



## FEROREZONANCIJA U TROFAZNOJ MREŽI S IZOLIRANOM NULTOČKOM

### SAŽETAK

U izoliranim mrežama srednjeg napona, potaknute prolaznim zemljospojevima ili strujama uklapanja naponskih transformatora, javljaju se ferorezonantne pojave. To su nelinearne rezonantne pojave između nelinearnih induktiviteta jednopolno izoliranih naponskih transformatora i kapaciteta mreže. Osnovne su im značajke dugotrajnost, visoki naponi prema zemlji uz nepromijenjene linijske napone i visoke struje kroz primare jednopolno izoliranih naponskih transformatora. Ferorezonancija termički ugrožava osobito epoksidne naponske transformatore. Efikasno ju je moguće spriječiti ugradnjom prikladno dimenzioniranog otpornika u otvoreni trokut pomoćnih namota grupe od tri jednopolno izolirana naponska transformatora.

**Ključne riječi:** ferorezonancija, izolirana mreža, paralelna ferorezonancija

## FERRORESONANCE IN NETWORKS WITH ISOLATED NEUTRAL

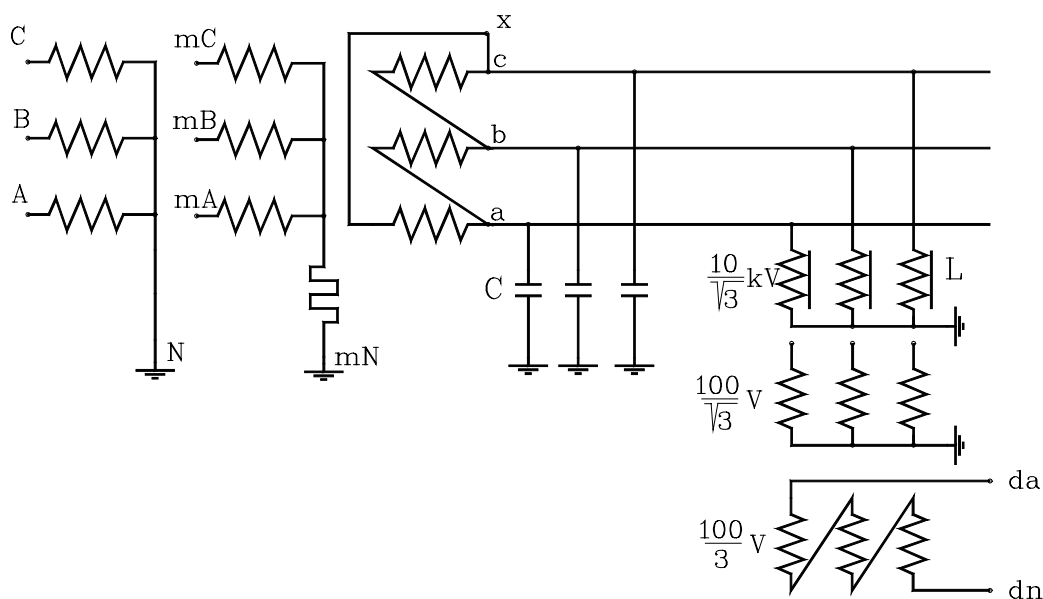
### ABSTRACT

Ferroresonance occurs in isolated medium-voltage networks due to temporary earth faults or voltage transformer inrush currents. It is a nonlinear resonant phenomenon between nonlinear inductance of earthed voltage transformers and network capacity. The main features of ferroresonance are its long duration, high voltages to earth at unchanged line voltages, and high currents through primaries of earthed voltage transformers. Epoxy voltage transformers are especially thermally endangered by ferroresonance. It can be effectively prevented by installation of a well-dimensioned resistor in the open delta winding of the group of three earthed voltage transformers.

