

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 frekventijskih 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 maksimumu 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.

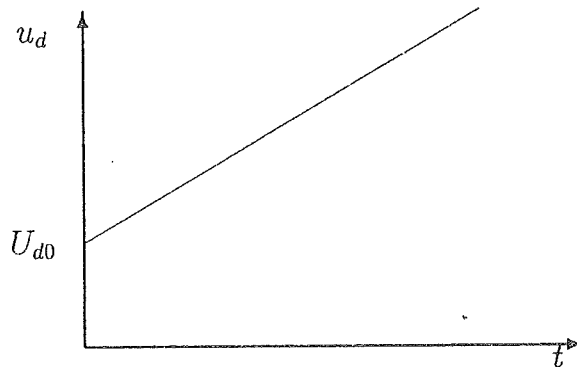
Da bi se odredila rastojanja koja su kritična za isključenje bliskog kratkog spoja, izvršće se kvalitativna analiza porasta dielektrične izdržljivosti i prelaznog povratnog napona.

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

vremenska promena dielektrične izdržljivosti ima oblik:

$$u_d(t) = U_{do} + S_d t \quad (6.54)$$

Dielektrična izdržljivosti prostora između kontakata uspostavlja se kao što je prikazano na slici 6.27. U slučaju zapreminskog gašenja luka kod prekidača sa zavisnom karakteristikom



Slika 6.27: Funkcija uspostavljanja dielektrične izdržljivosti

se može smatrati da je pad napona na luku približno konstantan i nezavistan od struje koja se prekida. U tom slučaju se može smatrati da je toplotna snaga koja se oslobadja na luku proporcionalna struji koja se prekida. Dielektrična izdržljivost između kontakata je obrnuto proporcionalna struji koja se prekida, odnosno:

$$u_d(t) = \frac{K_1}{I_k} + \frac{K_2}{I_k} t \quad (6.55)$$

Početna dielektrična izdržljivost i brzina porasta dielektrične izdržljivosti se smatraju da su obrnuto proporcionalni efektivnoj vrednosti struje  $I_k$  koja se prekida prema [15]:

$$U_{do} = K_1/I_k \quad S_d = K_2/I_k$$

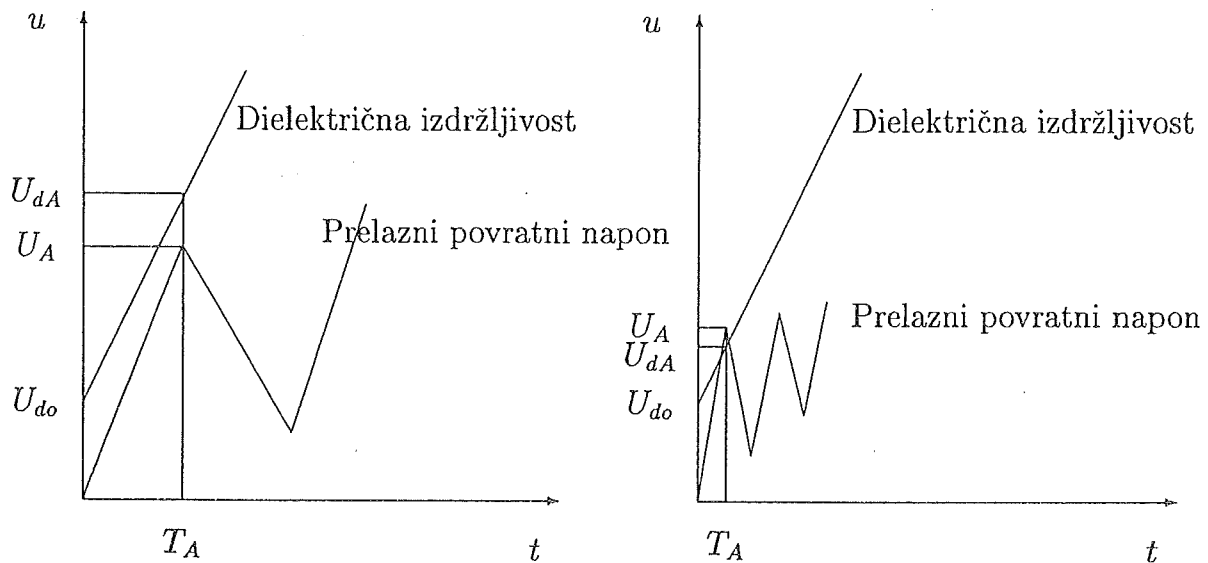
Koeficijenti  $K_1$  i  $K_2$  su konstante koje zavise od konstrukcije prekidača i uslova gašenja luka.

Na slici 6.28 prikazan je porast dielektrične izdržljivosti i početnog dela prelaznog povratnog napona.

Na slici 6.28 oznake imaju sledeće značenje:

$U_A$  - prvi maksimum prelaznog povratnog napona,

$U_{dA}$  - vrednost dielektrične izdržljivosti u trenutku prvog maksimuma prelaznog povratnog napona,



Slika 6.28: Porast dielektrične izdržljivosti i početnog dela prelaznog povratnog napona za različita rastojanja do mesta kvara (levo: duže rastojanje do mesta kvara, desno: kraće rastojanje do mesta kvara)

$T_A = 2d/v$  -trenutak nastupanja prvog maksimuma prelaznog povratnog napona posle dvostrukog vremena prostiranja od trenutka gašenja luka.

Na slici 6.28 levo prelazni povratni napon je niži od dielektričke izdržljivosti zbog male strmine, a na slici 6.28 desno je viši, pa bi u tom slučaju došlo do proboja između kontakata.

