciteta koja protekne kroz kanal groma bude identična kao kod višestrukog pražnjenja

Količina elektriciteta koja protekne kroz kanal groma prilazana je u tabeli 6.5. Za potrebe determinističkog proračuna smatra se da je talas atmosferskog pražnjenja trougaonog oblika čije je trajanje čela zanemarljivo, na začelju linearno opada, a ima amplitudu struje I_{max} , kao na slici 12.2:

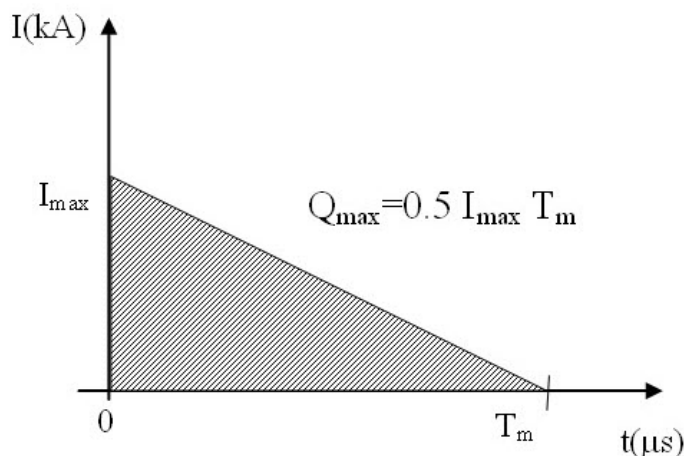
U tabeli 12.1 prikazano je trajanje ekvivalentnog talasa koji zamenjuje višestruki negativni udar čija je količina elektriciteta Q_{max}^- , odnosno pozitivni udar čija je količina elektriciteta Q_{max}^+ , na osnovu izraza:

$$Q_{max} = \frac{1}{2} \cdot I_{max} \cdot T_m \quad (12.2)$$

gde je Q_{max} zajednička oznaka za ekvivalentno opterećenje. Iz 12.2 se dobija da je:

$$T_m = \frac{2 \cdot Q_{max}}{I_{max}} \quad (12.3)$$

Usvojene su maksimalne amplitude struja i udarnih količina elektriciteta koje mogu biti premašene sa verovatnoćom od 5 % prema standardu [15], tabela A.1. U tabeli 12.1 pri-



Slika 12.2: Oblik strujnog talasa za deterministički proračun absorbovane energije

kazano je trajanje talasa pri dejstvu struje čija amplituda može da bude premašena sa verovatnoćom 5 %, a udarna količini elektriciteta takođe može biti premašena sa verovatnoćom 5 %.

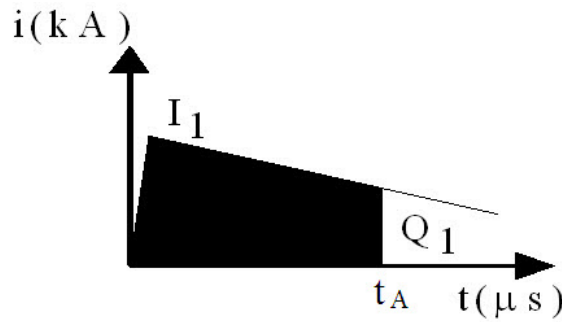
Tabela 12.1: Određivanje ekvivalentnog trajanja talasa

Polaritet	$I_{\max}$ (kA)	$Q_{\max}$ (C)	T_m (μs)
Negativni talasi	90	24	533
Pozitivan talas	250	150	1200

12.3 Verovatnoće premašenja energetske moći odvodnika

Na slici 12.3 prikazana je količina elektriciteta koja protekne kroz kanal pražnjenja do trenutka premašenja energetske apsorpcione moći odvodnika.

U svakom koraku proračuna oslobodjena energija u odvodniku prenapona W je upoređivana sa energetsom apsorpcionom moći A . U vremenskom trenutku t_A kada oslobodjena energija W postane veća od energetske apsorpcione moći A , simulacija se prekida. Izračunava se ukupna količina elektriciteta oslobodjena od početka procesa pražnjenja do trenutka t_A . Metoda proračuna je zasnovana na izračunavanju ukupne količine elektriciteta oslobodjene atmosferskim pražnjenjem sve do premašenja energetske apsorpcione moći odvodnika prenapona. Ukupna količina elektriciteta oslobodjena do kvara odvodnika prenapona se može izračunati na osnovu sledeće relacije:



Slika 12.3: Količina elektriciteta koja protekne kroz kanal pražnjenja do trenutka premašnje energetske apsorpcione moći

$$Q = \int_{t_o}^{t_A} i(t - t_o) dt \quad (12.4)$$

gde su:

Q - količina elektriciteta protekla kroz kanal groma do tačke pražnjenja,

t_o - trenutak u kome atmosferski prenapon stiže do odvodnika, računat od trenutka udara,

t - vremenski trenutak računat od trenutka udara,

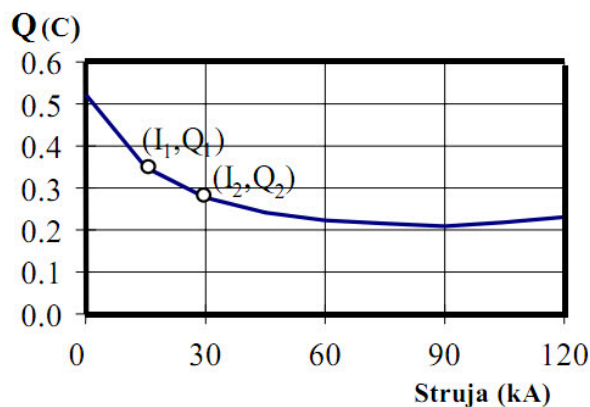
$i(t - t_o)$ - trenutna vrednost struje atmosferskog pražnjenja računata od trenutka nailaska atmosferskog prenapona do odvodnika do tekućeg trenutka t ,

t_A - trenutak u kome je premašena energetska apsorpciona moć odvodnika prenapona, na osnovu relacije 12.4.

Statistički proračun se vrši na taj način što se varira amplituda strujnog talasa zanemarljivo kratkog čela i linearnog opadanjanja ekvivalentnog talasa na začelju, vršeći proračun količine naelektrisanja na osnovu izraza 12.4 sve dok se ne dostigne oslobođena energija u odvodniku izračunata pomoću izraza 12.1 do granice energetske apsorpcione moći odvodnika W_{max} . Obrazuje se kriva opasnih parametara na kojoj je na apscisnoj osi amplituda struje I_m , a na ordinatnoj kritična količina elektriciteta koja izaziva premašnje energetske apsorpcione moći. Teorijski primer krive opasnih parametara dat je na slici 12.4

Verovatnoća premašnja količine elektriciteta Q_{krit} može se odrediti na osnovu sledećeg izraza:

$$P = \int_D \omega(x, y) dIdQ \quad (12.5)$$



Slika 12.4: Kriva opasnih parametara I-Q

gde je D oblast iznad krive opasnih parametara. $\omega(x, y)$ je zajednicka gustina raspodele raspodele po dve slučajne promenljive raspoređeno po logaritamsko-normalnoj raspodeli, odnosno:

$$\omega(x, y) = \frac{1}{2\pi} \exp\left[-\frac{x^2 + y^2 - 2xy}{2(1 - \rho^2)}\right] \quad (12.6)$$

gde je:

$$x = \ln(I/I_m/\sigma_{\ln I},$$

I_m -srednja vrednost amplitude struje prvog udara (kA),

$\sigma_{\ln I}$ -standardna devijacija logaritma amplitude struje prvom udara (r.j.),

$$y = \ln(Q/Q_m/\sigma_{\ln Q},$$

Q -ukupno naelektrisanje atmosferskog pražnjenja (C),

Q_m -srednja vrednost ukupnog naelektrisanja pražnjenja, koje uključuje i kontinualnu struju između udara (C),

$\sigma_{\ln Q}$ -standardna devijacija logaritma ukupnog naelektrisanja (r.j),

ρ -koeficijent korelacije između amplitude struje prvog udara i ukupnog naelektrisanja pražnjenja (r.j)

Usvojene su sledeće vrednosti za parametre pražnjenja:

$$I_m = 30 \text{ (kA)}$$

$$\sigma_{\ln I} = 0.53(r.j).$$

$$Q_m = 7.5 \text{ (C)}$$

$$\sigma_{\ln Q} = 1.04 \text{ (r.j.)}$$

$$\rho = 0.54 \text{ (r.j.)}$$

Nakon izračunavanja količine elektriciteta dovoljne da izazove premašenje energetske apsorpcione moći odvodnika prenapona za amplitudu pražnjenja I_i , započinje simulacija prelaznog procesa sa narednom amplitudom struje atmosferskog pražnjenja. U svakoj simulaciji prelaznog procesa određen je jedan par parametara atmosferskog pražnjenja (amplituda struje i količina elektriciteta koja protiče kroz kanal groma do tačke pražnjenja dovoljna da izazove kvar odvodnika prenapona).

Verovatnoća premašenja kritičnih parametara (I, Q) određuje se isto kao u slučaju razmatranja krive opasni parametara za izolaciju (S, I) , gde je S strmina čela struje, odnosno integraljenjem po postupku kao u izrazu 8.22. Broj udara u vod procenjuje se na osnovu poglavlja 8.4.3, a rizik kvara odvodnika analogno kao rizik kvara transformatora prema poglavlju 8.4.4.

Srednji godišnji broj kvarova odvodnika prenapona se računa na isti način kao i pri proračuna srednjeg godišnji broja kvarova izolacije.