**Key words:** ferroresonance, isolated neutral system, parallel ferroresonance

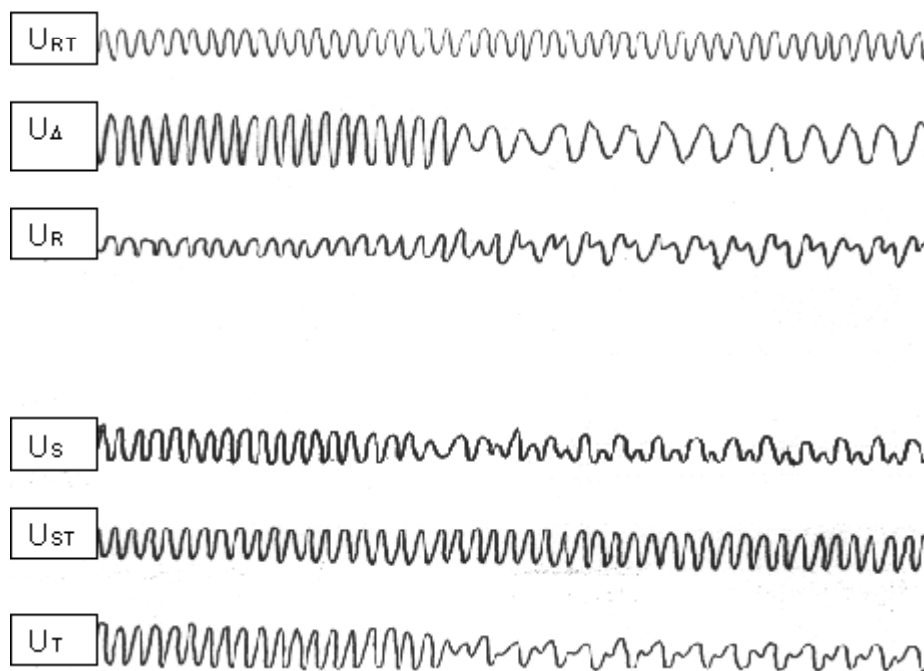
### 1. UVOD

U trofaznoj mreži s izoliranom nultočkom i jednopolno izoliranim naponskim induktivnim transformatorima (slika 1) moguća je ferorezonancija, nelinearna rezonantna pojava koja nastaje između kapaciteta mreže prema zemlji i nelinearnih induktiviteta jednopolno izoliranih naponskih transformatora. Manifestira se dugotrajnim povišenjem faznih napona izolirane mreže prema zemlji, dok linijski naponi ostaju nepromijenjeni. To znači da trokut napona titra prema zemlji zadržavajući svoje dimenzije i fazni pomak. Drugim riječima, za vrijeme ferorezonancije, sva tri fazna napona mrežne frekvencije dobivaju jednaku istofaznu komponentu napona titranja trokuta linijskih napona prema zemlji. Frekvencija tog nultog (istofaznog) titranja može, ali ne mora, biti jednaka frekvenciji mreže. Ako je frekvencija nultog titranja jednaka frekvenciji mreže, tada govorimo o ferorezonanciji s osnovnim harmonikom. Pri ferorezonanciji s osnovnim harmonikom amplitude dva fazna napona su i do 3 puta veće od amplitude nazivnog faznog napona, a amplituda trećeg faznog napona je znatno manja.



Slika 1: Izolirana mreža tercijara koji se tereti, s jednodolno izoliranim naponskim transformatorima.

Uz ferorezonanciju s osnovnim harmonikom, u izoliranom sustavu tercijara javlja se i ferorezonancija drugog subharmonika. To je pojava kada trokut napona tercijara titra prema zemlji frekvencijom od oko 25 Hz.



Slika 2: Oscilogram ferorezonancije na tercijaru u osječkoj plinskoj elektrani. Dok traje ferorezonancija s frekvencijom mreže, dva su fazna napona ( $U_S$  i  $U_T$ ) oko 2,5 puta viša od nazivnog faznog napona, dok je treći fazni napon ( $U_R$ ) manji, a iznos mu određuju prva dva napona i uvjet da se trokut napona ne mijenja ni po iznosu niti po fazi. Kada ferorezonancija s osnovnim harmonikom prijeđe u ferorezonanciju s drugim subharmonikom, fazni su naponi suma simetričnih faznih napona frekvencije mreže i istofaznog titranja trokuta napona tercijara prema zemlji dvostruko nižom frekvencijom. Rezultantni su fazni naponi ( $U_R$ ,  $U_S$  i  $U_T$ ) tada podjednaki.

Pri ferorezonanciji s drugim subharmonikom, fazni naponi tercijara su suma odgovarajućih simetričnih faznih napona tercijara frekvencije mreže i obično nešto višeg napona dvostruko niže frekvencije, tako da je vršna vrijednost ovakvih ferorezonantnih napona obično nešto veća od dvostruke amplitude faznih napona osnovne frekvencije. Slika 2 pokazuje pojavu ferorezonancije snimljene u osječkoj plinskoj elektrani prilikom uključivanja jedne trofazne grupe jednopolno izoliranih naponskih transformatora na 6 kV-nu izoliranu mrežu (snimio Željko Modrić dipl. ing., HEP, Prijenosno područje Osijek). Snimljena su sva tri fazna napona prema zemlji  $U_R$ ,  $U_S$  i  $U_T$ , dva linijska napona  $U_{RT}$  i  $U_{ST}$  i napon na otvorenom trokutu pomoćnih namota  $U_{\Delta}$ . Napon  $U_{\Delta}$  je suma napona induciranih u sva tri naponska transformatora, tako da je pri jednakim faznim naponima jednak nuli, a svaki pomak trokuta prema potencijalu zemlje pokazuje u trostrukom iznosu, tako da pri ferorezonanciji pokazuje trostruki iznos amplitude napona kojim sustav titra prema zemlji. U promatranom slučaju, ferorezonancija je potaknuta strujom uklapanja naponskih transformatora, koji su rastavljačem uklapani na mrežu tercijara. Najprije se pojavila ferorezonancija s osnovnim harmonikom, ali se nije uspjela održati pa je prešla u ferorezonanciju s drugim subharmonikom. Najbolje se to vidi iz oscilograma  $U_{\Delta}$  na slici 2.