Kada se izračuna vrednost dielektrične izdržljivosti u trenutku prvog maksimuma prelaznog povratnog napona, dobija se:

$$U_{dA} = \frac{K_1 + K_2 T_A}{I_k} \quad (6.56)$$

Ako se vodi računa da prvi maksimum prelaznog povratnog napona nastaje u trenutku  $T_A = 2d/v$ , izraz 6.56 postaje:

$$U_{dA} = \frac{K_1}{I_k} + \frac{2K_2 d}{v I_k} \quad (6.57)$$

Pri zanemarenim omskim otporima struja kratkog spoja se može izraziti preko efektivne vrednosti elektromotorne sile i induktiviteta:

$$I_k = \frac{E}{\omega(L_1 + l_v d)} \quad (6.58)$$

Ako se zameni struja kratkog spoja iz izraza 6.58 u izraz 6.57 dobija se dielektrična izdržljivost u prvom maksimumu prelaznog povratnog napona u funkciji rastojanja do mesta kvara:

$$U_{dA} = \frac{\omega(L_1 + l_v d)}{E} \left( K_1 + \frac{2K_2 d}{v} \right) \quad (6.59)$$

Funkcionalna zavisnost dielektrične izdržljivosti u zavisnosti od rastojanja  $d$  do mesta kvara može se posle sredjivanja napisati u obliku sledeće kvadratne funkcije:

$$U_{dA} = a_0 + a_1 d + a_2 d^2 \quad (6.60)$$

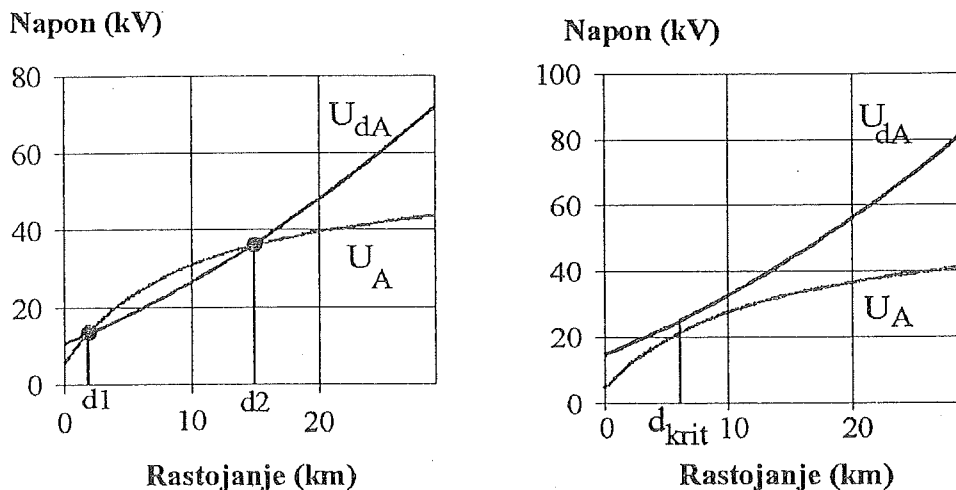
gde su:

$$a_0 = \omega K_1 L_1 / E \quad a_2 = 2\omega K_2 L_1 / v E + \omega K_1 l_v / E \quad a_3 = 2\omega K_2 l_v / v E$$

Prvi maksimum prelaznog povratnog napona, pri zanemarenom prigušenju i promeni napona sa strane izvora, prema izrazu 6.45, posle zamene izraza za struju kratkog spoja 6.58, ima sledeću vrednost:

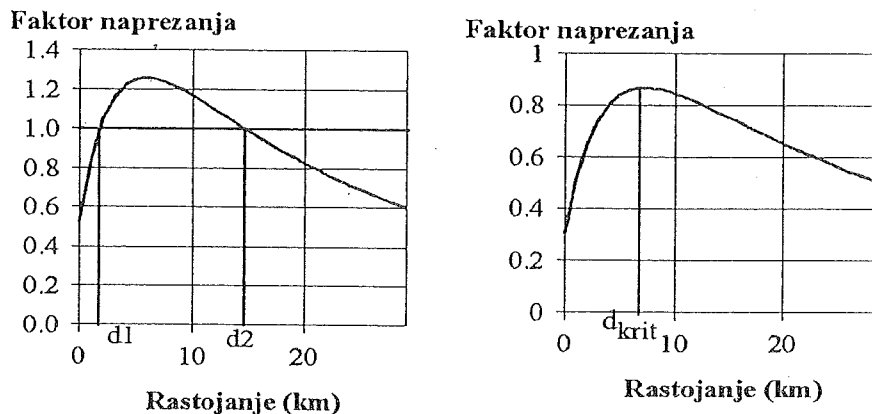
$$U_A = \frac{2\sqrt{2}l_v E d}{L_1 + d l_v} \quad (6.61)$$

Na slici 6.29 prikazana je zavisnost vrednosti prvog maksimuma prelaznog povratnog napona i vrednosti dielektrične izdržljivosti u trenutku nastupanja prvog maksimuma prelaznog povratnog napona, od udaljenosti do mesta kvara. Na slici levo prikazan je



Slika 6.29: Vrednost prvog maksimuma prelaznog povratnog napona i vrednost dielektrične izdržljivosti u trenutku nastupanja prvog maksimuma prelaznog povratnog napona u zavisnosti od udaljenosti do mesta kvara

slučaj kada se pojavljuje prelazni povratni napon  $U_A$  veći od dielektrične izdržljivosti u



