

Slika 6.12: Početni prelazni povratni napon u slučaju sabirničkog kratkog spoja sa većim brojem uključenih vodova na sabirnice

## 6.2 Blizak kratak spoj

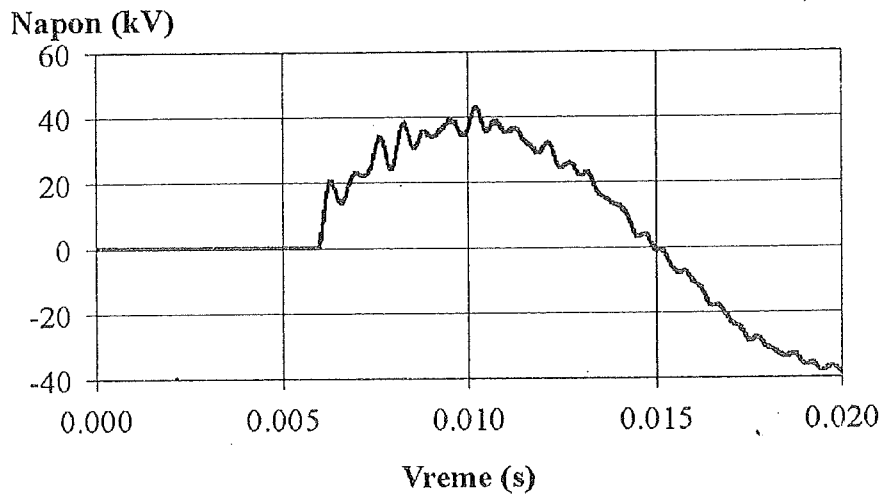
Pod bliskim kratkim spojem ili kilometarskim kvarom se podrazumeva kratak spoj koji se dogodio na vodu na nekoliko stotina metara ili nekoliko kilometara daleko od priključaka prekidača koji kvar isključuje. Posle gašenja luka nastaje prelazni proces na isključenom delu voda i sa napojne strane prekidača. Razlika napona pri prelaznom procesu sa napojne strane prekidača i sa strane voda grade prelazni povratni napon, koji napreže medjukontaktni prostor prekidača. Tipična monofazna zamenska šema za analizu pojava pri isključenju bliskog kratkog spoja prikazana je na slici 6.14.

Šema na slici 6.14 se odnosi na slučaj kada se kratak spoj dogodio u blizini elektrane. Oznake na slici imaju sledeće značenje:

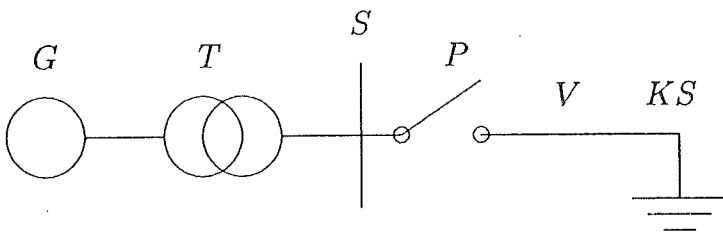
$G$  -generator,

$T$  -transformator,

$S$  -sabirnice,



Slika 6.13: Početni prelazni povratni napon u slučaju sabirničkog kratkog spoja sa većim brojem priključenih vodova na sabirnice



Slika 6.14: Monofazna šema sistema u kome se isključuje blizak kratak spoj

$P$  -prekidač,

$V$  -vod,

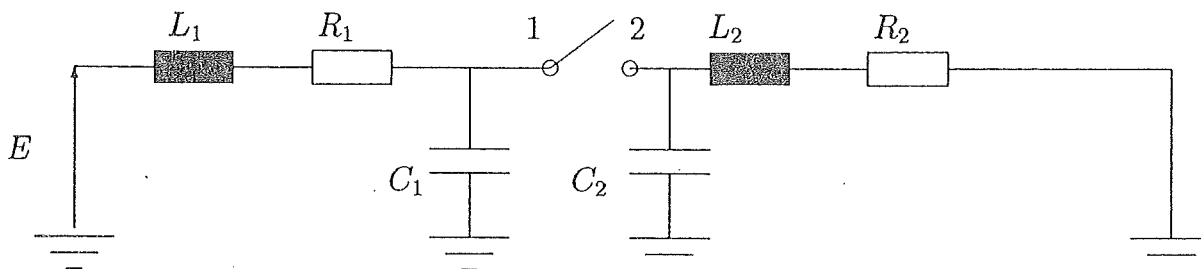
$KS$  -kratak spoj.

Potpuno identične pojave bi se imale kada bi napajanje sabirnica bilo iz sistema, umesto iz elektrane.

Odredjivanje prelaznog povratnog napona za slučaj trolejnog kratkog spoja izvršeno je u monofaznoj zamenskoj šemi na dva načina. Po jednom postupku vod je zamenjen koncentrisanim parametrima, a po drugom postupku rasporedjenim parametrima.

## Zamena voda koncentrisanim parametrima

Vod na kome se dogodio kvar je na slici 6.15 predstavljen monofaznom zamenskom  $\Gamma$  šemom sa koncentrisanim parametrima.