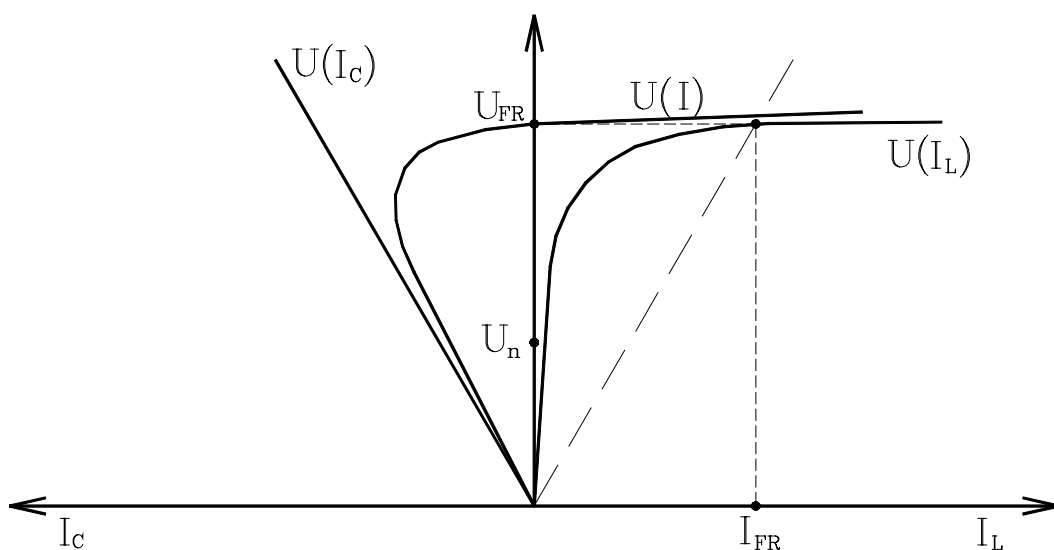
## 2. JEDNOPOLNO ISOLIRANI NAPONSKI TRANSFORMATORI

Jednopolno izolirani naponski transformatori predviđeni za rad u izoliranoj mreži, uz primarni i sekundarni, redovito imaju pomoćni namotaj nazivnog napona 100/3 V. Razmatrat će se slučaj kada je sekundar neopterećen, jer suvremena zaštita praktički sve manje opterećuje naponski transformator. U grupi od tri naponska transformatora, pomoćni se namotaji spajaju u zajednički otvoreni trokut (sl. 1). Ako se dogodi zemni spoj jedne faze, njen napon prema zemlji pada na nulu, naponi neuzemljenih faza rastu na iznos linijskih napona, a fazni se pomak između njih sa  $120^\circ$  smanjuje na  $60^\circ$ . U tim uvjetima suma napona u otvorenom trokutu pomoćnih namota jednaka je trostrukom nazivnom faznom naponu i iznosi 100 V. Taj se napon koristi kao signal za indikaciju zemnog spoja.

Izolirana mreža sasvim dobro funkcionira i sa zemljospojem. Trajni zemljospoj nije dobar utoliko što je sljedeći zemni spoj ujedno i međufazni kratki spoj. Zato se zemni spoj ne ostavlja trajno, ali se ne mora odmah isključiti, nego se isključenje može odgoditi do pogodnijeg trenutka. To je razlog da se jednopolno izolirani naponski transformatori za izoliranu mrežu rade za naponski faktor  $V_f = 1,9/8$  sati. Oni se tijekom 8 sati, opterećeni nazivnim teretom i priključeni na 1,9 nazivnog napona ne smiju pregrijati. Zato je nazivna indukcija takvih naponskih transformatora relativno niska i kreće se oko 0,8T.

