

ELEKTROENERGETSKI SISTEMI

Nedostaci primarnih oblika energije-smisao elektroenergetike

FEBRUAR
1.

Ako se izvrši analiza primarnih oblika energije nailazi se na dva osnovna nedostatka:

- 1) Po pravilu resursi, izvori primarnih oblika energije, nisu "uz potrošače" (rudnici uglja i urana, bušotine nafte i gasa, vodenim tokovima).
- 2) Te je oblike uglavnom teško neposredno koristiti (čak i ugalj i nafta za grejanje i osvetljenje, za motorni pogon, pa čak i za saobraćaj (na prerađenu naftu), veliki su problem današnjice). Prvi nedostatak implicira nužnost za prenosom energije sa lokacije gde je raspoloživa do centra potrošnje, pa njenu raspodelu (distribuciju) po svakom individualnom potrošaču. Drugi nedostatak implicira nužnost za transformacijom primarnih oblika energije u oblike pogodnije za prenos i korišćenje. Obe nužnosti (potrebe) vezane za energiju najjednostavnije i najefikasnije se mogu zadovoljiti električnom energijom. Ona se jednostavno prenosi, distribuiru i transformiše u sve upotrebljive oblike energije. Uz to, jednostavno se dobija iz svih primarnih oblika energije. Osnovne pogodnosti električne energije su:

- 1) Jednostavna proizvodnja (transformacija iz primarnih oblika energije),
- 2) Jednostavan prenos,
- 3) Jednostavna distribucija (raspodela),
- 4) Jednostavna transformacija u upotrebljive oblike.

Pouzdanost EES

Pojam pouzdanosti se vezuje za pojam potrošača. Pouzdanost predstavlja verovatnoću da potrošač bude napajan tj. da se potrošač može okoristiti o energiju. Pouzdanost se iskazuje verovatnoćom "p", odnosno suprotnom verovatnoćom "q": $p=1-q$. Te verovatnoće se izvode na bazi dugotrajne eksploatacije (pogona) potrošača. Dakle sa "q" je označena verovatnoća da potrošač ostane bez napona tj. da bude van pogona bez "svoje" volje.

$$p=1-q=1 \text{ (broj časova u kojima je potrošač bez napona u toku godine) } / 8760 \text{ h}$$

Sigurnost EES

Sigurnost predstavlja sposobnost elektroenergetskog sistema da „preživi“ svaki verovatan potencijalni poremećaj koji se može dogoditi u tom režimu. Pod pojmom „preživi“ mora se podrazumevati da sistem i dalje ostane u funkciji (da se svi potrošači napajaju električnom energijom). Kod sigurnosti tipa (n-1) sa n je označen broj komponenti sistema. Saglasno sa time, sistem je siguran tipa (n-1) ako nakon ispada iz pogona ma koje od njegovih n

komponenti, on i dalje ostaje u normalnom pogonu. Sigurnost tipa (n-2) bi se vezala za simultani ispad dve komponente. Sistem koji bi bio tako siguran, svakako bi bio skuplji.

4 Ekonomičnost EES

Pojam ekonomičnosti se sastoji od dva potpojma. Njih je nužno posmatrati odvojeno:

- 1) Ekonomicno izgrađen sistem - je onaj sistem koji je izgrađen sa minimalnim investicionim ulaganjima, ali koji zadovoljava kriterijume pouzdanosti napajanja potrošača i sigurnosti njegovih pogona.
- 2) Ekonomican pogon - je pogon već izgrađenog sistema u kojem se potrošači zadovoljavaju na najekonomičniji način, ali sa zadovoljenim kriterijumom sigurnosti.

3. 5 Osnovni podsistemi elektroenergetskih sistema

JANVAR
JUL

Postoje 4 osnovna podistema elektroenergetskih sistema:

- 1) Proizvodnja
- 2) Prenos
- 3) Distribucija
- 4) Neposredna potrošnja

* U podsistemu proizvodnje se vrši transformacija različitih oblika energije (ugalj, voda...) u električnu energiju. U okviru ovog podistema nema direktnog okorištavanja čoveka.

Međutim električna energija koja se u njemu proizvodi predstavlja oblik energije koji postaje atraktivan za prenos i distribuciju, kao i za transformaciju u upotrebljive oblike.

Podistem proizvodnje čine individualni proizvođači (generatori) koji služe za transformaciju mehaničke energije u električnu energiju. Osnovni zahtev koji se postavlja pred podistem proizvodnje je da se električna energija mora proizvoditi onda i onoliko kada i koliko se troši. Za podistem proizvodnje se ističu sledeće dve karakteristike:

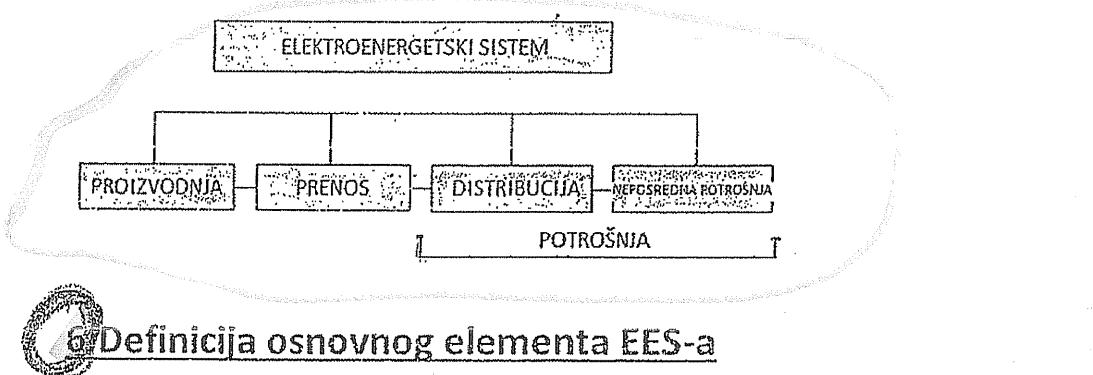
- 1) Energetski oblici pogodni za transformaciju u električnu energiju su uglavnom dislocirani od potrošača.
- 2) Proizvodnja električne energije u nuklearnim elektranama mora se dislocirati u odnosu na potrošač iz bezbednosnih razloga.

Osim toga nužno je ustanoviti još jednu karakteristiku električne energije, ona glasi: **ELEKTRIČNA ENERGIJA JE JEFTINA SAMO AKO SE PROIZVODI U VELIKIM KOLIČINAMA.**

* Prenosna mreža je „složena mreža“ elektroenergetskih veza tj. elemenata prenosa. To je upredljiva mreža, odnosno mreža sa petljastom topološkom strukturu. Ona omogućava :

posrednu ili neposrednu vezu svake elektrane sa svakim potrošačem čak i u slučaju ispada bilo kog elementa prenosa mreže.

- * Distribucija se zasniva na koncepciji tzv. "fidera-napajača". Uspostavlja se elektroenergetska veza tipa stabla. Fideri sa svojim granama, sve do mesta priključka individualnih potrošača, čine distribuciju, odnosno distributivnu mrežu. Distributivna mreža je po pravilu takva da se do svakog individualnog potrošača „stije“ samo sa jedne strane. Suštinski razlog za takvo ekonomično ali ne i najpouzdanoje i najsigurnije rešenje leži u činjenici da kvar u distributivnoj mreži ostavlja van pogona samo malo broj individualnih potrošača dok su za prenosnu mrežu vezana čitava potrošačka područja. Ovakva karakteristika – topološka struktura podsistema distribucije za razliku od petljaste strukture prenosne mreže naziva se radijalnom. Ova mreža je jeftinija od upetljane, ali zato i nepouzdanija i nesigurnija.
- * Podsistem neposredne potrošnje je „mesto“ gde se vrši transformacija električne energije u oblik energije koji je čoveku potreban. Čine ga individualni potrošači: domaćinstva, zanatske radnje, kancelarije. Dakle, individualni potrošač predstavlja skup uređaja za transformaciju električne energije sa jedinstvenim mestom za kontrolu njene potrošnje tj. brojilom. Potrošači mogu biti van pogona ili u pogonu tj. u stanju potrošnje. Stanje potrošnje nastaje u stanju njegovog stavljanja pod napon tj. kada se uspostavlja struja i kada se transformiše energija. U svakom slučaju za svakog potrošača se od EES-a zahteva pouzданo i sigurno napajanje, ali i „jeftina“ električna energija.