Slika 6.30: Faktor naprezanja prekidača  $D$  u zavisnosti od udaljenosti do mesta kvara

opsegu dužina  $d_1$  i  $d_2$ , a na slici desno u potpunom opsegu dužina dielektrčka izdržljivost je veća od prelaznog povratnog napona u prvom maksimumu. Na osnovu dijagrama se može zaključiti da za slučaj na slici 6.29 levo postoji ugroženost prekidača kada kratak spoj nastupa u intervalu dužina  $d_1 \leq d \leq d_2$ . Na dijagramu desno ni za jednu dužinu ne postoji ugroženost prekidača, ali se pojavljuje maksimalno naprezanje pri rastojanju do mesta kvara  $d_{krit}$ . Količnik:

$$D = \frac{U_A}{U_{dA}} \quad (6.62)$$

nazivamo faktorom naprezanja prekidača pri bliskom kratkom spoju. Na slici 6.30 prikazan je faktor naprezanja za slučaj kada prekidač ne može da isključi kvar na udaljenosti  $d_1 \leq d \leq d_2$ , a na slici desno kada prekidač može sa isključi kratak spoj na svim udaljenostima. Prekidač uspešno prekida bliski kratak spoj uvek kada je ispunjen uslov da je faktor naprezanja  $D < 1$ .

### 6.3 Kratak spoj neposredno iza transformatora

Isključenje kratkog spoja koji se dogodio neposredno iza sekundara transformatora predstavlja jedan od nestandardnih slučajeva kratkih spojeva. Propisi ne zahtevaju od svakog prekidača da bude u stanju da izvrši ovu operaciju, već samo oni prekidači koji će u pogonu biti postavljeni u transformatorska polja. Na slici 6.31 prikazana je šema sistema u kome je moguća ova operacija. Oznake na slici 6.31 imaju sledeće značenje:

$S_1$  –sabitnice na strani višeg napona,

$S_2$  –sabitnice na strani nižeg napona,

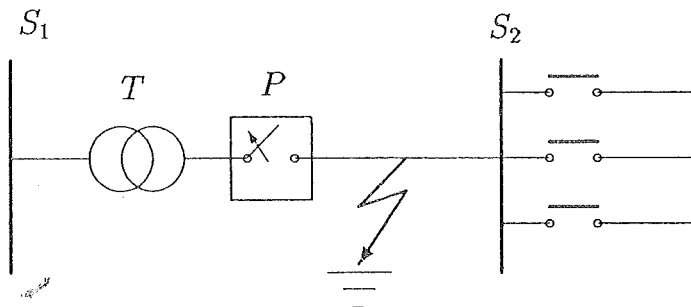
$P$  –prekidač koji obavlja isključenje,

$T$  –transformator na čijoj se sekundarnoj strani dogodio kratak spoj.

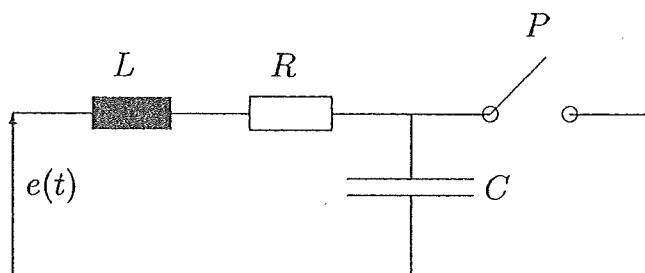
Monofazna zamenska šema ovoga sistema prikazana je na slici 6.32, koja je identična šemi na slici 6.2 pomoću koje je izvršena procena prelaznog povratnog napona pri sabirničkom kratkom spoju. Osnovna razlika između sabirničkog kratkog spoja i kratkog spoja iza sekundara transformatora je u tome što kondenzator  $C$  u šemi predstavlja ulaznu kapacitivnost sekundara transformatora, koja je mnogo manja od kapacitivnosti sabirnica. Ulazna kapacitivnost transformatora se kreće od 0,8 do  $10nF$ . Sopstvena učestanost prelaznog procesa  $\omega = 1/\sqrt{L_1 C_1}$  je zbog male kapacitivnosti veoma velika. Zbog toga je strmina prelaznog povratnog napona na prekidaču  $P$  u ovom slučaju znatno veća nego u slučaju sabirničkog kratkog spoja.

## 6.4 Vremenski tok struje kratkog spoja

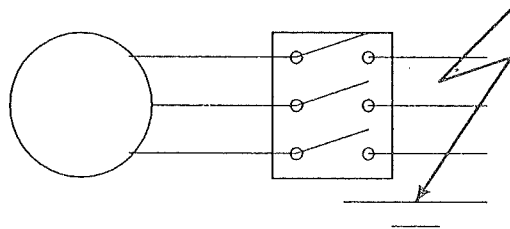
Vremenski tok struje kratkog spoja zavisi od udaljenosti mesta kratkog spoja od izvora. Ukoliko je kratak spoj nastupio u mreži na rastojanju takvom da generator ima značajan uticaj na oblik struje, tada je vremenski tok struje kvara složen i sastoji se od naizmenične komponente struje kvara čija se amplituda smanjuje sa vremenom i aperioidične komponente struje kvara. Šema sistema za koji se računa vremenska promena struje trolejnog kratkog spoja koji je nastupio neposredno iza priključaka generatora prikazana je na slici 6.33. Vremenska promena struje kvara na jednoj od faza (na primer fazi A) pri trolejnom kratkom spoju neposredno iza prekidača za šemu sa slike 6.33 data je izrazom 6.63 prema