Slika 6.15: Monofazna ekvivalentna šema sistema u kome se isključuje blizak kratak spoj, sa vodom predstavljenim preko koncentrisanih parametara

Oznake na slici 6.15 imaju sledeće značenje:

$e(t)$  -elektromotorna sila generatora ili ekvivalentna ems sistema,

$L_1$  -ukupna induktivnost generatora i transformatora,

$R_1$  -otpor koji modeluje sve gubitke u namotaju generatora i transformatora,

$C_1$  -kapacitivnost sabirnica,

$L_2$  -induktivnost dela voda do mesta kratkog spoja,

$R_2$  -otpor dela voda do mesta kratkog spoja,

$C_2$  -kapacitet dela voda do mesta kratkog spoja.

U trenutku prolaska struje kroz nulu dolazi do gašenja električnog luka između kontakata prekidača. Nakon gašenja električnog luka dolazi do prelaznog režima u delu kola levo od prekidača i delu kola desno od prekidača.

Diferencijalne jednačine koje opisuju prelazni proces u delu kola levo od prekidača su:

$$e(t) = L_1 \frac{\partial i_1}{\partial t} + R_1 i_1 - u_{c1} \quad (6.30)$$

$$u_{c1}(t) = \frac{1}{C_1} \int_0^t i_1 dt + U_{co1} \quad (6.31)$$

Diferencijalne jednačine koje opisuju prelazni proces u delu kola desno od prekidača pri zanemarenim omskim otpornostima su:

$$-L_2 \frac{\partial i_2}{\partial t} - R_2 i_2 + u_{c2} = 0 \quad (6.32)$$

$$u_{c2}(t) = -\frac{1}{C_2} \int_0^t i_2 dt + U_{co2} \quad (6.33)$$

Kada se izvrši rešavanje ovih diferencijalnih jednačina, dobija se približan izraz za vremensku promenu napona na kondenzatorima  $C_1$  i  $C_2$  u sledećem obliku:

$$u_{c1}(t) = E_m \cos(\omega t) - (E_m - U_{co1}) \cos(\alpha_1 \omega_1 t) e^{-\delta_1 t} \quad (6.34)$$

$$u_{c2}(t) = U_{co2} \cos(\alpha_2 \omega_2 t) e^{-\delta_2 t} \quad (6.35)$$

gde su:

$E_m$  - temena vrednost elektromotorne sile,

$\omega$  - industrijska kružna učestanost,

$\delta_1 = R_1/2L_1$  - koeficijent prigušenja napojnog dela kola,

$\delta_2 = R_2/2L_2$  - koeficijent prigušenja dela kola sa strane voda,

$\omega_1 = 1/\sqrt{L_1 C_1}$  - sopstvena učestanost napojnog dela kola,

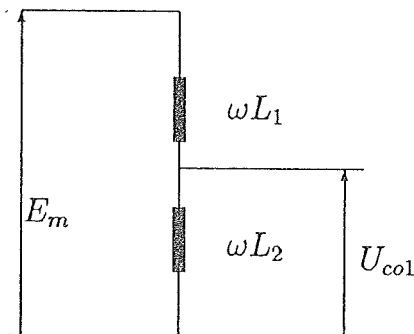
$\omega_2 = 1/\sqrt{L_2 C_2}$  - sopstvena učestanost dela kola sa strane voda,

$\alpha_1 = \sqrt{1 - \delta_1^2/\omega_1^2}$  - koeficijent smanjenja, sopstvene učestanosti prvog kola usled uticaja prigušenja,

$\alpha_2 = \sqrt{1 - \delta_2^2/\omega_2^2}$  - koeficijent smanjenja sopstvene učestanosti drugog kola usled uticaja prigušenja.

Naponi  $U_{co1}$  i  $U_{co2}$ , koji predstavljaju početne uslove na kondenzatorima  $C_1$  i  $C_2$  izračunavaju se na osnovu trenutnih vrednosti napona u trenutku gašenja luka. Pošto se gašenje luka odvija u trenutku prolaska struje kroz nulu, u tom trenutku je, ako se zanemari uticaj otpora, zbog reaktivnosti kola, elektromotorna sila sistema maksimalna. Ukoliko se zanemari uticaj električnog luka na prelazni proces, naponi na krajevima prekidača su identični, pa je:

$$U_{co1} = U_{co2} \quad (6.36)$$



Slika 6.16: Zamenska šema za određivanje napona na početku voda u trenutku gašenja luka na bazi induktivne raspodele napona u tom trenutku

Napon  $U_{co1}$  se može izračunati u trenutku gašenja luka, uz zanemaren uticaj omskog pada napona u kolu, na bazi ekvivalentne šeme na slici 6.16, koja važi za stacionarno stanje kratkog spoja sve do trenutka gašenja luka. Kada se izračuna napon na početku voda, koji je jednak naponu na kondenzatoru sa strane izvora u trenutku gašenja luka, dobija se sledeći izraz:

$$U_{co1} = U_{co2} = E_m \frac{L_2}{L_1 + L_2} \quad (6.37)$$

Kada se posle zamene u 6.34 napiše približan izraz za vremensku promenu napona na kondenzatoru  $C_1$ , vodeći računa o početnim uslovima 6.36 i 6.37, dobija se:

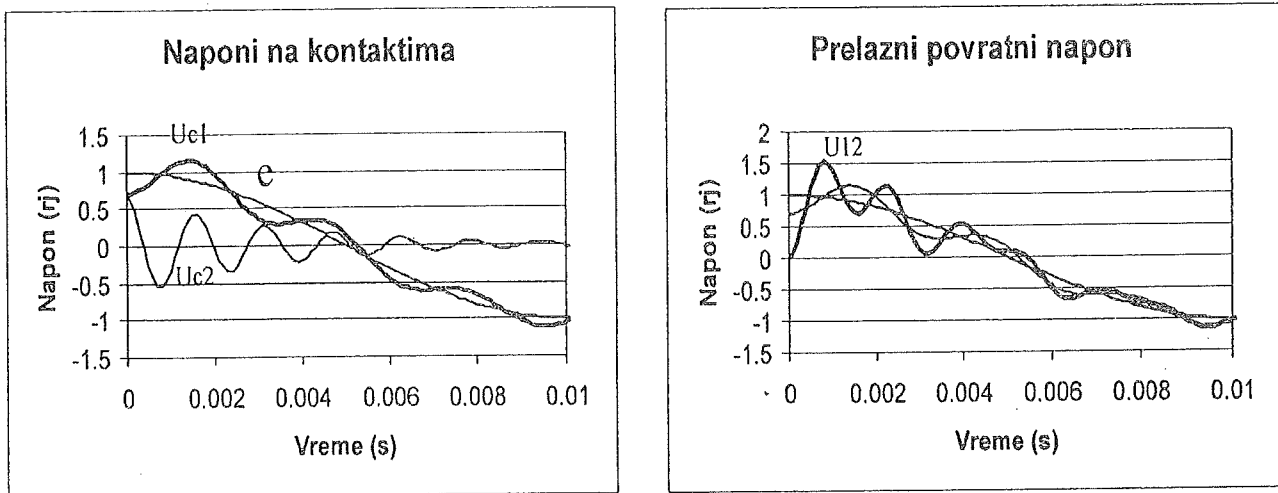
$$u_{c1}(t) = E_m \cos(\omega t) - U_{co1} \cos(\alpha_1 \omega_1 t) e^{-\delta_1 t} \quad (6.38)$$

Na identičan način se dobija izraz za vremensku promenu napona na kondenzatoru  $C_2$ :

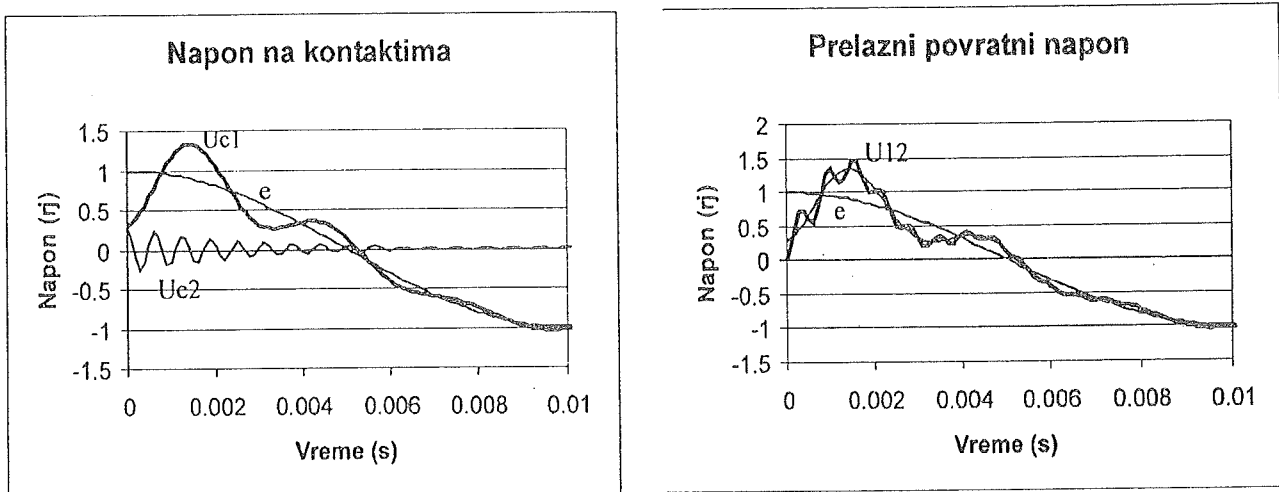
$$u_{c2}(t) = -\frac{L_2}{L_1 + L_2} \cos(\alpha_2 \omega_2 t) e^{-\delta_2 t} \quad (6.39)$$

Treba voditi računa da su koeficijenti  $\alpha_1$  i  $\alpha_2$  vrlo bliski jedinici, a obično je ispunjen uslov da je  $\omega_2 \gg \omega_1$ . Ako se izvrši proračun prelaznog režima prema izrazima 6.38 i 6.39, dobija se vremenska promena napona na kondenzatorima sa leve i desne strane prekidača, kao i prelazni povratni napon koji vlada između kontakata, a koji je razlika ta dva napona. Na slici 6.17 levo prikazani su prelazni naponi na kondenzatorima  $C_1$  i  $C_2$  sa leve i desne strane prekidača, kao i elektromotorna sila izvora u slučaju udaljenog kvara. Na slici 6.17 desno prikazan je prelazni povratni napon u slučaju udaljenog kvara. Na slici 6.18 levo prikazani su prelazni naponi sa leve i desne strane prekidača, kao i elektromotorna sila izvora u slučaju bližeg kvara. Na slici 6.18 desno prikazan je prelazni povratni napon u slučaju bližeg kvara. Sa dijagrama se može uočiti da učestanost napona na kondenzatoru  $C_1$  ne zavisi od udaljenosti kvara, ali amplituda slobodne komponente

napona oko elektromotorne sile je veoma različita. Za slučaj udaljenijeg kvara početna vrednost napona u trenutku  $t = 0$  ima vrednost  $U_{c01} = 0.7$  rj, a u slučaju bližeg kvara  $U_{c01} = 0.3$  rj. Ove početne vrednosti napona se očitavaju kao odsecci na ordinatnoj osi za trenutak  $t = 0$ .