Definicija osnovnog elementa EES-a

Svaki osnovni element predstavlja „trofaznu granu“ EES-a.

Njih ima dve vrste:

- 1) Redne grane - vod i transformator,
- 2) Otočne grane - generator i potrošač.

Vod i transformator spajaju dva trofazna čvora zbog čega se i nazivaju rednim granama. Za razliku od njih generator i potrošač se priključuju otočno na elektroenergetski sistem, u smislu da kreću iz neutralne tačke tj. zemlje i završavaju se u nekom od trofaznih čvorova elektroenergetskog sistema.

7

Koja tri načela važe za EES sa petljastom strukturu?

Za EES sa petljastom strukturu važe tri načela:

1) Broj generatorskih jedinica(m) može biti različit od broja potrošačkih područja(l)

$$m \neq l$$

2) Kapacitet svih elektrana (E) bez najveće (neka je to m-ta) veći je ili jednak ukupnim zahtevima za energijom (snagom)

$$\sum_{i=1}^{m-1} E_i \geq \sum_{j=1}^l B_j$$

$$\sum_{i=1}^{m-1} E_i \geq \sum_{j=1}^l B_j$$

3) Prenosna mreža je „složena mreža“ elektroenergetskih veza tj. elemenata prenosa, to je upetljana mreža, odnosno mreža sa petljastom topološkom strukturu. Ona omogućava posrednu ili neposrednu vezu svake elektrane sa svakim potrošačem čak i u slučaju ispadanja kog elementa prenosa mreže.

Prvom načelom se započinje sa slabljenjem pritiska koji nameće korespondenciju jedno potrošačko područje - jedna elektrana koja smanjuje ekonomičnost sistema. Drugim načelom se obezbeđuje kako pouzdanost napajanja, tako i sigurnost pogona sa obzirom na proizvodnju. Trećim načelom se obezbeđuje pouzdanost napajanja i sigurnost pogona sa obzirom na prenos.

4.V

8. Osnovne razlike između prenosnih i distributivnih mreža

Distributivna mreža je po pravilu takva da se do svakog individualnog potrošača „stije“ samo sa jedne strane. Za razliku od prenosne mreže gde se do potrošačkih sabirница stiže sa više strana tj. prenosna mreža je upetljana. Sustinski razlog za takvo - ekonomično ali ne i najpouzdanije i najsigurnije rešenje leži u činjenici da kvar u distributivnoj mreži ostavlja van pogona samo mali broj individualnih potrošača dok su za prenosnu mrežu vezana čitava potrošačka područja. Ovakva karakteristika – topološka struktura podistema distribucije za razliku od petljaste strukture prenosne mreže naziva se radijalnom. Ova mreža je jeftinija od upetljane, ali zato i nepouzdanija i nesigurnija.

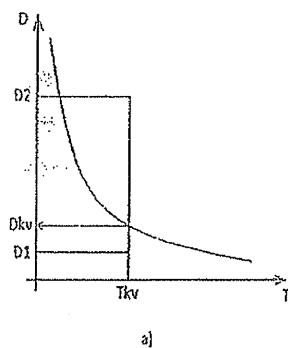
9

9. Osnovni elementi i suštinske karakteristike podistema distribucije

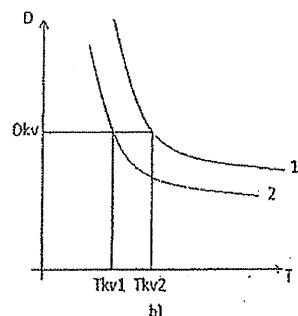
Distribucija se zasniva na koncepciji tzv. „Fidera-napajajuća“. Oni predstavljaju dovoljno jake elektroenergetske veze da se njima mogu asocirati veći delovi razmatranog potrošačkog područja. Praktično Fider prolazi kraj svakog individualnog potrošača koji se na njega priključi. Očigledna je mogućnost grananja Fidera na Fidere nižih nivoa, odnosno uspostavljanje elektroenergetskih veza tipa stabla. Na ovaj način je omogućeno da se na najekonomičniji način elektroenergetskim vezama priđe dovoljno blizu svakom od

individualnih potrošača proizvoljno lociranih na razmatranom potrošačkom području. Dakle, Fideri sa svojim grananjem, granama sve do mesta prilječka individualnih potrošača čine distibuciju, odnosno distributivnu mrežu. Skup svih distribucija jednog EES-a čine podsistem distribucije. Tačka u kojoj je distributivna mreža priključena na prenosnu mrežu naziva se izvorom distributivne mreže,

5. **10. Skicirati i objasniti zavisnost (karakteristične relacije) veličine potrošačkog područja i tolerantnog vremena ostanka područja bez napajanja**



a)



b)

Na osnovu slika se može očitati načelo: "Što je potrošačko područje veće, to je tolerantno vreme ostanka područja bez napajanja manje."

Neka je potrošačko područje veličine D_{kv} ostalo bez napajanja usled kvara u distributivnoj mreži. Neka je T_{kv} označeno vreme potrebno za ponovno uspostavljanje napajanja potrošača tj. vreme za koje je potrebno otkloniti kvar.

Postoje dve situacije:

1) $D_1 < D_{kv}$

2) $D_2 \geq D_{kv}$

Pri čemu su sa D_1 i D_2 označene veličine područja koja su ostala bez napajanja. U obe situacije se kvar može otkloniti, odnosno napajanje ponovno spostaviti za isto vreme T_{kv} .

U prvoj situaciji vreme potrebno da se kvar sanira tj. da se ponovo uspostavi napajanje, razmatranog područja tolerantno je - razmatrana tačka se nalazi ispod krive. U drugoj situaciji ono nije tolerantno jer je razmatrano područje isuviše veliko da tako dugo bude bez napajanja - razmatrana tačka je iznad krive.

Zbog toga distributivne mreže treba graditi tako da se vremena potrebna za popravku kvarova i njima smanjuju sa približavanjem tih kvarova njenom izvoru. Karakteristika prikazana na slici a) za razmatrano potrošačko područje mora da se ustanovi na osnovu ekonomskih kategorija. U vezi sa tim, na slici b) suprikazane dve takve karakteristike. Neka se uoci prva od njih, saglasno sa njom tolerantno vreme da potrošačko područje Dkv ostane bez napajanja iznosi T_{kv_1} . Za to vreme potrošali trpe materijalnu štetu. Otud potreba da se vreme ostajanja bez napajanja (T_{kv_1}) smanji. To se formalno može učiniti spuštanjem karakteristike na slici b) iz pozicije 1 u poziciju 2. Suštinski se to može uraditi boljom, a ujedno i skupljom opremom.

11 Pokazati da su procentualni gubitci napona i snage na vodu jednaki

$$\Delta P = P_1 - P_2 = R * I^2 = R * \frac{P_1^2}{U_1^2}$$

$$\Delta U = U_1 - U_2 = R * I = R * \frac{P_1}{U_1}$$

$$\Delta P [\%] = \frac{\Delta P}{P_1} * 100 = R * \frac{P_1}{U_1^2} * 100$$

$$\Delta U [\%] = \frac{\Delta U}{U_1} * 100 = R * \frac{P_1}{U_1^2} * 100$$

$$\Delta P [\%] = \Delta U [\%]$$

12 Prednost trofazne elektroenergetike u odnosu na monofaznu

Osnovni argument za izbor poli(tro)faznog elektroenergetskog sistema je Teslino obrtno elektromagnetsko polje. To polje je temelj jeftinim i pouzdanim potrošačima električne energije (asinhronim motorima), kao i prepolovljena cena prenosa električne energije (u materijalu za prenosne puteve). Trofazni prenos sa tri umesto šest provodnika, za prenos iste energije predstavlja prepolovljene količine materijala (bakra i aluminijuma) koji bi trebalo uložiti u monofazne prenosne puteve-vodove. Svakako, slični argumenti bi išli u prilog dvofaznoj, četvorofaznoj itd. elektroenergetici, ali trofazna predstavlja najekonomičnije rešenje. Ipak nužno je istaći sladeće: u slučaju dvofazne elektroenergetike, potreban je treći (povratni) provodnik sa $\sqrt{2}$ puta većim presekom od faznih. U slučaju četvoro, peto ili više fazne elektroenergetike povratni provodnik ne bi bio potreban, ali bi se uređaji komplikovali sa obzirom na povećan broj faza.