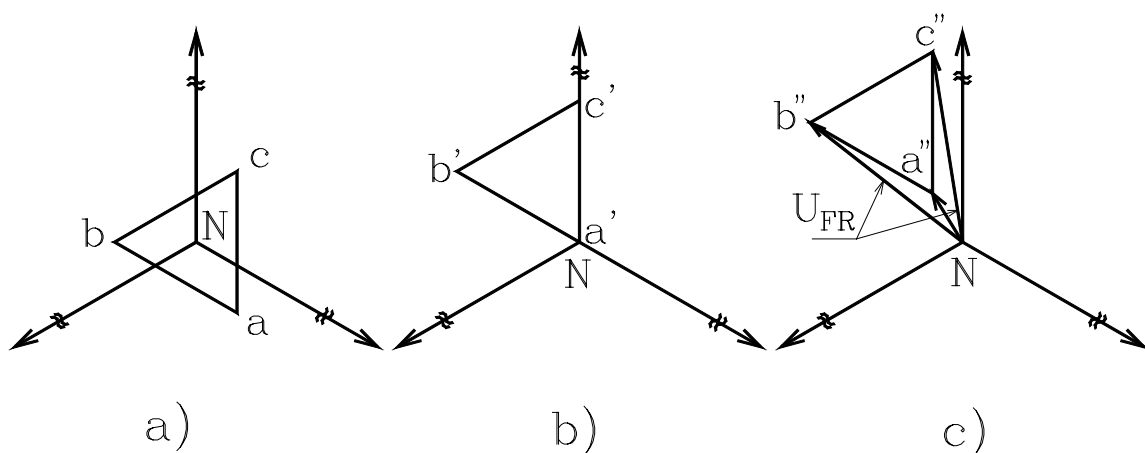
## 3. FEROREZONANCIJA

Na slici 3, u prvom je kvadrantu krivulja magnetiziranja jednog takvog naponskog transformatora, koja prikazuje struju praznog hoda  $I_L$  u ovisnosti o narinutom naponu nazivne frekvencije, a u drugom kvadrantu je kapacitivna struja  $I_C$  kroz dozemni kapacitet  $C$  jedne faze izolirane mreže u ovisnosti o istom naponu i pri istoj frekvenciji. Pri nazivnom naponu, redovito dominira kapacitivna struja, tako da je i suma struja kroz naponski transformator i kroz dozemni kapacitet  $I = I_L + I_C$  redovito kapacitivna. Budući da krivulja magnetiziranja s porastom napona ulazi u zasićenje, sumarna struja nakon određenog iznosa faznog napona postaje induktivna, kako to pokazuje krivulja  $U(I)$  na slici 3. Postoji dakle i takav napon frekvencije mreže pri kojem je suma struja kroz naponski transformator i kroz dozemni kapacitet jedne faze jednaka nuli. To je napon paralelne ferorezonancije  $U_{FR}$  naponskog transformatora i dozemnog kapaciteta jedne faze izolirane mreže, pri kojem struja ferorezonancije  $I_{FR}$  cirkulira između kapaciteta  $C$  i nelinearnog induktiviteta naponskog transformatora. Napon ferorezonancije  $U_{FR}$  je i do tri puta viši od nazivnog napona naponskog transformatora, a struja ferorezonancije  $I_{FR}$  znatno nadilazi dozvoljenu struju primara naponskog transformatora i termički ga ugrožava. Ferorezonancija je osobito opasna za suvremene epoksidne naponske transformatora jer izaziva termičku dilataciju primarnog namota koju kruti oklop naponskog transformatora ne može izdržati i zato puca.



Slika 3: Struja magnetiziranja naponskog transformatora  $I_L$  i kapacitivna struja  $I_C$  jedne faze mreže u ovisnosti o istom naponu pri frekvenciji mreže, napon ferorezonancije  $U_{FR}$  pri ferorezonanciji s osnovnim harmonikom i odgovarajuća struja ferorezonancije  $I_{FR}$ .

Za sklop čije karakteristike pokazuje slika 3 kažemo da je sklon paralelnoj ferorezonanciji. Da bi se ferorezonancija dogodila, potreban je poticaj koji će sklop odvesti u ferorezonanciju. Kada bi mreža bila uzemljena bilo direktno ili putem malog otpora, fazni naponi bi bili čvrsti i ne bi bilo moguće doći do točke ferorezonancije. U izoliranoj mreži, međutim, dovoljno je prolaznim zemnim spojem zatirati potencijal izolirane mreže prema zemlji, pa da se dogodi ferorezonancija.