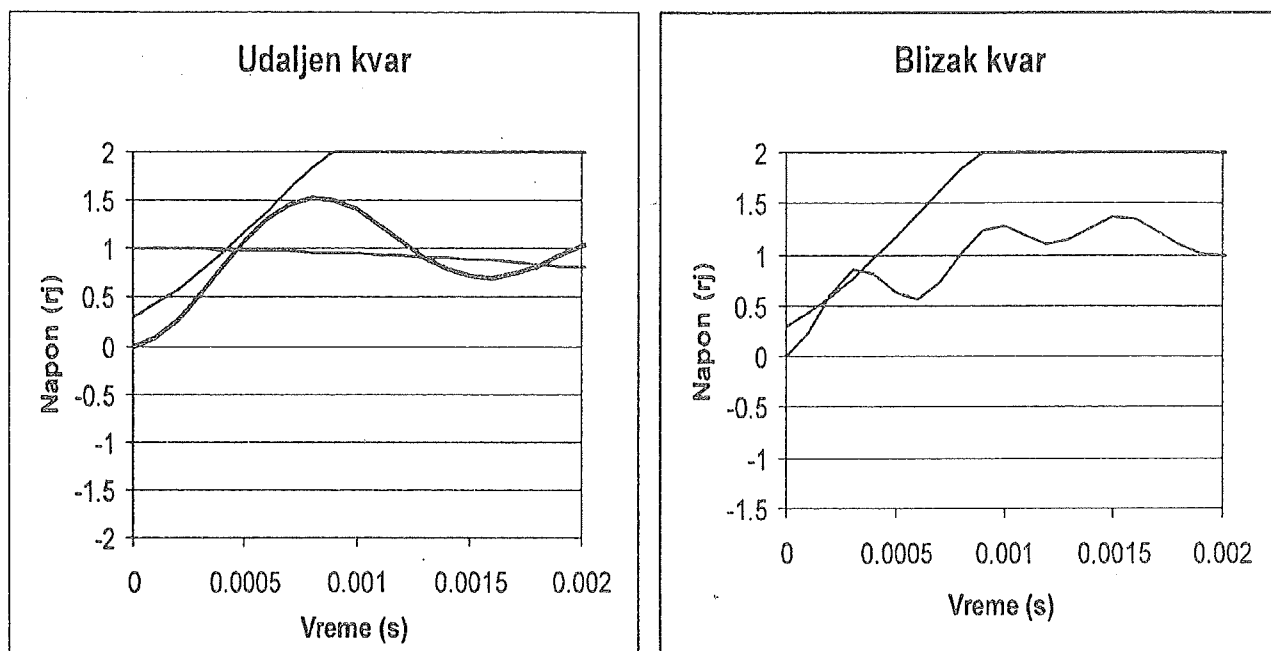


Slika 6.17: Naponi na kontaktima prekidača i prelazni povratni naponi za dalji kvar



Slika 6.18: Naponi na kontaktima prekidača i prelazni povratni naponi za bliži kvar

Na slici 6.19 prikazani su prelazni povratni naponi za udaljeniji kvar (levo) i za bliži kvar (desno) i kriva uspostavljanja dielektrične izdržljivosti, koja je identična za oba slučaja. Prelazni povratni napon na slici 6.19 počinje od nule jer su naponi na kondenzatorima  $C_1$  i  $C_2$  u trenutku gašenja luka identični (jer je zanemaren uticaj pada napona na luku). Za slučaj većeg rastojanja do mesta kvara (slika levo), visokofrekventni prelazni povratni napon nakon gašenja luka ima višu amplitudu, ali manju strminu nego u



Slika 6.19: Prelazni povratni napon na prekidaču za dva različita rastojanja do mesta kvara

slučaju kraćeg voda (slika desno). Prvi maksimum prelaznog povratnog napona u slučaju dužeg voda ima vrednost od oko 1.5 rj, a u slučaju kraćeg voda od oko 0.85 rj. U slučaju udaljenijeg mesta kvara zbog manje strmine prelaznog povratnog napona neće doći do ponovnog paljenja luka, a u slučaju kraćeg voda hoće.

Na osnovu izračunatih prelaznih povratnih napona i nacrtanih dijagrama se može zaključiti da mesto kratkog spoja ima veoma veliki uticaj na naprezanje prekidača. Mogu se uočiti dva efekta:

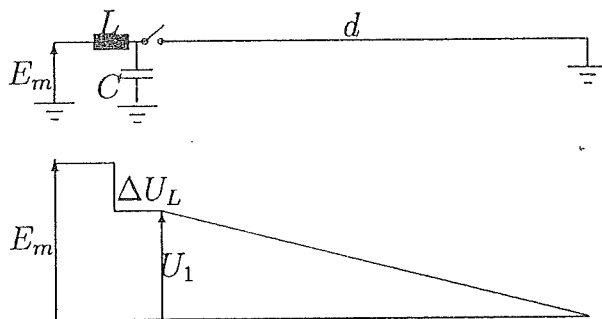
- Sa povećanjem rastojanja mesta kvara od prekidača raste amplituda prvog maksimuma prelaznog povratnog napona.
- Sa povećanjem rastojanja mesta kvara od prekidača smanjuje se početna strmina prelaznog povratnog napona