13 Primarni i sekundarni oblici energije

Primarni oblici energije su ugalj, sirova nafta, zemni gas, voden tokovi, sunčeva energija i još neki alternativni oblici energije kao npr. veter, toplosta mora i drugi. Da bi ih čovek mogao

upotrebiti neophodne je te primarne oblike prevesti u neke druge oblike, koji će biti pogodniji za prenos i distribuciju. To su sekundarni oblici energije u koje spada npr. električna energija koja se lako prenosi i transformiše u drugi oblik energije.

14 Zašto se koristi električna energija frekvencije 50 Hz-a?

Ovaj problem se može posmatrati sa dva aspekta:

1) Prvi aspekt je aspekt transformatora. Tada je potrebna što veća frekvencija jer veličina magnethog jezgra, a sa tim i cena transformatora opada.

2) Drugi aspekt praktično ograničava prvi, a to je da iz ugla današnjih tehničko-tehnoloških rešenja, konstrukcija nije moguća za jako velike frekvencije.

Kompromis je nađen na nivou 50-60 Hz-a. Za veće učestanosti potrebno je realizovati veće brzine, a samim tim povećava se i cena. Za proizvodnju električne energije sa učestanošću od 50-60 Hz potrebno je mehanički pogoniti mašinu (generator) sa 3000-3600 obrtaja u minuti. Veće brzine, reda veličine 10000 obrt/min realizuju se u avionskim i automobilskim motorima koji su jako skupi. Brzine preko 10000 obrt/min realizuju se u mašinama vrlo male snage npr. zubarski instrumenti.

15 Zašto se na priključcima električnih aparata koriste naponi 110-240v?

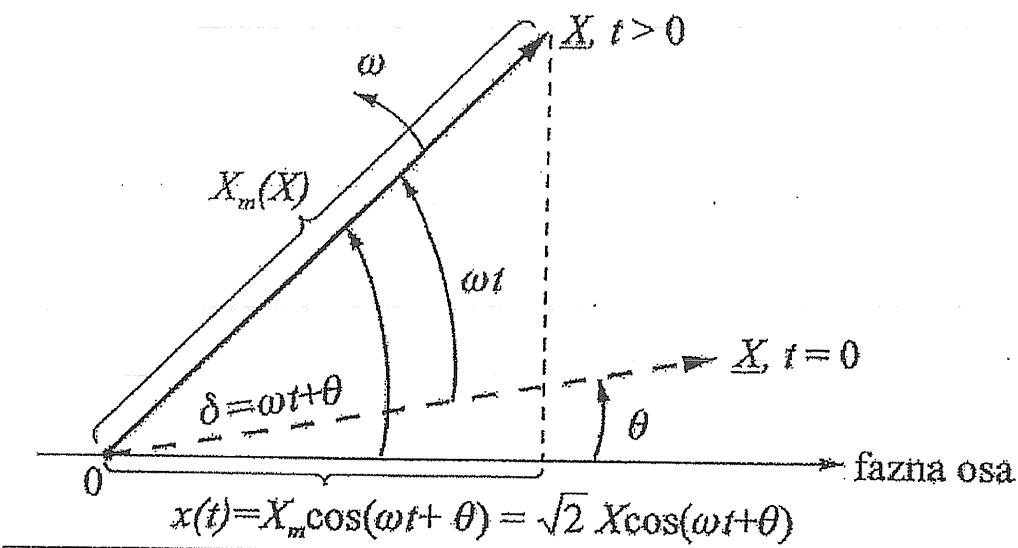
Ovi naponi su usvojeni kao najbolji kompromis između „malih napona i velikih struja“ i „velikih napona i malih struja“. Ako se izabrana snaga prenosi niskim naponom, uspostavljaju se velike struje. Tada radi očuvanja energije i napona koji se prenose (odnosno radi smanjenja pada napona i Džulovih gubitaka na tolerantnu meru), potrebo je dosta skupog bakra ili aluminijuma za provodnike. Sa druge strane, prenos visokim naponom uzrokuje povećanje troškova za izolaciju elemenata za prenos. Tako je i ovde reč o traženju kompromisa između troškova u dve krajnosti:

- 1) Troškovi za bakar i aluminijum, odnosno za konstrukciju vodova i transformatora sa tako velikim kolicinama materijala, koji bi bili posledica prenosa sa suviše niskim naponima.
- 2) Troškovi za izolaciju, odnosno za konstruisanje vodova i transformatora koji bi bili posledica suviše visokih napona.

16 Šta su interkonektivni vodovi?

Interna povezanost svakog EES-a na nivou države danas se generalizuje tj. proširuje na interkonektivne EES. To su EES više država, koji su međusobno povezani „interkonektivnim energetskim“ vodovima. Ta povezanost se realizuje uspostavljanjem direktnih elektroenergetskih veza među prenosnim mrežama EES-a koji učestvuju u interakciji.

17 Fazorska predstava prostoperiodičnih veličina



Svaka naizmenična veličina $x(t)$ može se jednoznačno predstaviti obrtnim vektorom-fazorom $X(t)$ određenog intenziteta (amplitudu X_m ili efektivne vrednosti X), koji se u ravni obrće konstantnom brzinom (50 Hz , $\omega = 100\pi \text{ rad/s}$) oko tačke O u smeru suprotnom od smera kretanja kazaljke na satu (pozitivan matematički smer obrtanja). U trenutku $t=0$ taj fazor se nalazio u položaju koji je sa faznom osom zaklapao ugao θ . Za svaki drugi trenutak $t>0$ taj položaj je određen uglom većim za iznos ωt tj. trenutna vrednost ugla iznosi $\omega t + \theta$. Trenutna vrednost naizmenične veličine jednaka je projekciji njenog fazora na faznu osu. $X(t) = X_m \cos(\omega t + \theta) = \sqrt{2} X \cos(\omega t + \theta)$. Tako se i sve naizmenične veličine u jednom stacionarnom režimu mogu prikazati preko njihovih fazora. U okviru fazorske predstave stacionarnih režima vrlo je važno ustanoviti sledeća dva stava:

Stav 1: Ako se raspolaže sa poznatim fazorom $X(t)$ izabrane naizmenične veličine $X(t)$, u izabranom trenutku t , u potpunosti se može rekonstruisati sama naizmenična veličina.

Stav 2: Ako je za potpunu rekonstrukciju naizmenične veličine dovoljno poznavati odgovarajući fazor u bilo kom trenutku, tada se za reprezentaciju te veličine može odabrati i fazor u trenutku $t=0$.

18 Trofazni potrošač električne energije, generator električne energije, trofazni transformator

Ako se štapni prirodni magnet zameni odgovarajućim namotajem i ako se još sva tri namotaja integrisu u isto kućište, onda se dobija ideja trofaznog motora, koji dominira u današnjem generisanju mehaničke snage, odnosno potrošnje električne energije. Sistem od

tri namotaja koji su simetrično namotani na istom kućištu(stator) sa kotvom kroz čiji je namotaj uspostavljena jednosmerna struja čini ideju trofaznog generatora. Jedna te ista mašina može da radi i kao motor i kao generator. Ta osobina mašine poznata je kao reverzibilnost.Za razliku od trofaznog generatora koji se u praksi realizuje kao jedinstvena mašina, trofazni transformatori se izvode ili kao tri monofazne jedinice ili izrađeni u istom kućištu na zajedničkom elektromagnetskom kolu. Električni transformator nije mašina u napred opisanom smislu. Naime, njima se ne menja oblik energije, već samo kvalitet (napon i struja) jedne te iste električne energije. Dakle, njima se električna energija prenosi(na mala rastojanja, sa jednog na drugi njegov kraj), sa istovremenom promenom kvaliteta.

19 Električne mašine

Električni generatori i motori pripadaju kategoriji električnih mašina. To su uređaji koji služe za transformaciju jednog oblika energije u drugi (npr. mehanička u električnu - električni generatori, ili transformacija električne energije u mehaničku - električni motori).. Električni transformator nije mašina u napred opisanom smislu, jer se njime menja samo kvalitet jedne te iste energije, a ne menja se oblik energije. Reverzibilnost električnih mašina (generatora i motora) je osobina te mašine da može da igra i jednu i drugu ulogu (i ulogu motora i ulogu generatora), bez konstrukcijskih izmena u zavisnosti od toga koji oblik energije se dovede na ulaz mašine.