Slika 6.31: Šema sistema u kome dolazi do isključenja kratkog spoja iza sekundara transformatora



Slika 6.32: Zamenska šema za određivanje prelaznog povratnog napona kod kratkog spoja neposredno iza transformatora



Slika 6.33: Šema sistema u kome se računa vremenska promena struje kvara

[31]:

$$\begin{aligned}
 i_A = & \frac{\sqrt{2}E_q}{x_d} \cos(\omega t + \alpha) + \sqrt{2} \left[ \left( \frac{E_q''}{X_d''} - \frac{E_q'}{X_d'} \right) e^{-t/T_d''} + \left( \frac{E_q'}{X_d'} - \frac{E_q}{X_d} \right) e^{-t/T_d'} \right] \cos(\omega t + \alpha) \\
 & + \sqrt{2} \left( \frac{E_q'}{X_d'} - \frac{E_q}{X_d} \right) e^{-t/T_d'} \sin(\omega t + \alpha) \\
 & - \frac{\sqrt{2}U}{2} \left[ \left( \frac{1}{X_d''} - \frac{1}{X_q''} \right) \cos(2\omega t + \alpha + \vartheta) + \left( \frac{1}{X_d''} + \frac{1}{X_q''} \right) \cos(\alpha - \vartheta) \right] e^{-t/T_d}
 \end{aligned} \quad (6.63)$$

Značenje simbola u izrazu 6.63 je sledeće:

$E_q$  –elektromotorna sila pobude koja je srazmerna struji pobude, pre nego što se kvar dogodio,

$U$  –napon na priključcima generatora pre nego što se kvar dogodio,

$X_d''$  –subtranzijentna reaktansa po  $d$  osi,

$X_d'$  – tranzijentna reaktansa po  $d$  osi,

$X_d$  – sinhrona reaktansa po  $d$  osi,

$X''_q$  - subtranzijentna reaktansa po  $q$  osi,

$X_q$  - sinhrona reaktansa po  $q$  osi,

$T''_d$  - subtranzijentna vremenska konstanta po  $d$  osi,

$T'_d$  - tranzijentna vremenska konstanta po  $d$  osi,

$T''_q$  - subtranzijentna vremenska konstanta po  $q$  osi,

$T_a$  - vremenska konstanta aperiodične komponente struje kratkog spoja,

$\alpha$  - ugao koji u trenutku kratkog spoja zaklapa osa namotaja pobude sa osom namotaja prve faze,

$\vartheta$  - ugao između vektora ems  $E_q$  i vektora napona  $U$ .

Elektromotorne sile u izrazu 6.63 dobijaju se iz sledećih izraza:

$$E''_q = U \cos(\vartheta) + X''_d I_d \quad (6.64)$$

$$E'_q = U \cos(\vartheta) + X'_d I_d \quad (6.65)$$

$$E''_d = U \sin(\vartheta) - X''_q I_q \quad (6.66)$$

$$E_d = U \sin(\vartheta) - X_q I_q = 0 \quad (6.67)$$

$I_d$  -komponenta struje statora projektovana na  $d$  osu,

$I_q$  -komponenta struje statora projektovana na  $q$  osu.

Prilikom izvodjenja analitičkog izraza za vremensku promenu struje troleznog kratkog spoja su učinjene određene pretpostavke:

- zanemaren je uticaj regulatora na vremensku promenu struje kratkog spoja,
- smatra se da je kratak spoj metalan,
- brzina obrtanja rotora se za vreme kratkog spoja ne menja,
- uticaj zasićenja magnetnog kola se uzima uprošćeno,
- uticaj otpornosti statora je zanemaren,
- smatra se da su subtranzijentne reaktanse po  $d$  i  $q$  osi međusobno jednake, odnosno:





se udarnom strujom kratkog spoja. Ova veličina je značajna za procenu dinamičkih sila koje deluju na provodnike kroz koje protiče struja kratkog spoja. U trenutku  $T$  dolazi do isključenja prekidača. U tom trenutku amplituda naizmenične komponente struje kvara je  $I_{MAC}$ , a aperiodične komponente struje kvara  $I_{DC}$ . Efektivna vrednost struje  $I_{AC} = I_{MAC}/\sqrt{2}$  se naziva simetričnom strujom kvara. Veoma je važno definisati koliki je najveći dozvoljeni procenat aperiodične struje kvara u odnosu na simetričnu struju koja se još naziva i periodičnom ili naizmeničnom strujom kvara.

Pod vremenom isključenja  $T$  koje definiše trenutak gašenja luka u komori prekidača podrazumeva se vreme razdvajanja kontakata prekidača na koje se dodaje još jedna poluperioda struje industrijske frekvencije, prema [32]. Procenat asimetrije se definiše izrazom 6.69:

$$p(\%) = \frac{I_{DC}}{I_{MAC}} \times 100 \quad (6.69)$$

Prekidači moraju biti u stanju da prekidaju asimetričnu struju. Osim toga sva oprema, pa i prekidači moraju da izdrže povećana mehanička i termička naprezanja usled dejstva asimetrične struje. Efektivna vrednost asimetrične struje izračunava se iz izraza:

$$I_{asim} = I_{AC}(1 + 2p^2) \quad (6.70)$$

gde su:

$I_{asim}$  –efektivna vrednost asimetrične struje kratkog spoja,

$I_{AC}$  –efektivna vrednost simetrične struje kratkog spoja,

$I_{MAC}$  –temena vrednost simetrične struje kratkog spoja.