### 6.2.1 Predstavljanje voda raspodeljenim parametrima

Kada se vod na kome se dogodio kvar predstavlja šemom sa raporedjenim parametrima na kome se odvija prostiranje talasa, na početku voda se pojavljuje specifičan vremenski

oblik napona pri prelaznom procesu. Zamenska žema napojnog dela sistema identična je kao na slici 6.14. Prostorna udaljenost mesta kratkog spoja od prekidača je označena na slici 6.20 gore sa  $d$ , a vreme prostiranja talasa od početka voda do mesta kratkog spoja sa  $T = d/v$ , gde je  $v$  brzina prostiranja talasa.

Prostorna raspodela trenutne vrednosti napona (profil napona) od izvora do mesta kratkog spoja u trenutku prolaska struje kroz nulu, koji se poklapa sa trenutkom maksimuma napona, ako se smatra da se uticaj omskih otpora može zanemariti, prikazana je na slici 6.20, dole. U gornjem delu slika nacrtana je zamenska šema, a na donjem profil napona duž voda. U trenutku gašenja luka trenutna vrednost elektromotorne sile sistema



Slika 6.20: Prostorna raspodela napona u sistemu

je jednaka temenoj vrednosti  $E_m$ . U tom trenutku pad napona na induktivnosti napojne strane voda je  $\Delta U_L = \omega L I_m$ , gde je  $I_m$  temena vrednost struje kratkog spoja. Napon od prekidača do mesta kratkog spoja se može smatrati da linearno opada od napona na početku voda  $U_1 = I_m x_v d$  do nule na mestu kratkog spoja, gde je  $x_v$  podužna reaktansa voda. Uticaj podužne kapacitivnosti voda na raspodelu napona duž voda je zanemaren. Sa strane izvora postoji kapacitet  $C$  koji ne utiče na raspodelu napona, ali nakon gašenja luka dovodi do oscilacija napona sa strane izvora.

Napon koji vlada na vodu u trenutku gašenja luka može da se razloži na putujuće talase. Komponentu napona koja se kreće brzinom  $v$  od mesta kratkog spoja ka početku voda nazivamo **inverznim talasom** i obeležavamo sa  $U_i$ . Komponentu napona koji se kreće od početka ka kraju voda obeležavamo sa  $U_d$  i nazivamo **direktnim talasom**.

Prostorni raspored trenutne vrednosti direktnog talasa, inverznog talasa i ukupnog napona na vodu predstavljen je na slici 6.21.

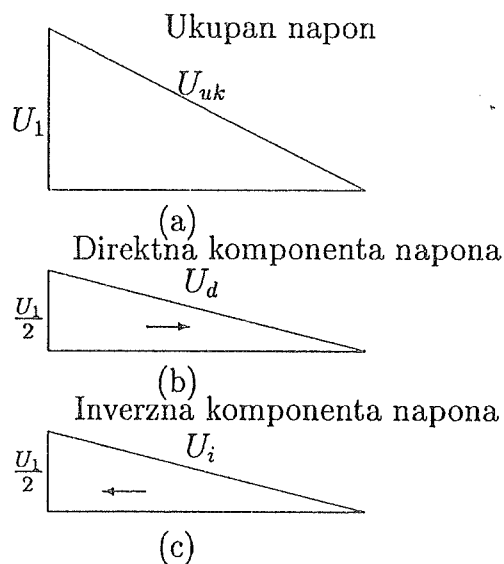
Trenutne vrednosti obe komponentne naponskih talasa u trenutku gašenja luka na bilo kom mestu su medjusobno jednake i imaju vrednost koja je jednaka polovini trenutne vrednosti ukupnog napona na posmatranom mestu na vodu.



Na slici 6.21, dijagram (a), prikazana je prostorna raspodela ukupnog napona duž voda u trenutku gašenja luka ( $t=0$ ), a na dijagramu (b) i (c) prikazane su prostorne raspodele komponentnih napona u istom trenutku.

Komponentni naponi se prostiru ka kraju, odnosno početku voda. Direktna komponenta napona se reflektuje od kraja voda sa koeficijentom refleksije  $\beta = -1$ , a inverzna komponenta napona se reflektuje od otvorenog kontakta prekidača posle gašenja luka sa koeficijentom refleksije  $\beta = 1$ .

Posle gašenja luka vod više nije vezan za izvor i na njemu se odvija prelazni proces. Direktni talas se prostire ka kraju voda, a inverzni ka početku. Posle vremena



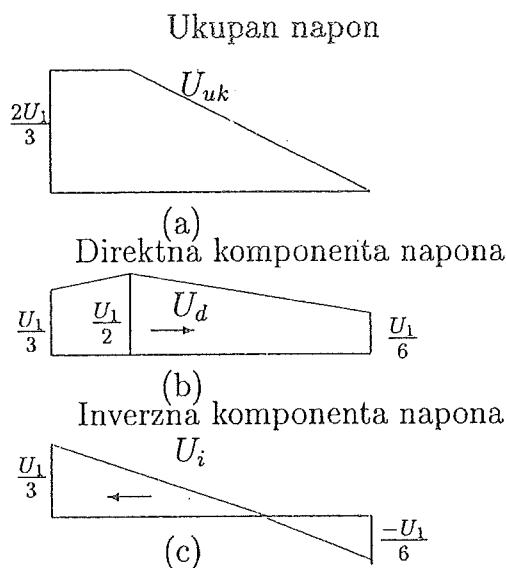
Slika 6.21: Prostorna raspodela ukupnog napona i putujućih talasa u trenutku gašenja luka

potrebnog da talasi predju trećinu dužine voda, raspodela ukupnog napona i pojedinih komponenti bila bi kao na slici 6.22.