20 Trofazni čvorovi

Trofazni čvorovi su tačke gde se spajaju dva ili više osnovnih elemenata EES-a. Njih čine tri fazna čvora (a,b,c) i neutralni čvor n (zemlja).

Za trofazni čvor definišu se sledeće veličine:

- fazni naponi (fazori- kompleksni predstavnici): U_a, U_b, U_c
- međufazni naponi (fazori-kompleksni predstavnici): $V_{ab}=U_a-U_b, V_{bc}=U_b-U_c, V_{ca}=U_c-U_a$

21 Trofazna grana

Svaki osnovni element predstavlja „trophaznu granu“ EES-a. Njih ima dve vrste:

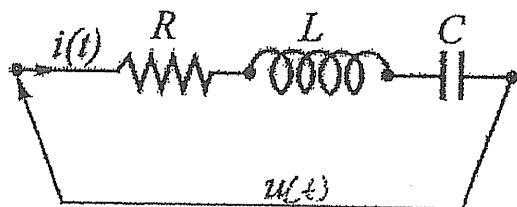
- 1) Redne grane – vod, transformator.(spajaju dva trofazna čvora),
- 2) Otočne grane – generator, potrošač (priključuju se otočno na EES u smislu da kreću iz neutralne tačke i završavaju se u nekom od trofaznih čvorova EES-a.) Za trofaznu otočnu granu definišu se fazne struje : I_{a1}, I_{b1}, I_{c1} kao i struje u neutralnom provodniku $I_n=I_a+I_b+I_c$. Za trofaznu rednu granu se definišu struje sa oba njena kraja. One načelno nisu iste:

Fazne struje na jednom kraju grane: I_{a1}, I_{b1}, I_{c1} , kao i struja u neutralnom provodniku $I_{n1}=I_{a1}+I_{b1}+I_{c1}$. Fazne struje na drugom kraju grane: I_{a2}, I_{b2}, I_{c2} , kao i struja u neutralnom provodniku $I_{n2}=I_{a2}+I_{b2}+I_{c2}$.

22 Veza između kompleksnih veličina

Neka se posmatra RLC kolo. Ono se nalazi u stacionarnom režimu. Takav režim izazvan je prostoperiodičnim naponom $u(t)$ koji uzrokuje prostoperiodičnu struju $i(t)$. To kolo se u vremenskom domenu može opisati sledećim relacijama:

$$u(t) = R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{C} \cdot \int i(t) dt \quad (*)$$



To kolo se u kompleksnom domenu opisuje mnogo jednostavnijim relacijama do kojih se dolazi na osnovu sledećih asocijacija kompleksnih predstavnika odgovarajućim naizmeničnim veličinama:

$$X \rightarrow X; \Rightarrow \frac{dx}{dt} \rightarrow j\omega X; \quad \int x dt \rightarrow \frac{1}{j\omega} X$$

Sada se relacija (*) u kompleksnom domenu može dati oblik:

$$U = [R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})] * I$$

Ako se kompleksni izraz u srednjim zagradama definije kao kompleksna impedansa Z :

$$Z = [R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})]$$

Tada se integralno-diferencijalna jednačina (*) u vremenskom domenu može predstaviti sledećom algebarskom relacijom u kompleksnom domenu:

$$U = Z * I$$

U kompleksnom domenu, dakle ostaju u važnosti svi zakoni koji važe i u vremenskom domenu: omov zakon, kirhofov zakon, metod konturnih struja...

23 Kada se u prenosu električne energije koriste 3, a kada 4 provodnika?

Tri provodnika se koriste kada je sistem uravnotežen, to je da NN (nisko naponske) strane TS 20(10)/0.4 kV. Na VN(visoki napon) strani ovog transformatora nalaze se tri fazna i jedan površinski provodnik. Potreba za uvođenjem četvrtog provodnika javlja se usred neuravnoteženosti sistema na NN strani. To znači da zbir faznih struja nije jednak nuli, pa je zbog toga uveden četvrti površinski provodnik.

7.

24 Pojam simetričnosti i pojam simetričnog režima

FEBRUAR

Osnovni argument za postavljanje trofaznog umesto monofaznog EES-a je teslini obrtni elektromagnetsko polje i to ono koje je generisano sa tri vremenski pomerene naizmenične struje u tri fazna prostorno pomerena namotaja. Za takve tri fazne struje, odnosno za odgovarajuće fazore- kompleksne predstavnike kaže se da su simetrične naizmenične veličine, odnosno fazori. Tri kompleksne veličine- fazora simetrične su ako su im moduli (amplitude) međusobno jednaki i ako su one fazno pomerene za isti ugao:

$$X_a = X_b = X_c = X; \quad \theta_b = \theta_a - 2\pi/3; \quad \theta_c = \theta_a + 2\pi/3;$$

$$\hat{X}_a + \hat{X}_b + \hat{X}_c = 0.$$

Za EES se kaže da je u simetričnom režimu ako su sve trofazne veličine u njemu (naponi, struje, fluksevi...) simetrični.

8.

25 Pojam uravnoteženosti i neuravnoteženosti sistema

FEBRUAR

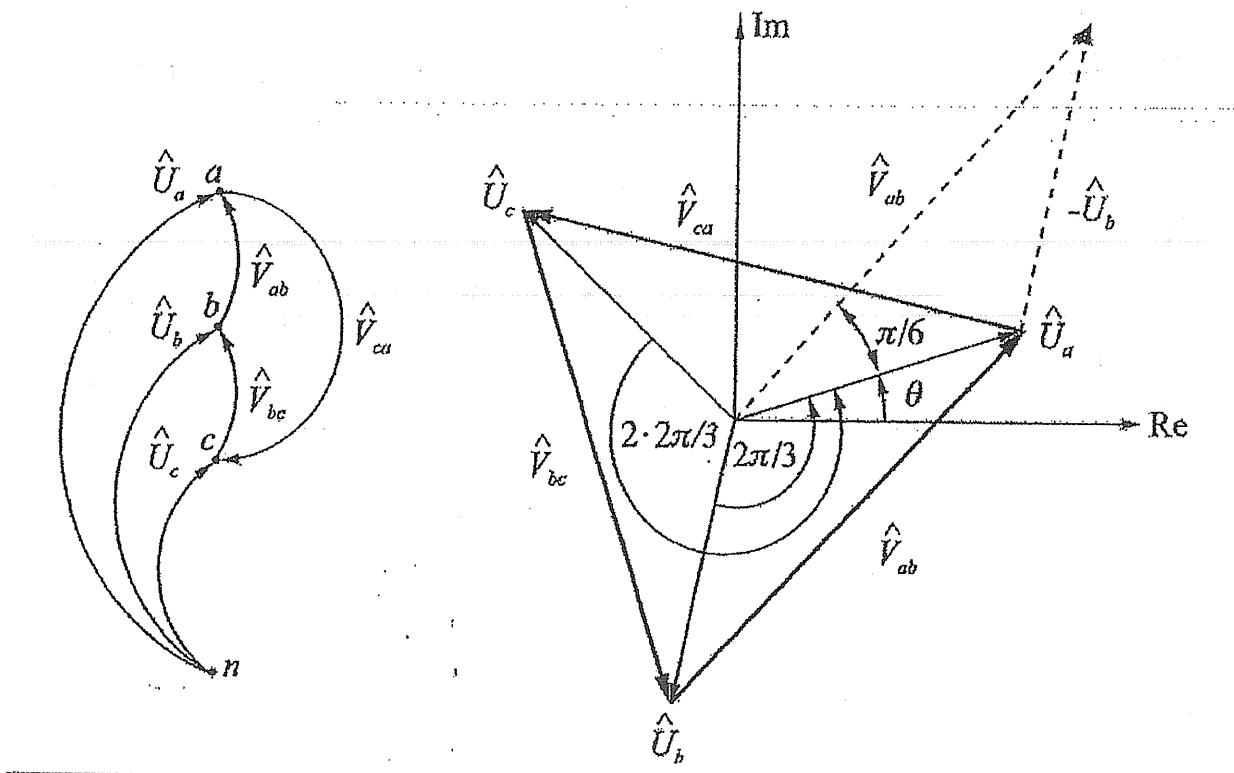
Pojam uravnoteženosti se odnosi na trofazne elemente EES-a: generator, vod, transformator, potrošač tj. na njihovu konstrukciju. Trofazni element EES-a koji svojim priključivanjem u EES ne remeti simetriju režima sistema predstavlja uravnotežen element EES-a. Da treba težiti da svi elementi EES-a budu uravnoteženi govori činjenica da bi u slučaju elementa koji ne bi bio uravnotežen, njegovim priključenjem na sistem poremetila bi se simetrija režima, čime bi se odstupilo od osnovne ideje simetrije nužne za generisanje teslinog obrtnog elektromagnetskog polja. Generatori kao osnovni izvori Teslinog obrtnog elektromagnetskog polja moraju se konstruisati kao uravnoteženi. Ako se između uravnoteženog generatora i potrošača ubaci vod ili transformator neće poremetiti simetričan režim posmatranog sistema. Trofazni elektroenergetski sistem čiji je svaki element uravnotežen naziva se uravnotežen EES.