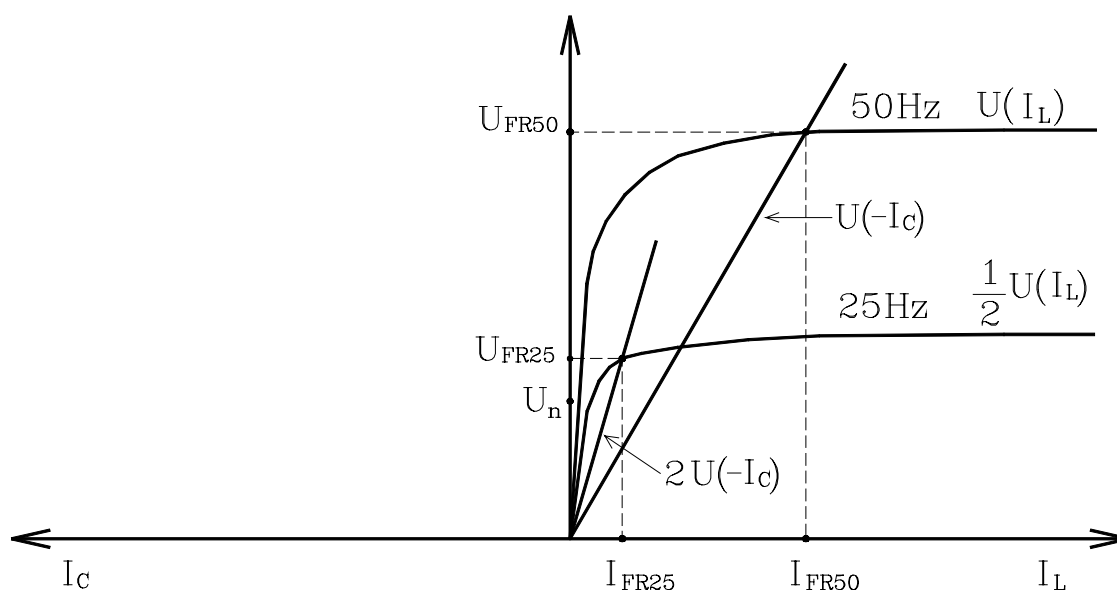
Slika 4: Trokut napona izolirane mreže a) u simetričnom položaju, b) pri zemnom spoju faze a i c) pri ferorezonanciji s frekvencijom mreže.

Trokut napona se translacija tako da zadrži dimenzije i fazni pomak linijskih napona, pri čemu dva fazna napona dosegnu iznos  $U_{FR}$ , a treći, onaj koji je bio u zemnom spoju, manji je i određen je udaljenošću tog vrha trokuta od zajedničke nultočke na potencijalu zemlje (sl. 4).

Poticaaj može biti i manipulacija uklapanja postrojenja na napon. Kao i svaki transformator, naponski transformator ima svoju struju uklapanja ovisnu o trenutku uklapanja u odnosu na sinusoidu napona. Zbog faznih pomaka prirodno je da su struje uklapanja različitog intenziteta. Nejednake struje uklapanja dovoljne su da zatitraju izolirani sustav u odnosu na zemlju i odvedu ga u ferorezonanciju. Ako manipulacija uklapanja naponskih transformatora dovede do ferorezonancije s frekvencijom mreže, prirodno je očekivati, da najmanji fazni napon ima naponski transformator koji je povukao najveću struju uklapanja.

Kako se vidi iz oscilograma na slici 2, osim ferorezonancije s frekvencijom mreže, u istom sustavu moguća je i ferorezonancija pri kojoj trokut napona titra prema zemlji s dvostruko nižom frekvencijom. To je ferorezonancija s drugim subharmonikom, pri kojoj se rezultatni fazni naponi sastoje od odgovarajućeg faznog napona osnovne frekvencije i uvijek istog nultog (istofaznog) napona drugog subharmonika. Približni iznos efektivne vrijednosti napona drugog subharmonika dobivamo tako da potražimo rezonanciju pri dvostruko nižoj frekvenciji (25 Hz) između nelinearnog induktiviteta naponskog transformatora i kapaciteta  $C$ , kako je to učinjeno na slici 5. Amplituda napona drugog subharmonika obično je nešto veća od amplitude faznog napona frekvencije mreže. Zbrajanjem ovih dvaju napona dobivaju se oblici kao na oscilogramima  $U_R$ ,  $U_S$  i  $U_T$  sa slike 2. U trokutu pomoćnih namota, simetrične komponente faznih napona frekvencije mreže zajedno daju nulu, pa ostaje samo trostruka komponenta napona drugog subharmonika, kako se vidi na oscilogramu  $U_{\Delta}$  sa slike 2.

Releji za dojavu zemnog spoja priključuje se na otvoreni trokut pomoćnih namota. Na tom se mjestu prilikom zemnog spoja jedne faze javlja napon od 100 V, prilikom ferorezonancije s drugim subharmonikom taj napon je nešto viši (oko 120 V), a pri ferorezonanciji s osnovnim harmonikom dvostruko je viši (oko 200 V). Na sve navedene napone relej za dojavu zemnog spoja reagira jednako, pa nije čudno da se ponekad uzalud traži mjesto zemnog spoja kojeg zapravo nije bilo. Zato kada se nakon dojave zemnog spoja ne može naći mjesto zemnog spoja, opravdano je pretpostaviti da je to bila ferorezonancija. Nakon postavljanja otpornika za prigušenje ferorezonancije u otvoreni trokut pomoćnih namota, neće više biti lažnih dojava zemljospoja.