Može se uočiti da je posle putovanja direktnog talasa ka kraju voda, a inverznog ka početku, posle superpozicije ukupan napon postao zaravnjen na prvoj trećini dužine voda, dok je na ostatku raspodela napona ostala identična kao u trenutku  $t = 0$ .

Posle vremena potrebnog da talasi predju dve trećine dužine voda, raspodela ukupnog napona i pojedinih komponenti bila bi kao na slici 6.23.

Posle vremena potrebnog da talas predje dve trećine dužine voda, ukupan napon dobijen superpozicijom putujućih talasa je zaravnjen na prve dve trećine dužine voda, a na ostatku ima kosu raspodelu.



Slika 6.22: Prostorna raspodela ukupnog napona i putujućih talasa posle trećine vremena prostiranja talasa od trenutka gašenja luka

Posle vremena potrebnog da talas predje ceo vod, raspodela ukupnog napona i njegovih komponenti je prikazana na slici 6.24.

U trenutku kada je proteklo vreme od trenutka gašenja luka jednako vremenu prostiranja talasa po vodu, direktni i inverzni talas imaju identičnu prostornu raspodelu, ali su suprotnog polariteta, pa je ukupan napon duž celog voda jednak nuli.

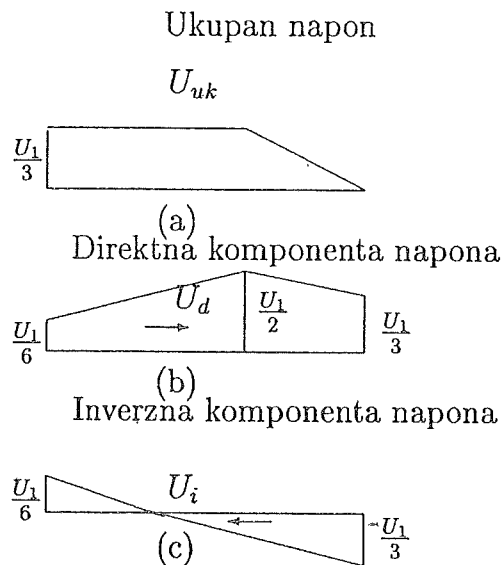
Ako bi se nacrtala vremenska promena napona duž voda, dobio bi se napon koji lincarno opada od vrednosti  $U_1$  u trenutku gašenja luka do nule posle vremena jednakog vremenu prostiranja.

Na isti način bi se mogla analiza nastaviti i dalje, tako da bi ukupni napon počeo na početku voda da raste u negativnom smeru do vrednosti od  $-U_1$  ukoliko bi se zanemarilo prigušenje napona zbog gubitaka na vodu. Vremenska promena napona na početku voda prikazana je na slici 6.25 za slučaj kada je potpuno zanemareno prigušenje talasa pri prostiranju jer je pretpostavljeno da je vod idealan.

Može se uočiti pojava karakterističnog testerastog oblika napona na početku voda. Vreme prostiranja talasa duž voda predstavlja četvrtinu periode testerastog napona. Trajanje periode testerastog napona je  $\tau = 4d/v$ .

Napon  $U_1$  na početku voda zavisi od odnosa impedansi voda i izvora:

$$U_1 = E_m \frac{dx_v}{dx_v + \omega L} \quad (6.40)$$



Slika 6.23: Prostorna raspodela ukupnog napona i putujućih talasa posle dve trećine vremena prostiranja talasa od trenutka gašenja luka

Ovaj se napon može izračunati i na osnovu struje kratkog spoja:

$$U_1 = \sqrt{2} I_k dx_v \quad (6.41)$$

gde je  $I_k$  efektivna vrednost struje kratkog spoja:

$$I_k = \frac{E}{\omega L_1 + dx_v} \quad (6.42)$$

gde je  $E$ —efektivna fazna vrednost elektromotorne sile. Napon na početku voda ujedno predstavlja i amplitudu testerastog napona sa strane voda.

Sa strane izvora, ako se zanemari pad napona na luku, napon neposredno nakon gašenja luka ima vrednost  $U_1$ , a teži kroz prelazni proces da postigne približno napon izvora. Razlika ova dva napona čini prelazni povratni napon.