Stav 1: Samo uravnotežen EES može se dovesti u simetričan režim.

Stav 2: Simetrija napona svih trofaznih generatora neophodan je uslov za simetriju režima EES.

Stav 3: Ako su fazni naponi trofaznog čvora simetrični, tada su i odgovarajući linjski (međufazni) naponi simetrični.

26 Pokazati da su linijski naponi trofaznog izvora simetrični kada su odgovarajući fazni naponi simetrični. Važi li obrnuto?



$$\hat{U}_a = U e^{j\theta}, \quad \hat{U}_b = U e^{j(\theta - 2\pi/3)}, \quad \hat{U}_c = U e^{j(\theta - 2 \cdot 2\pi/3)},$$

$$\hat{V}_{ab} \stackrel{\Delta}{=} \hat{U}_a - \hat{U}_b = U \cdot e^{j\theta} - U \cdot e^{j(\theta - 2\pi/3)} = \sqrt{3} U \cdot e^{j(\theta + \pi/6)},$$

$$\hat{V}_{bc} \stackrel{\Delta}{=} \hat{U}_b - \hat{U}_c = U \cdot e^{j(\theta - 2\pi/3)} - U \cdot e^{j(\theta - 2 \cdot 2\pi/3)} = \sqrt{3} U \cdot e^{j[(\theta + \pi/6) - 2\pi/3]},$$

$$\hat{V}_{ca} \stackrel{\Delta}{=} \hat{U}_c - \hat{U}_a = U \cdot e^{j(\theta - 2 \cdot 2\pi/3)} - U \cdot e^{j\theta} = \sqrt{3} U \cdot e^{j[(\theta + \pi/6) - 2 \cdot 2\pi/3]}.$$

$$V = |\hat{V}_{ab}| = |\hat{V}_{bc}| = |\hat{V}_{ca}| = \sqrt{3} U$$

$$\theta_{ab} = (\theta + \pi/6); \quad \theta_{bc} = \theta_{ab} - 2\pi/3; \quad \theta_{ca} = \theta_{ab} - 2 \cdot 2\pi/3.$$

Obrnuto ne važi jer simetrični međufazni naponi ne impliciraju simetrične fazne napone.

27) Klasifikacija potrošača po nivoima

1. Elementarni potrošači: najniži nivo potrošnje električne energije, odnosno potrošači prvog nivoa. To su sami uređaji (el. Aparati) za transformaciju električne energije u upotrebljive oblike. Ti potrošači mogu biti monofazni (bojler, sijalica) i trofazni (trofazni motor).

Monofazni potrošači se stavlju u stanje potrošnje njihovim dovođenjem pod napon jedne faze u odnosu na neutralni provodnik (zemlju).

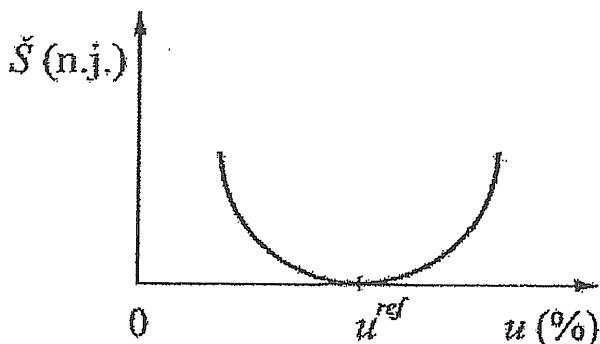
Inherentno trofazni potrošači se stavlju u fazu potrošnje njihovim dovođenjem pod napon sve tri faze u odnosu na neutralni provodnik.

Elementarni potrošači se napajaju električnom energijom iz kućnog priključka tj. brojila električne energije.
2. Integracijom elementarnih potrošača (monofaznih i trofaznih) u okviru individualnog potrošača (domaćinstvo, radnja...) koji se napajaju električnom energijom preko električnog brojila, dobija se potrošač drugog nivoa. U svakom slučaju skup nekoliko elementarnih potrošača nikako ne čini uravnotežen potrošač.
3. Integracijom svih potrošača drugog nivoa koji se napajaju sa istog voda dobija se potrošač trećeg nivoa. Dakle, trofazni vod od 0.38 kV (3x380 V) treći je nivo potrošača. On nije uravnotežen trofazni potrošač, već njega čine elementarni potrošači integrirani u individualne potrošače.
4. Integracijom svih vodova 0.38 kV koji se napajaju iz iste TS 20(10)/0.4 kV sa obuhvaćenim TS dobija se potrošač četvrtog nivoa. On se napaja sa odgovarajućeg voda 20 kV ili 10 kV. Ova TS 20(10)/0.4 kV granica je između neuravnoteženih i uravnoteženih delova podstistema potrošnje. Potrošač četvrtog nivoa se sastoji od mnogo elementarnih potrošača. Potrošač četvrtog nivoa predstavlja trofazni uravnoteženi potrošač. Kada se taj potrošač priključi na EES on ne remeti simetriju režima sistema.
5. Integracijom svih TS 20(10)/0.4 kV na jednom vodu dobija se potrošač petog nivoa. To je sam vod 20(10) kV. Taj vod se sastoji od tri provodnika. On se napaja iz odgovarajuće TS 110/21(10.5) kV/kV.
6. Integracijom svih vodova 20(10) kV sa obuhvaćenom TS 110/21(10.5) kV/kV dobija se potrošač šestog nivoa. On se napaja vodom 110 kV.
7. Integracijom svih TS 110/21(10.5) kV/kV koji se napajaju sa istog voda 110 kV dobija se potrošač sedmog nivoa tj. vod 110 kV.
8. Integracijom svih vodova 110 kV koji se napajaju sa iste TS 400(220)/115 kV/kV sa obuhvaćenom TS dobija se potrošač osmog nivoa.

1. 20(10) kV
2. Četvrti nivo
3. Uravnotežen vod
4. Sedmi nivo
5. Vod

28. Zavisnost štete potrošača konstantne snage od odstupanja napona od nominalne vrednosti

Električni aparati – potrošači trpe štetu koja je posledica kako viših tako i nižih napona od nominalnih vrednosti. Smanjenje veka trajanja električnih aparata sa povećanjem napona, odnosno smanjenje stepena korisnosti sa smanjenjem napona u odnosu na nominalnu vrednost, samo su neki od brojnih primera negativnih posledica po korisnike električne energije.



$$\tilde{A} = C \cdot (u - u^{ref})^2 \cdot E,$$

pri čemu je sa E označena energija isporučena potrošaču u absolutnim jedinicama (kWh). Relativne (procentualne) vrednosti napona iznose:

$$u = (U/U_n) \cdot 100,$$

$$u^{ref} = (U^{ref}/U_n) \cdot 100,$$

pri čemu su U i U^{ref} označene vrednosti aktuelnog napona potrošača označene u KV a sa U_n odgovarajuće nominalne vrednosti mreže sa koje se taj potrošač napaja. Konstanta C je karakteristika štete potrošača koji se razmatra, a razlika pod kvadratom $(u - u^{ref})$ naziva se odstupanje napona. Proizvod kvadrata odstupanja napona i energije je nosilac štete koju potrošač trpi usled odstupanja napona:

njegova dimenzija je (%kWh).