Slika 5: Određivanje efektivne vrijednosti napona drugog subharmonika.

Tijekom ferorezonancije osnovnog harmonika magnetska indukcija u naponskom transformatoru je vrlo visoka, jezgra bruji, struja magnetiziranja višestruko je veća od trajne termičke struje, primarni namot se pregrijava i njegova termička dilatacija razara oklop epoksidnog naponskog transformatora. Zabilježeno je vrijeme od 25 minuta prilikom ferorezonancije 30 kV postrojenja u Jadranskoj željezari u Splitu [L1] te oko jedna i pol minuta u 10 kV postrojenju koje napaja ispitnu stanicu tvornice Končar-Distributivni i specijalni transformatori u Zagrebu [L2]. U uljnim mjernim transformatorima uništenje

transformatora nastupa kada izgori izolacija primarnog namota, a to obično traje dulje nego u epoksidnim naponskim transformatorima.

Dešava se da se ferorezonancija sama ugasi, ali najčešće traje do unuštenja većine mjernih transformatora priključenih na iste sabirnice ili do isključenja, najčešće zbog lažne dojave zemnog spoja. Nije svaki izolirani trofazni sustav sklon ferorezonanciji. Ta sklonost ovisi o krivulji magnetiziranja naponskih transformatora i o kapacitetu postrojenja prema zemlji.

#### 4. KAKO ONEMOGUĆITI NASTANAK FEROREZONANCIJE?

Moguće je u svakom konkretnom slučaju istraživati da li je postrojenje u određenoj konfiguraciji sklono ferorezonanciji, ali to nije ekonomično. Mnogo je jednostavnije i neusporedivo ekonomičnije onemogućiti nastanak ferorezonancije.

Da bi se dogodila ferorezonancija mora postojati sklonost sustava ferorezonanciji i poticaj koji je u stanju sustav dovesti do ferorezonancije. Poticaj je zapravo količina energije koju treba ubaciti u sustav, da bi ga se gurnulo u ferorezonanciju. Ideja kako izbjeći ferorezonanciju zasniva se na tome, da se energija poticaja, ako se pojavi u sustavu, što brže potroši i tako onemogući nastajanje ferorezonancije. Efikasno se to postiže ugradnjom odgovarajućeg otpornika u otvoreni trokut pomoćnih namota grupe naponskih transformatora. Budući da je u normalnom pogonu napon na otvorenom trokutu nula, otpornik ne opterećuje naponske transformatore i ne utječe na točnost, sve dok ne dođe do translacije trokuta napona prema zemlji.

Za dimenzioniranje otpornika  $R$  u otvorenom trokutu postoje dva kriterija. Prvi je kriterij da pri trajnom zemnom spoju u postrojenju, kada se na otvorenom trokutu, pa prema tome i na otporniku  $R$  javlja napon 100 V, struja ne smije biti veća od trajne termičke struje pomoćnog namota. Ta je struja u Končarevim epoksidnim naponskim transformatorima oko 3,5 A. Po tom kriteriju iznos otpora  $R$  ne smije biti manji od  $100/3,5 = 28,6 \Omega$ . Drugi kriterij slijedi iz uvjeta da energiju poticaja treba što prije potrošiti. Gubici u grupi naponskih transformatora zbog zatvaranja otvorenog trokuta pomoćnih namota preko otpora  $R$  određeni su izrazom:

$$P_g = \frac{U_{\Delta}^2 \cdot (R + 3R_3)}{(R + 3R_3)^2 + (3\omega L_{3\sigma})^2} \quad (1)$$

koji postiže svoj maksimum pri:

$$R = 3 \cdot (\alpha L_{3\sigma} - R_3) \quad (2)$$

pri čemu je :

- $U_{\Delta}$  - napon na otvorenom trokutu pomoćnih namota
- $R$  - otpor na otvorenom trokutu pomoćnih namota
- $R_3$  - djelatni otpor kratkog spoja naponskog transformatora viđen sa strane pomoćnog namota (približno u 10 kV-nom naponskom transformatoru iznosi oko 0,3  $\Omega$ ).
- $L_{3\sigma}$  - rasipni induktivitet naponskog transformatora sa strane pomoćnog namota (približno u 10 kV-nom naponskom transformatoru iznosi oko 0,4 mH).