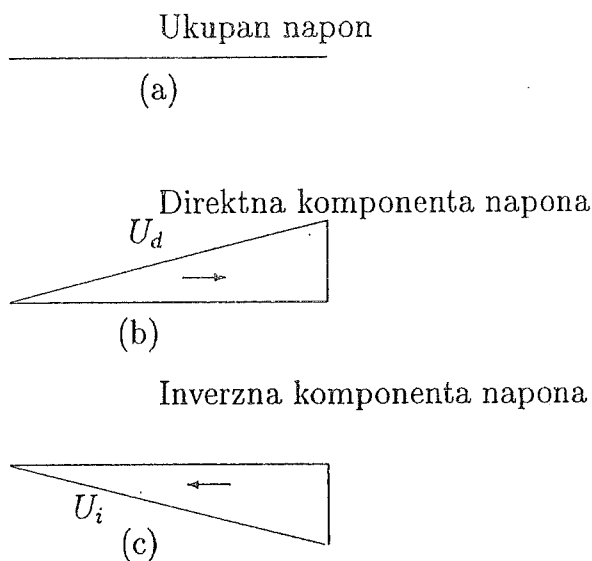
Napon sa strane izvora odredjen je na osnovu izraza 6.34 koji je oderedjen iz zamenske šeme sa koncentrisanim parametrima.

$$u_{c1}(t) = E_m \cos(\omega t) - (E_m - U_1) \cos(\omega_1 t) e^{-\delta_1 t} \quad (6.43)$$

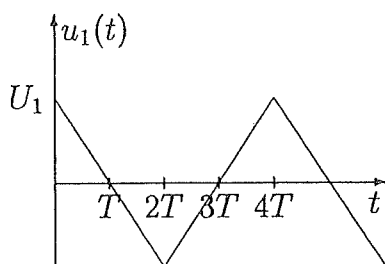
gde su:

$E_m$  - temena vrednost elektromotorne sile,

$\omega$  - industrijska kružna učestanost,



Slika 6.24: Prostorna raspodela ukupnog napona i putujućih talasa posle vremena potrebnog da talas predje dužinu voda



Slika 6.25: Škica vremenske promene napona na početku voda

$\delta_1 = R_1/2L_1$  -koeficijent prigušenja napojnog dela kola,

$\omega_1 = 1/\sqrt{L_1C_1}$  -sopstvena učestanost napojnog dela kola.

U analizi je potpuno zanemaren uticaj otpora u kolu na promenu učestanosti i uticaj kapaciteta na povećanje napona na induktivitetu usled Ferantijevog efekta.

Prvi maksimum prelaznog povratnog napona, ako se zanemari prigušenje i smatra da se napon sa strane voda menja mnogo brže nego napon sa strane izvora, ima sledeću vrednost:

$$U_A = 2U_1 \quad (6.44)$$

odnosno

$$U_A = 2\sqrt{2}I_k\omega l_v d \quad (6.45)$$

gde je  $l_v$  podužna induktivnost voda, a  $d$  rastojanje od početka voda do mesta kvara. Strmina prelaznog povratnog napona dobija se kada se amplituda prelaznog povratnog

napona u prvom maksimumu podeli sa dvostrukim vremenom prostiranja, jer prvi maksimum nastupa u trenutku  $T_A = 2d/v$ . Kada se izračuna strmina prelaznog povratnog napona u prvoj poluperiodi, nakon gašenja luka, dobija se:

$$S_A = \frac{U_A}{T_A} \quad (6.46)$$

odnosno:

$$S_A = \frac{2\sqrt{2}I_k\omega l_v v d}{2d} \quad (6.47)$$

Ako se vodi računa da je brzina prostiranja  $v = \sqrt{1/l_v c_v}$ , a karakteristična impedansa voda  $Z_c = \sqrt{l_v/c_v}$ , gde je  $c_v$  podužni kapacitet voda, tada se početna strmina talasa može izraziti u sledećem obliku:

$$S_A = \sqrt{2}Z_c I_k \omega \quad (6.48)$$

Efektivna vrednost struje pri sabirničkom kratkom spoju u istom sistemu može se izračunati iz sledeće relacije:

$$I_{ks} = \frac{E}{\omega L_1} \quad (6.49)$$

Ova vrednost struje je veća od struje bliskog kratkog spoja koja je data relacijom 6.42. Ako se i brojilac i imenilac u izrazu 6.42 pomnože i podele sa  $\omega L_1$  dobija se:

$$I_k = I_{ks} \frac{\omega L_1}{\omega L_1 + dx_v} \quad (6.50)$$

Ako se uvede oznaka  $k_{BKS}$  za faktor redukcije struje pri bliskom kratkom spoju u odnosu na struju kratkog spoja pri sabirničkom kvaru:

$$k_{BKS} = \frac{\omega L_1}{\omega L_1 + dx_v} \quad (6.51)$$

Faktor redukcije označava smanjenje struje pri bliskom kratkom spoju u odnosu na struju sabirničkog kratkog spoja. Sada se izraz 6.50 može napisati u obliku:

$$I_k = k_{BKS} I_{ks} \quad (6.52)$$

Konačan izraz za strminu prelaznog povratnog napona se može dobiti uvodjenjem struje sabirničkog kratkog spoja i faktora redukcije struje pri bliskom kratkom spoju, odnosno:

$$S_A = \sqrt{2} Z_c I_{ks} k_{BKS} \omega \quad (6.53)$$

Prilikom laboratorijskog ispitivanja prekidača pri bliskom kratkom spoju ne definiše se udaljenost mesta kvara od prekidača, već smanjenje struje bliskog kratkog spoja  $I_k$  u odnosu na sabirnički kratak spoj  $I_{ks}$ . Standardne vrednosti koeficijenta smanjenja struje pri bliskom kratkom spoju u odnosu na sabirnički kvar, koje se koriste pri ispitivanju prekidača u uslovima bliskog kratkog spoja, su:

- $I_k = 0.9I_{ks}$
- $I_k = 0.75I_{ks}$
- $I_k = 0.6I_{ks}$

Rastojanja do mesta kvara  $L_{90}, L_{75}, L_{60}$  označavaju ona rastojanja pri kojima struja opadne na vrednosti 90%, 75% i 60% od struje sabirničkog kratkog spoja.