Referentni napon (U^{ref}) potrošača podsistema potrošnje je napon čijom bi se realizacijom minimizirala šteta koju bi svi elementarni potrošači (električni aparati) koji su integrисани u taj potrošač trpeli usled odstupanja njihovih radnih napona od nominalnih vrednosti. Mogućnost kontrole (minimizacije) kvantitativnog pokazatelja štete predstavlja osnovni motiv za regulacije napona i potrošača. Održavanje tog pokazatelja na tolerantnom

nivou zahteva održavanje napona na elementarnim potrošačima unutar tolerantnih granica. Te granice su obično od -5% (donja) do +5% (gornja) u odnosu na nominalnu vrednost.

29) Osnovni podsistem EES i karakteristike EES koje ga favorizuju u odnosu na ostale energetske sisteme

Osnovne pogodnosti električne energije su:

- 1) Jednostavna proizvodnja (transformatora iz primarnih izvora energije),
- 2) Jednostavan prenos
- 3) Jednostavna distribucija (raspodela)
- 4) Jednostavna transformacija u upotreбne oblike

Ove četiri pogodnosti u potpunosti koncidiraju sa četiri podsistema EES-a:

- 1) Proizvodnja
- 2) Prenos
- 3) Distribucija
- 4) Neposredna potrošnja

30) Osnovni argument za primenu električne energije naizmeničnog napona JANUAR 9.

Raspolažući sa transformatorom električne energije naizmeničnog napona, kao prihvatljivim tehničkim rešenjem (u ekonomskom smislu), logički se može inicirati ideja o EES-u naizmeničnog, a ne jednosmernog napona i struje. Taj uređaj (elektro)energetski transformator za naizmenični napon i struju (električnu energiju) jedan je od dva ključna razloga za ustanovljivanje naizmeničnog, a ne jednosmernog EES-a. Drugi krucijalan razlog sadržan je u Teslinoj ideji o obrtnom magnetnom polju (o jeftinom i poždanom motoru naizmenične struje- asinhronom motoru) i trofaznom prenosu (jeftiniji je od monofaznog).

31) Skicirati tri oblika stuba trofaznih vazdušnih vodova na istim primerima. Objasniti razlog i način izvođenja transpozicije faznih provodnika

Vodovi su elementi EES-a namenjeni prenosu i distribuciji napona i električne energije. Postoje dve vrste vodova:

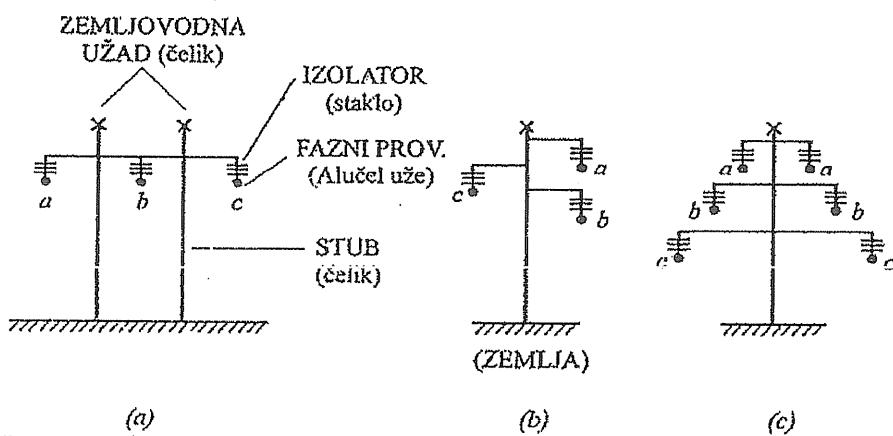
- Nadzemni (vazdušni)

- Kablovski (kabovi) koji senajčešće postavljaju u zemlju.

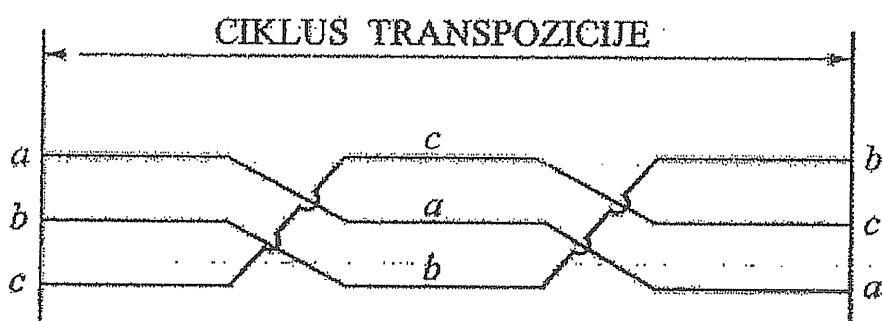
Nadzemni vodovi se realizuju pomoću provodnika (delovi vodova za neposredan prenos napona i električne energije) koji se preko izolatira (služe za električno odvajanje provodnika , među sobom i od zemlje) postavljaju na stubove (noseća konstrukcija voda). Na vrhove stubova se postavljaju zaštitna zemljovodna užad tj. „zemlja se tim užadima podiže iznad vodova”, te se tako znatno smanjuje verovatnoća direktnog udara groma u provodnike. Uravnoteženost je potrebna karakteristika vodova kao elemenata EES-a. Ona se postiže na osnovu sledećih globalnih zahteva:

- svaki fazni provodnik treba da je isto konstruisan (materijal, presek, itd...)
- svaki fazni provodnik treba da je u prostoru u istom odnosu prema preostale dve faze, kao i prema zemlji

Za sve vodove na gornjoj slici (slika 1) nije teško realizovati prvi zahtev. Drugi zahtev se rešava transpozicijom, koja je prikazana na slici 2. Pod transpozicijom se podrazumeva da provodnici na svakoj trećini deonice voda sукcesivno menjaju položaj. Tako na celoj deonici svaki provodnik ima položaj jednak sa položajima ostala dva (kako u odnosu na preostała dva provodnika, tako i u odnosu na zemlju).



Slika 3.7 – Neki oblici troščičnih nadzemnih vodova: a i b – jedan trofazan vod na istim stubovima; c – dva trofazna voda na istim stubovima.



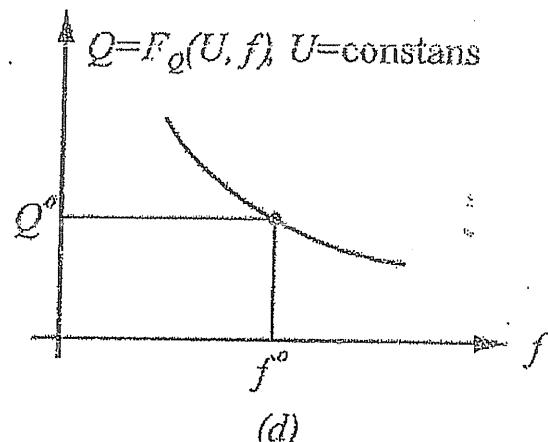
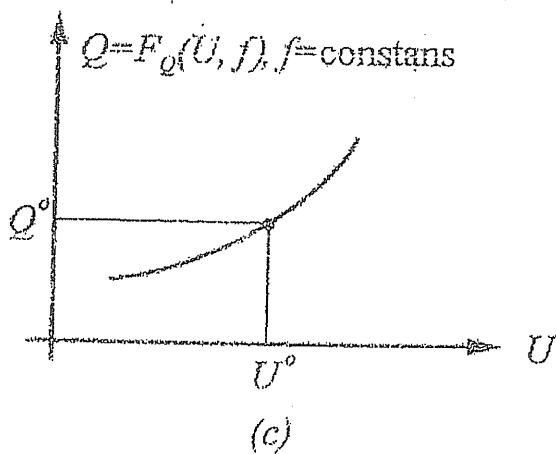
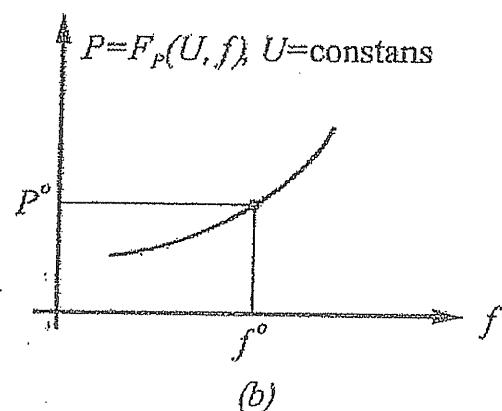
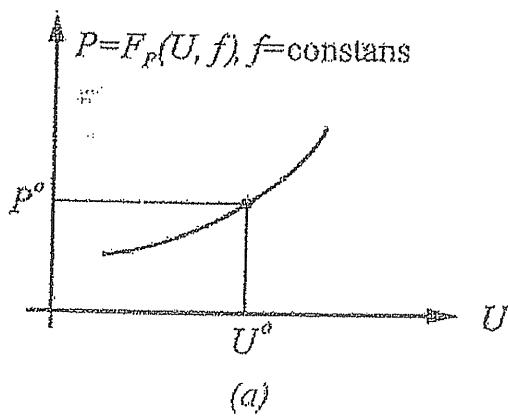
Slika 3.8 – Transpozicija trofaznog nadzemnog voda.