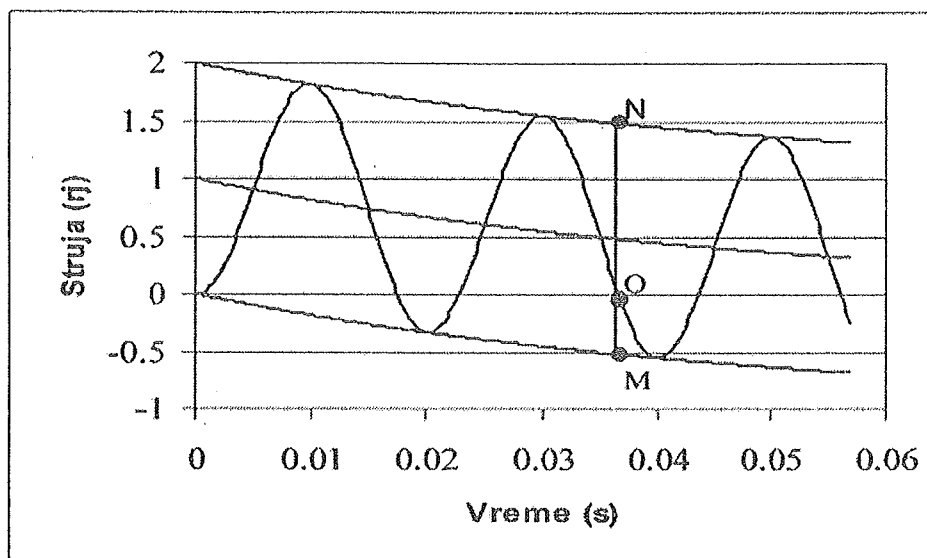
Grafičko odredjivanje simetrične i aperiodične komponente struje kvara iz dijagrama vremenskog toka struje kvara objašnjeno je na slici 6.36. Procenat asimetrije se odredjuje iz izraza:

$$p(\%) = \frac{I_{DC}}{I_{MAC}} \times 100 = \frac{ON - OM}{MN} \times 100 \quad (6.71)$$

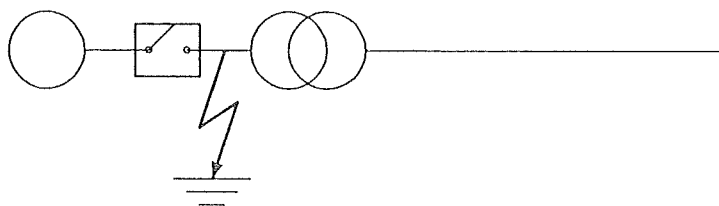
Na osnovu izračunatog procenta asimetrije odredjuje se efektivna vrednost asimetrične struje prema izrazu 6.70 koja definiše prekidnu moć prekidača.

## 6.5 Kratak spoj u blizini generatora

Ukoliko se dugačak neopterećen vod napaja direktno iz elektrane, pa dodje do kratkog spoja u blizini generatora, tada se pojavljuje posebna teškoća prilikom isključenja kratkog



Slika 6.36: Grafičko određivanje simetrične i aperioidične struje kvara



Slika 6.37: Šema sistema pri kratkom spoju u blizini generatora koji je prethodno radio u kapacitivnom režimu

spoja generatorskim prekidačem, ukoliko se on primenjuje. Šema sistema prikazana je na slici 6.37.

U slučaju kada je pre kratkog spoja generator bio kapacitivno opterećen, vektorski dijagram napona izgleda kao na slici 6.38. Može se uočiti da pri kratkom spoju, kojem je prethodilo kapacitivno opterećenje generatora, dolazi do promene ugla  $\varphi$  između napona  $U$  i ems  $E_q$  i do značajnog porasta napona  $U$  u odnosu na ems  $E_q$ . Zbog toga prema izrazu 6.63 član koji predstavlja aperioidičnu komponentu postaje veći od člana koji predstavlja simetričnu struju kvara u početnom trenutku. Zbog toga se može dogoditi da u prvih nekoliko perioda struje kratkog spoja ne dolazi do prirodnog prolaska struje kroz nulu zbog izražene aperioidične komponente struje kvara. Na slici 6.39 prikazan je vremenski tok struje u slučaju kratkog spoja na generatorskim šinama kada je generator prethodno radio u kapacitivnom režimu. U ovom slučaju izraženu teškoću u prekidanju struje predstavlja odložen prolazak struje kroz nulu. Ukoliko su kontakti prekidača započeli otvaranje, a

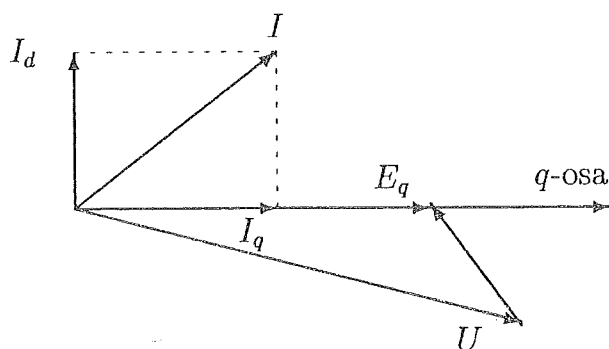
struja ima zakašnjen prolazak kroz nulu, pojavljuju se izuzetno velika termička naprezanja u komori za gašenje luka. Sa slike 6.39 može se uočiti da u prvih četiri periode struja ne prolazi kroz nulu. Problem je utoliko veći ukoliko je vremenska konstanta aperioidične komponente struje veća. Ovaj problem se rešava konstrukcijama prekidača koji su u stanju da povećanim otporom luka u komori utiču na brže prigušenje aperioidične komponente struje kvara.