Pri izračunavanju početne strmine prelaznog povratnog napona pri kilometarskom kvaru su zanemareni:

- otpornost voda,
- frekvencijska zavisnost parametara voda, koja značajno povećava prigušenje visokofrekvencijskih komponenti napona,
- pad napona na luku pre njegovog gašenja,
- promena napona sa strane izvora za vreme prve poluoscilacije napona sa strane voda.

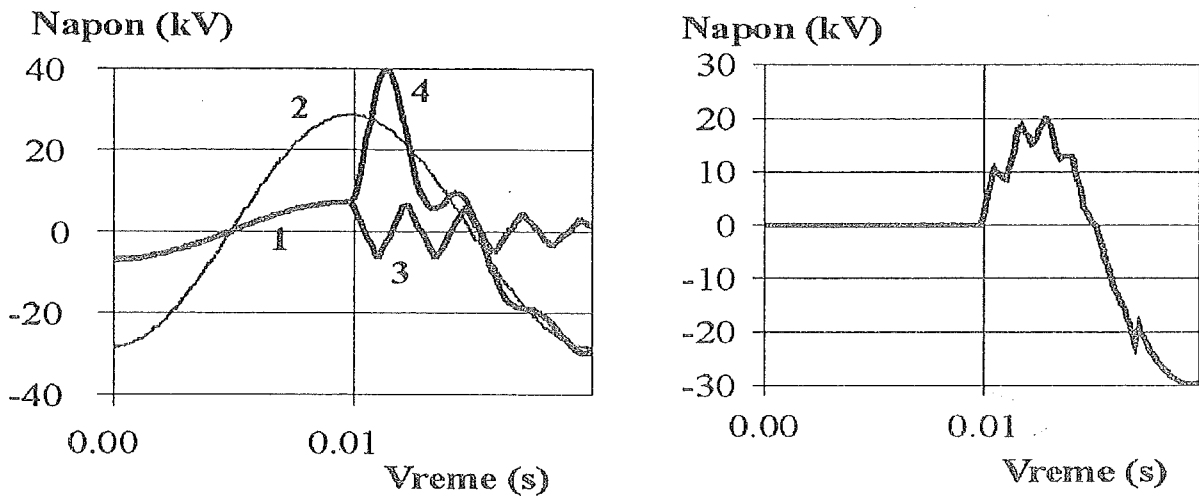
Izraz 6.48 važi samo u periodu trajanja prve poluperiode prelaznog procesa sa strane voda, odnosno za  $0 \leq t \leq 2d/v$ .

Na slici 6.26 prikazani su prelazni naponi sa strane voda nazivnog napona 35 kV i sa strane izvora (levo) i prelazni povratni napon (desno), kada se vod modeluje raspedeljenim parametrima, uvažavajući frekvencijski zavisne parametre voda.

Na slici 6.26 oznake imaju sledeće značenje:

- 1 -napon na početku voda pre gašenja luka,
- 2 -elektromotorna sila izvora,
- 3 -napon na kontaktu prekidača sa strane voda posle gašenja luka,
- 4 -napon na kontaktu prekidača sa strane izvora posle gašenja luka,

Kriva prelaznog povratnog napona na slici 6.26 dobija se oduzimanjem krivih 3 i 4. Jedina razlika u rezultatima kod modelovanja voda raspedeljenim parametrima u odnosu na modelovanje koncentrisanim parametrima je što od samog početka pojave prelaznog povratnog



Slika 6.26: Vremenska promena napona sa starne izvora i voda (levo) i prelazni povratni napon (desno)

napona postoji linearni porast napona izmedju kontakata, koji daje značajnu početnu strminu prelaznog povratnog napona neposredno nakon gašenja luka. Uvažavanjem frekven-  
 cijski zavisnih parametara vodova dolazi do postepenog prigušivanja napona na vodu, kao  
 i zaobljavanja oštih temena napona na vodu, zbog bržeg prigušivanja viših učestanosti  
 od nižih učestanosti.

### Procenjivanje granične udaljenosti mesta kvara

Na osnovu analize prelaznih povratnih napona pri isključenju bliskog kratkog spoja se  
 može uočiti da sa porastom rastojanja mesta kvara raste vrednost napona u prvom mak-  
 simumu prelaznog povratnog napona, ali se smanjuje strmina linearnog porasta napona  
 do prvog maksimuma. Ukoliko je za vreme linearnog porasta prelaznog povratnog napona  
 do prvog maksimuma dielektrična izdržljivost prostora izmedju kontakata uvek veća od  
 prelaznog povratnog napona, postoji velika verovatnoća da će se zadržati ista tendencija i  
 kasnije, pa neće doći do ponovnog paljenja luka pri isključenju bliskog kratkog spoja.

Da bi se odredila rastojanja koja su kritična za isključenje bliskog kratkog spoja,  
 izvršće se kvalitativna analiza porasta dielektrične izdržljivosti i prelaznog povratnog  
 napona.

Dielektrična izdržljivost izmedju kontakata u trenutku gašenja električnog luka  
 već ima neku vrednost  $U_{do}$ . Radi jednostavnije analize se može usvojiti da dielektrična  
 izdržljivost raste po linearnom zakonu od vrednosti  $U_{do}$  sa strminom  $S_d$ . U tom slučaju