32) Oblici funkcionalne zavisnosti potrošnje aktivne i reaktivne snage od napona i učestanosti

$$F_p(u, f)$$

$$F_q(u, f).$$

Funkcionalne oblike nije teško motivisati, npr. na grejnim telima (bojler, šporet...) aktivna snaga je direktno zavisna od kvadrata napona ($P=U^2/R$), na asinhronim motorima je ta zavisnost složenija. Kada je u pitanju učestanost, potrošnja aktivne energije napred pominjanih uređaja ne zavisi od nje, ali u slučaju asinhronih motora čija je brzina, itekako zavisna od učestanosti, to nije slučaj (snaga lifta kojim se podiže teret nije ista pri različitim brzinama i istim tretetom). Tako, za funkcionalnu zavisnost $F_p(u, f)$ se kaže da je složena. Isto važi i za drugu funkcionalnu zavisnost $F_q(u, f)$.



Sa P^0, Q^0, U^0 i f^0 uočena je jedna po želji izabrana radna tačka potrošača iz domena njegovih normalnih-uobičajenih radnih režima. Oblik karakteristike aktivna snaga – napon (slika a) lako je prihvatljiv. Sa porastom napona snaga potrošnje svih uređaja zasnovanih na pretvaranju električne energije u toplotu raste. Karakteristika aktivna snaga – učestanost (slika b) je takođe lako prihvatljiva. Iako napred pomenuti uređaji za pretvaranje električne energije u toplotu nisu osetljivi na promenu učestanosti, to nije slučaj sa asinhronim

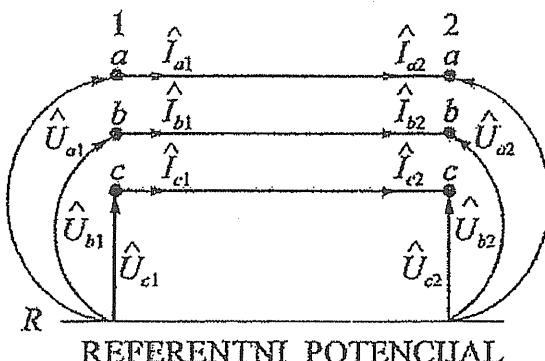
motorima. Sa povećanjem učestanosti, njihova brzina za isto opterećenje raste, pa raste i njihova snaga potrošnje. Motivacija oblika krivih prikazanih na slikama c) i d) (reaktivna snaga-napon i reaktivna snaga-učestanost) nešto je složenija.

33. Uporediti tipične produžene parametre(makro efekte) kablova i vazdušnih vodova i objasniti zašto se javljaju razlike u sličnosti.

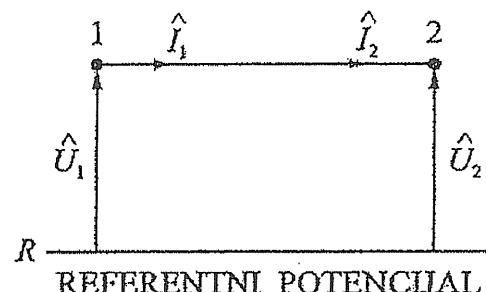
10.

FEVVAR
JUN.

Pošto je trofazni vod uravnotežen, on se može prikazati po faznom-pogonskom šemom. Ona je principski (ne električni) data na slici b) u vidu „dvožičnog voda”, sa razvučenom tačkom referentnog potencijala kao povratnim provodnikom.



(a)



(b)

Trofazni vod je električno kolo sa kontinualno raspoređenim parametrima, tj. vod predstavlja kontinuitet „mikro-struktura“. Globalni (integralni) efekti tih mikrostruktura čine makro-efekte voda. Kod nadzemnih vodova ima četiri pogonska makro-efekta:

1) Redna otpornost- ovaj makro-efekat dolazi do izražaja samo kada postoji struja kroz fazne provodnike. Ioj strují se suprotstavlja rezistansa provodnika R . Ona je upravo srazmerna odnosu dužine voda (provodnika) L i površine poprečnog preseka S .

$$R = \rho L / S$$

2) Redna induktivnost- ovaj makro-efekat dolazi do izražaja samo kada postoji naizmenična (načelno promenljiva) struja kroz fazne provodnike. On se javlja zbog toga što se, načelno, svakoj konturi koju čine par faznih provodnika ili par fazni provodnik-zemlja, mogu asocijirati odgovarajuće sopstvene induktivnosti, kao i odgovarajuće međusobne induktivnosti sa ostalim konturama trofaznog voda. Induktivnost L je srazmerna logaritmu odnosa međusobnog rastojanja provodnika d i njihovog poluprečnika r .

$$L = \ln d/r$$

3) Otočna odvodnost- ovaj makro-efekat dolazi do izražaja samo kada su fazni provodnici pod naponom. Javlja se usled nesavršenosti izolatora. Prako njihove, uglavnom zaprljane, površine „odvode“ se struje sa faznih provodnika pod naponom (otočne struje). To je efekat

puzajućih struja na izolatorima. Pored toga, na površinama faznih provodnika nadzemnih vodova trajno postoji još jedan „otočni efekat”, efekat korone. On se javlja na svakom nanelektrisanom telu ako je električno polje u njegovoj okolini veće od dielektrične čvrstoće medijuma. Efekat korone, sa obzirom da su provodnici nadzemnih vodova „použeni” (dakle, nisu „glatki”) se ne može izbeći.

4) Otočna kapacitivnost- ovaj makro-efekat dolazi do izražaja samo kada su fazni provodnici pod naizmeničnim naponom. On se javlja zbog toga što se svaki provodnik karakteriše nekom kapacitivnošću, tj. što svaki par faznih provodnika i svaki par faznih provodnik – zemlja predstavljaju kondenzatore. Kapacitivnost C je srazmerna logaritmu odnosa prečnika provodnika ri međusobnog rastojanja provodnika d .

$$C = \ln r/d$$

Kablovi su namenjeni prenosu i distribuciji električne energije isto kao i nadzemni vodovi. Osnovni elementi kablova su: provodnici od bakra ili aluminijuma, izolacija i mehanička zaštita.

Sva četiri makro-efekta zastupljeni su i ovde. Njihovo poređenje za vodove i kablove istog napona, snage i dužine sledi:

Za otpornost kabla nadzemnog voda važi relacija $R_k \approx R_v$, što je posledica činjenice da se za prenos iste snage istim naponom zahteva ista struja. Zbog otežanog hlađenja, poluprečnik faznog provodnika kabla treba da bude nešto veći od odgovarajućeg kod voda, pa je tako i redna otpornost kabla nešto manja od redne otpornosti voda.

Za induktivnost kabla i voda važi sledeća relacija: $L_k \ll L_v$. Kod kabla je rastojanje d mnogo manje nego kod voda, pa je i kapacitivnost kabla mnogo veća, a induktivnost kabla mnogo manja.