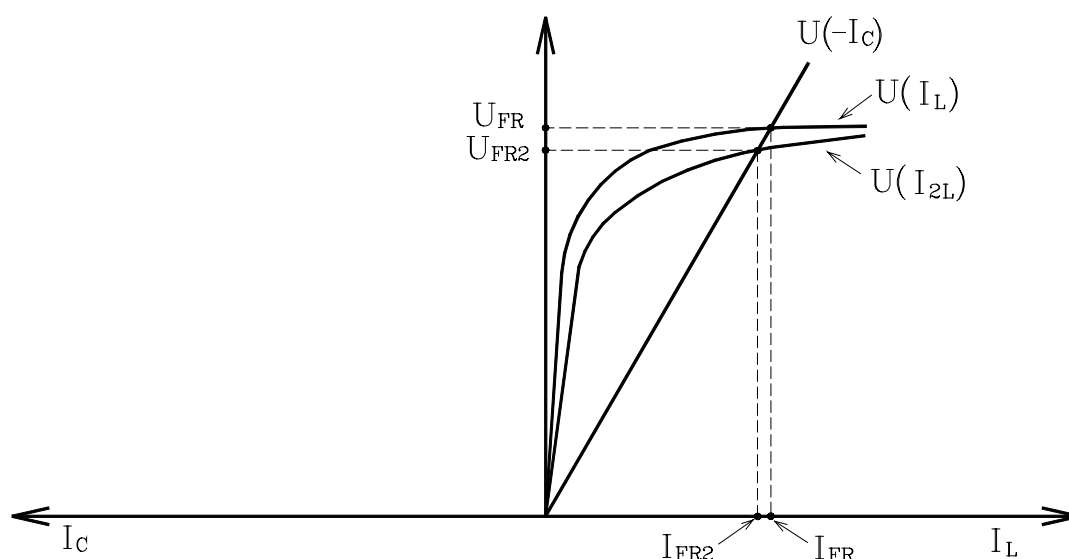
Iz (2) u konkretnom slučaju slijedi da bi se energija poticaja najbrže trošila kada bi otpor  $R$  bio jednak nuli, odnosno, kada bi se trokut pomoćnog namota direktno zatvorio. Očigledno je da treba odabrati otpornik prema prvom kriteriju, ako je dovoljan da onemogući ferorezonanciju. Ako to ne bi bilo dovoljno, trebalo bi tražiti povećanje presjeka pomoćnih namota kod novih naponskih transformatora.

Uobičajeno je da se snaga tog otpornika izražava u vatima koji na njemu nastaju prilikom zemljospoja, odnosno pri naponu 100 V. Prema [L3], za efikasno prigušenje ferorezonancije dovoljan je otpor na kojem u navedenim uvjetima nastaje 25 W po kilogramu jezgre naponskog transformatora. To bi značilo da u trokut pomoćnog namota tri naponska transformatora s jezgrom težine 10 kg, treba priključiti otpornik od 40  $\Omega$ , dok bi naponskom transformatoru s jezgrom težine 13 kg odgovarao otpor od 30  $\Omega$ .

Potvrđeno je to i proračunima u Končar - Institutu za elektrotehniku, pa kako težine jezgara jednopolno izoliranih naponskih transformatora za napone do 35 kV ne prelaze 13 kg, preporučuje se otpornik iznosa  $30 \Omega$  za trajni priključak na 100 V kao standardno rješenje koje onemogućuje nastanak ferorezonancije, a zadovoljava i u pogledu struje kroz pomoćni namot za vrijeme trajnog zemljospoja jedne faze.

## 5. VIŠE GRUPA NAPONSKIH TRANSFORMATORA NA ISTIM SABIRNICAMA

Ako se na iste sabirnice, umjesto jedne, priključe dvije grupe jednopolno izoliranih naponskih transformatora, zajednička krivulja magnetiziranja dva naponska transformatora  $U(I_{2L})$  s istim kapacitetom  $C$  kao u slučaju na slici 3, daje niži napon ferorezonancije  $U_{FR2}$  (sl. 6) i shodno tome manju zajedničku struju ferorezonancije  $I_{FR2}$ . Jednom naponskom transformatoru prema tome pripada samo polovica struje  $I_{FR2}$ , iz čega slijedi da su pri istom dozemnom kapacitetu mreže, naponski transformatori to manje termički ugroženi, što ih je više na istim sabirnicama. To objašnjava relativno dugo vrijeme do razaranja u već spomenutom slučaju ferorezonancije u Jadranskoj željezari u Splitu [L1], gdje je na istim sabirnicama bilo uključeno 6 grupa naponskih transformatora, od kojih je stradala polovica. Neoštećeni su ostali stariji tipovi naponskih transformatora većih dimenzija i veće toplinske vremenske konstante.



Slika 6: Jedna i dvije grupe naponskih transformatora na istim sabirnicama pri kapacitetu mreže  $C$ .

Više grupa naponskih transformatora na istim sabirnicama djeluje kao jedna grupa s višestruko većom magnetskom jezgrom za koju je potrebno efikasnije prigušenje. Ono se postiže postavljanjem otpora  $R$  u otvoreni trokut svake grupe naponskih transformatora čime se osigurava učinkovit utrošak energije poticaja i onemogućava nastanak ferorezonancije.