## 6.6 Isključenje sistema koji su van sinhronizma

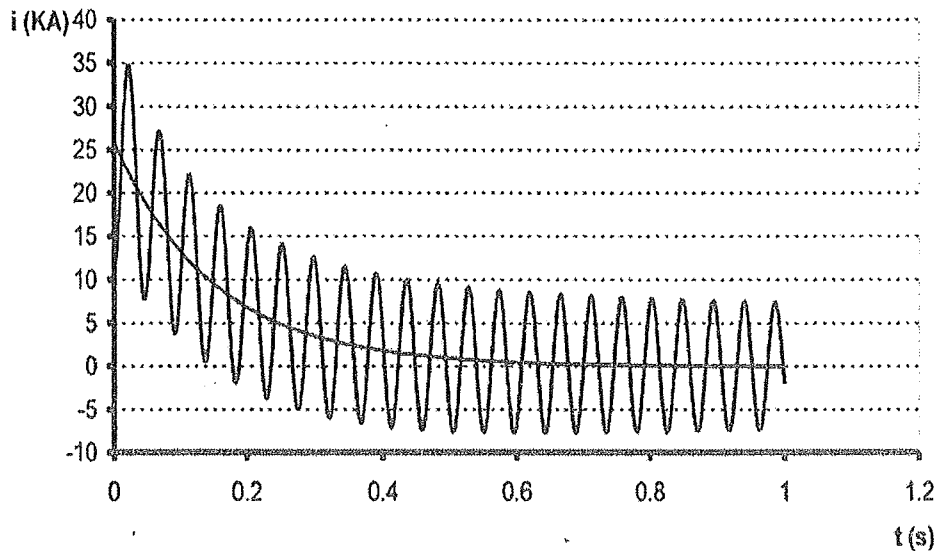
Jedna od veoma teških operacija koja se može pojaviti u eksploataciji prekidača je isključivanje dva sistema koja su van sinhronizma, što može dovesti do toga da se isključenje dogodi baš u trenutku kada su faze u opoziciji. Uslovi za nastanak isključivanja sistema koji su van sinhronizma mogu da budu sledeći:

- Uključenje generatora na sistem sa pogrešnim faznim uglom (videti sliku 6.40 a),
- Ispad dva sistema iz sinhronizma (videti sliku 6.40 b).

Na slici 6.40 a) zbog uključenja prekidača  $P_2$  pod pogrešnim faznim uglom na sabirnice  $S$  na kojima radi blok generator-transformator  $G_1$  i  $T_1$  dolazi do pojave velike struje kao posledica delovanja elektromotornih sila koje su medjusobno fazno pomerene. Zbog velike struje deluje zaštita koja dovodi do isključenja sistema koji su van sinhronizma. Kod ispada dva sistema iz sinhronizma deluje zaštita i prekidač  $P$  na slici 6.40 b) isključuje. Pri isključenju sistema van sinhronizma se mogu razlikovati dva slučaja:



Slika 6.38: Vektorski dijagram napona i struja pri kratkom spoju u blizini generatora koji je prethodno radio u kapacitivnom režimu



Slika 6.39: Vremenski tok struje kvara pri kratkom spoju u blizini generatora koji je prethodno radio u kapacitivnom režimu

- sistemi su sa uzemljenom neutralnom tačkom,
- sistemi su sa izolovanom neutralnom tačkom.

Na slici 6.41 prikazane su zamenske šeme i vektorski dijagrami kada su sistemi sa uzemljenom i sa izolovanom neutralnom tačkom. U slučaju uzemljenih sistema, kada do isključenja struje dolazi u trenutku kada su vektori elektromotornih sila u opoziciji, maksimalni povratni napon industrijske frekvencije jednak je dvostrukoj vrednosti elektromotorne sile.

$$u_{pn} = 2E_m \quad (6.72)$$

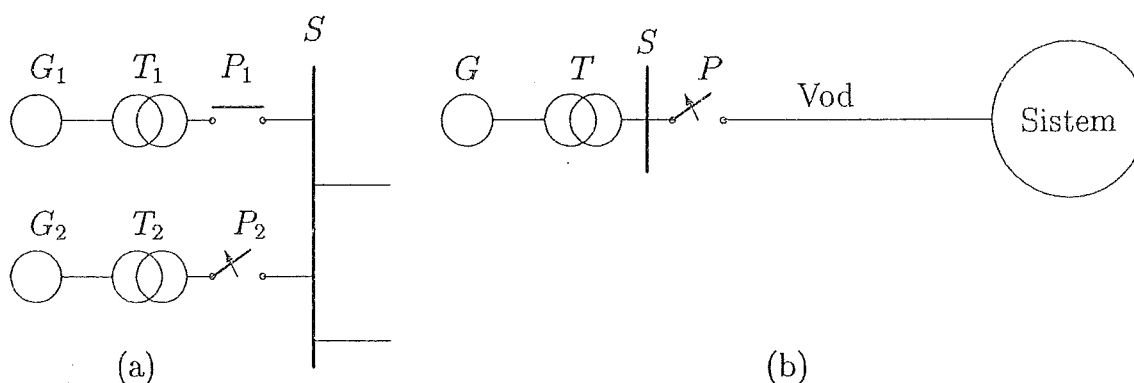
U slučaju izolovanih sistema maksimalni povratni napon ima trostruku vrednost elektromotorne sile, odnosno:

$$u_{pn} = 3E_m \quad (6.73)$$

Struja bliskog kratkog spoja  $I_{ks}$  koja teče kroz mesto kvara, ukoliko se smatra da je uticaj otpornosti na struju kvara zanemarljiv, iznosi:

$$I_{ks} = \frac{E_1}{X_1} + \frac{E_2}{X_2} \quad (6.74)$$

gde su:



Slika 6.40: Isključenje nesinhronizovanih sistema: a) kod uključenja generatora sa pogrešnim faznim uglom, b) ispad dva sistema iz sinhronizma

$E_1, E_2$  –elektromotorne sile sistema levo i desno od prekidača,

$X_1, X_2$  –reaktanse sistema levo i desno od prekidača.

Struja koju prekidač mora da prekine bila bi jedna od sledeće dve struje u zavisnosti sa koje strane prekidača se dogodio kratak spoj:

$$I_{ks1P} = E_1/X_1 \quad (6.75)$$

$$I_{ks2P} = E_2/X_2 \quad (6.76)$$

Ukoliko su elektromotorne sile i impedanse sistema identične, struja kratkog spoja bi bila:

$$I_{ksp} = \frac{E_1}{X_1} \quad (6.77)$$

U slučaju potpune opozicije faza u kolu bi tekla struja:

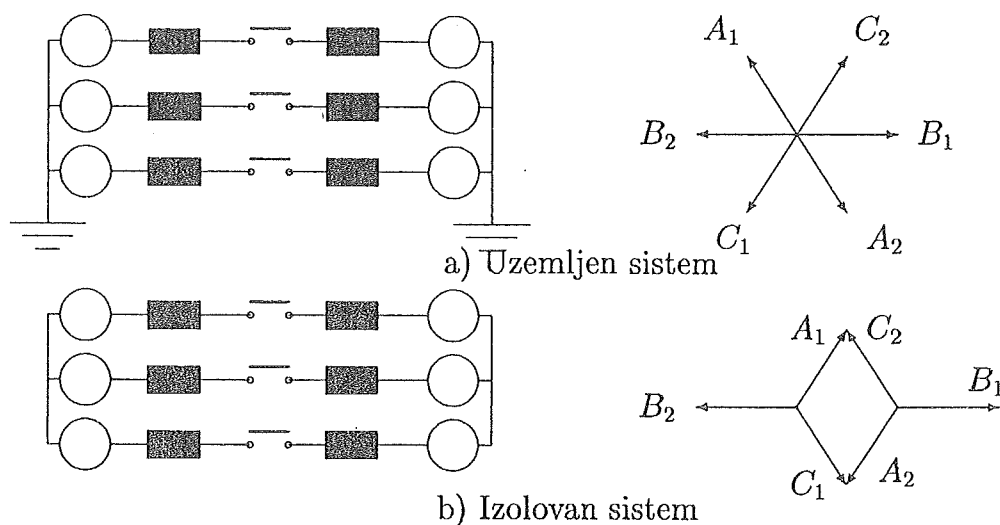
$$I_{op} = \frac{E_1 - E_2}{X_1 + X_2} = \frac{|E_1| + |E_2|}{X_1 + X_2} \quad (6.78)$$

Ukoliko se smatra da su elektromotorne sile i reaktanse identične, tada je:

$$I_{op} = \frac{E_1}{X_1} \quad (6.79)$$

Može se uočiti da je struja koju prekidač treba da prekine u slučaju potpune opozicije faza identična struji koju prekidač prekida u slučaju kratkog spoja.

Da bi se odredili prelazni povratni naponi pri opoziciji faza u slučaju ispada iz sinhronizma, posmatra se monofazna zamenska šema koja odgovara trofaznoj šemi kao na



Slika 6.41: Zamenska šema i vektorski dijagrami za a) uzemljene sisteme, b) izolovane sisteme

slici 6.40, s tim što su razmatrani slučajevi veoma različitih (levo) i identičnih impedansi (desno) sa obe strane prekidača. Pri tome se zanemaruje uticaj otpornosti, pa su impedanse zamenjene samo reaktansama. Ukupan napon između izvora  $G_1$  i  $G_2$  pri potpunoj opoziciji faza deli se u odnosu reaktansi, tako da je odnos pada napona od generatora  $G_1$  do prekidača  $U_1$ , a od prekidača do generatora  $G_2$  je  $U_2$ . Posle isključenja prekidača napon na svakom od kontakata u ustaljenom stanju biće izjednačen sa elektromotornom silom izvora. Na slici 6.42 dole prikazan je profil napona duž voda za ova dva slučaja. Može se smatrati da su naponi  $U_1$  i  $U_2$  srazmerni reaktansama sistema  $X_1$  i  $X_2$ , odnosno:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{X_1}{X_2} \quad (6.80)$$