## 6. UZEMLJENA MREŽA

Ako je mreža uzemljena direktno ili preko malog otpora, ferorezonancija nije moguća, jer su fazni naponi čvrsti. Određena mogućnost nastanka ferorezonancije postoji kada je postrojenje isključeno, ako je kapacitivna veza preko prekidača dovoljna za održavanje ferorezonancije [L5]. U mreži uzemljenoj preko malog otpora, problem nastaje kada dođe do kvara na otporniku za uzemljenje i on mora biti isključen. U vremenu dok je otpornik za uzemljenje isključen, ferorezonancija je moguća, pa je zbog toga preporučljivo ugraditi otpornik za prigušenje ferorezonancije u otvoreni trokut pomoćnih namota naponskih transformatora i u takvim mrežama. Dok je otpornik za uzemljenje u funkciji, otpornik u otvorenom trokutu neće smetati niti trošiti energiju, a kada se mora u pogon bez otpornika za uzemljenje, ferorezonancija ipak neće biti moguća.

## 7. ZAKLJUČCI

- Izolirana mreža s jednopolno izoliranim naponskim transformatorima može biti sklona ferorezonanciji.
- Ferorezonancija je rezonancija između kapaciteta mreže i nelinearnih induktiviteta naponskih transformatora, popraćena trajnim visokim naponima prema zemlji i visokim strujama u primarima naponskih transformatora i vrlo je opasna osobito za epoksidne naponske transformatore koji ne mogu podnijeti termičku dilataciju primarnih namota i pucaju.
- Ako se nakon dojava zemnog spoja, putem releja na otvorenom trokutu pomoćnih namota, zemni spoj ne može pronaći, vrlo je vjerojatno da to i nije bio zemljospoj, već ferorezonancija.
- Visoki fazni naponi i popucani naponski transformatori, pogotovo ako nisu priključeni na sabirnice preko visokonaponskih osigurača, mogu izazvati znatne štete u postrojenju.
- Nije svaka izolirana mreža sklona ferorezonanciji. Na osnovi poznavanja kapaciteta mreže i krivulja magnetiziranja naponskih transformatora moguće je ustanoviti da li je određena konfiguracija mreže sklona ferorezonanciji. Međutim konfiguracije mreže se mijenjaju s uklopnim stanjem.
- Mnogo je jednostavnije, neusporedivo jeftinije i konačno mnogo pouzdanije onemogućiti nastanak ferorezonancije ugradnjom odgovarajućeg otpornika u otvoreni trokut pomoćnih namota grupe od tri jednopolno izolirana naponska transformatora, priključena između izolirane trofazne mreže i zemlje.
- Za suvremene epoksidne naponske transformatore treba izabrati temperaturno neovisan otpornik iznosa  $R = 30 \Omega$ , za trajni priključak na 100 V (330 W).
- Otpornik treba priključiti na svaku trofaznu grupu jednopolno izoliranih naponskih transformatora.
- Preporuča se priključiti otpornik i na otvoreni trokut pomoćnih namota grupe naponskih transformatora u mreži uzemljenoj preko malog otpora. Dok je otpornik za uzemljenje mreže u funkciji, otpornik za prigušenje ferorezonancije nije potreban, ali u slučaju kvara na otporniku za uzemljenje, kada se mreža privremeno koristi kao izolirana, otpornik za prigušenje ferorezonancije neće dozvoliti da se ona razvije.
- Otpornici za prigušenje ferorezonancije mogu se nabaviti kod proizvođača mjernih transformatora Končar - Mjerni transformatori, Zagreb.
- Pri postavljanju otpornika, osobito u mrežama u kojim zemni spoj može trajati dugo vremena, treba voditi računa o hlađenju otpornika za vrijeme zemnog spoja i postaviti ga u položaj (obično horizontalni) u kojem se dobro hladi.

## LITERATURA

- [1] Kelemen, T.: Ferorezonantne pojave u 35 kV postrojenju Jadranske željezare. ETF-Zagreb, Zavod za elektrostrojarstvo, ZES 152, 1982.g., 16 str.
- [2] Reklamacija Končar - D&ST-a izvođaču postrojenja ispitne stanice.
- [3] Kraeft, H.: Beseitigung von Kippschwingungen, Energie 19(1967), No. 4, s. 122...126.
- [4] Meyer H.: Spannungsverlagerungen durch Ferroresonanz in Anlagen mit zwischen Phase und Erde geschalteten Spannungswandlern oder Drosselspulen. Brown-Boveri Mitteilungen, Dezember 1946., s.405...410.
- [5] Ferracci Ph.: Ferroresonance, Cahier Technique Schneider no 190, March 1998. 28 pages.