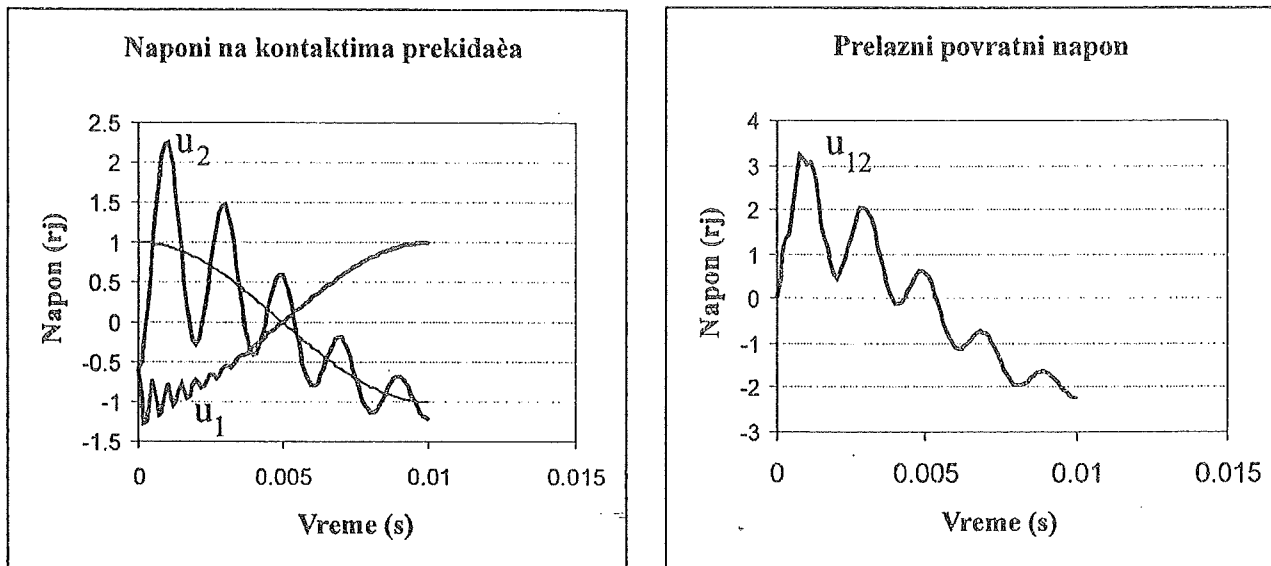
Nakon gašenja luka dolazi do pojave slobodnih oscilacija sa obe strane prekidača, sa vlastitim kružnim učestanostima  $\omega_1$  i  $\omega_2$ , koje se mogu smatrati srazmernim reaktansama  $X_1$  i  $X_2$ , odnosno:

$$\frac{X_1}{X_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\sqrt{L_2 C_2}}{\sqrt{L_1 C_1}} \quad (6.81)$$

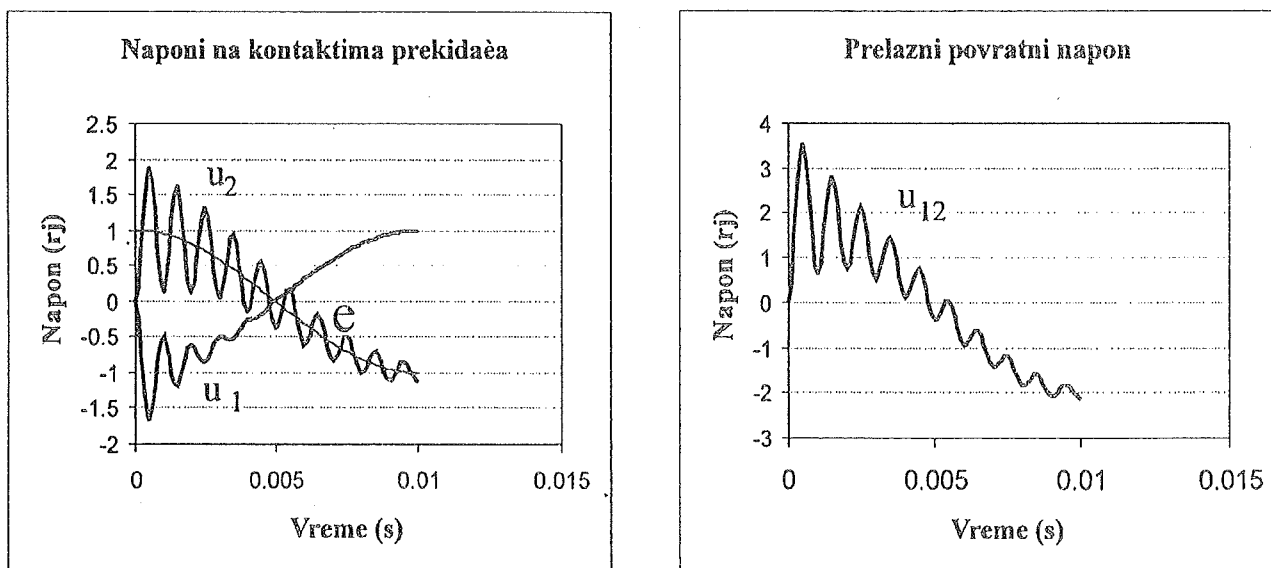
Obično većoj reaktansi odgovara veći kapacitet (duža deonica voda), stoga se i sopstvene učestanosti odnose kao reaktanse. Nakon gašenja luka napon sa obe strane prekidača teži da dostigne elektromotornu silu izvora, pa je amplituda slobodnih oscilacija jednaka padovima naponima  $U_1$  i  $U_2$ . Na slici 6.43 prikazan je slučaj kada je odnos impedansi  $X_1/X_2 = 1/4$ . Na slici levo prikazani su naponi  $u_1(t)$  i  $u_2(t)$  na levom i desnom kontaktu prekidača, a na slici desno prelazni povratni napon. Sa slike 6.43 se može uočiti da je početna strmina prelaznog povratnog napona usled dejstva prelazne komponente napona







Slika 6.43: Naponi sa na kontaktima (levo) i prelazni povratni napon (desno) kod opozicije faza i odnosa impedansi 1/4



Slika 6.44: Naponi sa na kontaktima (levo) i prelazni povratni napon (desno) kod opozicije faza i jednakih impedansi