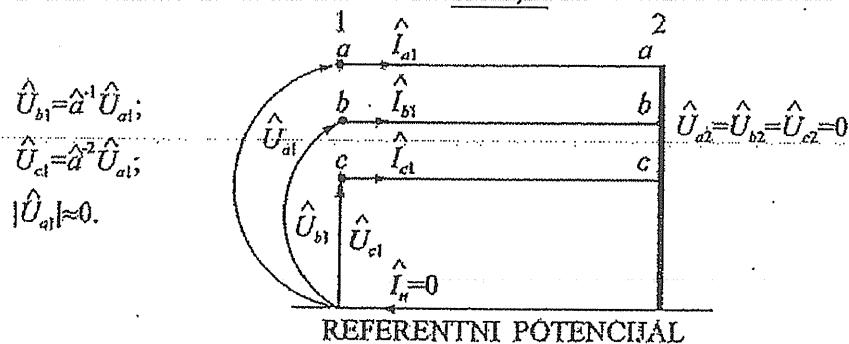
Kako je rastojanje d kod kabla mnogo manje nego kod voda i kapacitivnost kabla mnogo veća od kapacitivnosti voda važi relacija $C_k \gg C_v$.

Odvodnost kabla i voda su posledice suštinski različitih efekata. Odvodnost kabla čine gubitci u dielektriku (definisani tangensom ugla gubitaka – tg 8), pošto je u pitanju nesavršen kondenzator, a kod voda su u pitanju puzajuće struje i korona.

34 Eksperiment za određivanje redne otpornosti i induktivnosti voda

$$\hat{Z}(\Omega/\text{fazil}) = R + j\omega L = R + jX = \frac{\hat{U}_{al}}{\hat{I}_{al}} = \frac{\hat{U}_{bl}}{\hat{I}_{bl}} = \frac{\hat{U}_{cl}}{\hat{I}_{cl}}. \quad (3.21)$$

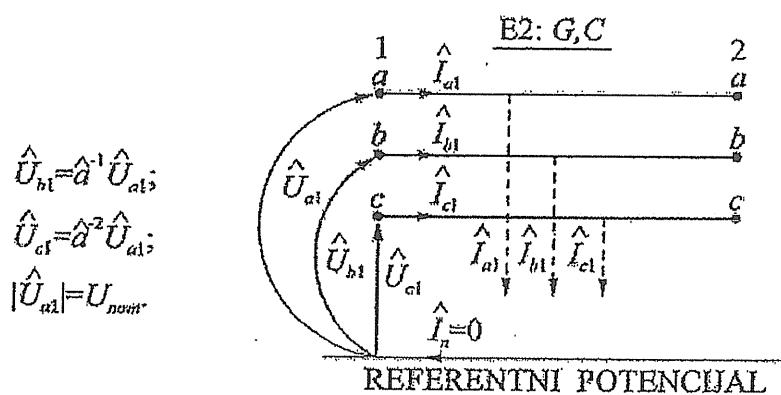
E1: R, L



(a)

Pošto otpornost i induktivnost dolaze do izražaja samo kada u vodu ima struje pošto se u njemu ne žele uključivati efekti otočne odvodnosti i kapacitivnosti vod je u tačci 2 kratko spojen, a u tačci 1 doveden na simetrične napone tako „male“ da se uspostavljaju merljive struje u fazama, a da se otočni efekti mogu zanemariti. Sa obzirom na simetriju pobude voda, kao i na uravnovezenost voda, fazne struje voda će biti simetrične.

3.5 Eksperiment za određivanje pogonske otočne odvodnosti i kapacitivnosti voda

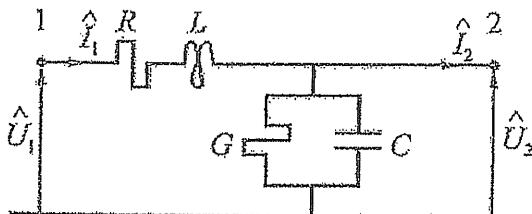


(b)

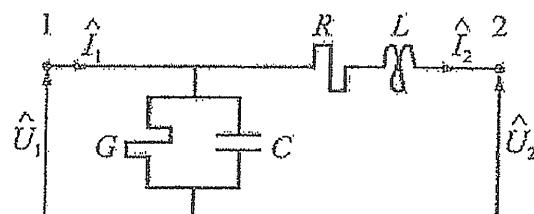
Slika 3.10 - Eksperimenti za sagledavanje četiri makro-efekta nadzemnog voda: a - R, L; b - C, G.

Pošto odvodnost i kapacitivnost dolaze do izražaja samo kada je vod pod naponom i pošto se u njemu ne žele uključivati efekti redne otpornosti i kapacitivnosti, vod je u tački 2 otvoren, a u tački 1 doveden na simetrične nominalne napone. Na taj način su struje u fazama praktično zanemarljive, pa su zanemarljivi i redni efekti. Sa obzirom na simetriju pobude voda, kao i na uravnoteženost voda, fazne (otočne) struje voda će takođe biti simetrične.

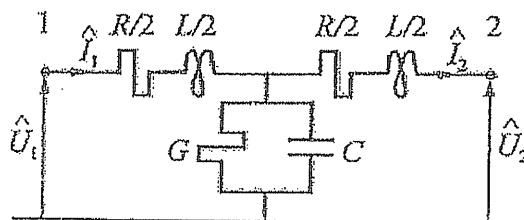
36 Šest varijanti pogonskog ekvivalentnih šema trofaznog uravnoteženog voda sa koncentrisanim parametrima,



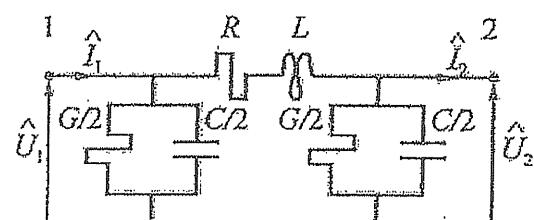
(a)



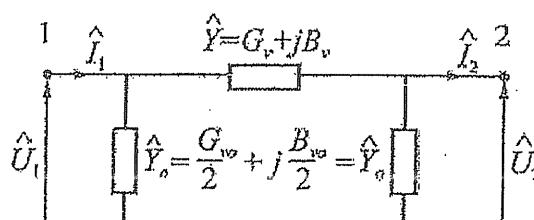
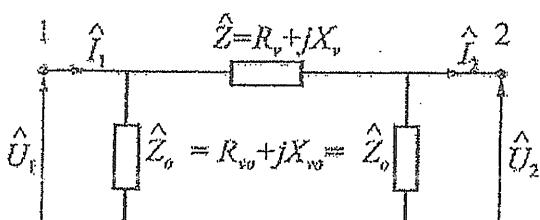
(b)



(c)



(d)



Prve dve varijante pogonskih šema trofaznog voda („T-šeme“, slike a) i b)) imaju tu manu da svaka od njih prikazuje vod koji nije isti kada se tretira sa svakog od njegova dva kraja, što svakako nije svojstveno već datom opisu trofaznog voda. Otud opredeljenje za primenu druge dve pogonske šeme – slike c) i d), tzv. „T“ i „Π“ pogonska šema trofaznog voda. Te dve šeme nisu međusobno ekvivalentne, ali njihovo odstupanje klada su i tretirani kao četvorokrajnici, nije od praktičnog značaja. U obe šeme, izvedene za isti trofazni vod, stavljeni pod iste napone na njihovim krajevima, uspostaviće se praktično iste struje.

11. 37. Referentni napon potrošača

APRIL

Referentni napon potrošača podsistema potrošnje (ma kog nivoa) je napon čijom bi se realizacijom minimizirala šteta, koju bi svi elementarni potrošači, koji su integrirani u taj potrošač trpeći usled odstupanja njihovih radnih napona od minimalnih vrednosti.

12. 38. Kako gubici napona i snage na vodu zavise od:

- Površinskog poprečnog preseka provodnika : direktno opadaju
- Snage prenosa : direktno se povećavaju
- Dužine provodnika : direktno se povećavaju
- Napona prenosa : direktno opadaju

39. Trofazni kablovi

Kabovi su namenjeni prenosu i distribuciji električne energije, isto kao i nadzemni vodovi. Pošto su skuplji, oni se koriste uglavnom kada je prenos i distribucija nadzemnim vodovima teško izvodljiva (u samim naseljima, u industrijskim pogonima, za podvodni prenos električne energije)

*Osnovni elementi kablova su: provodnici od bakra ili aluminijuma (kada su manjeg preseka oni su puni, a kada su većeg onda su použeni), izolacija (impregnisani papir, PVC-polivinil hlorid) i mehanička zaštita (čelik, olovo).

40. Podela transformatora prema podsistemu EES-a u kojem se nalaze. Kakva je njihova uloga?

Transformatori kao elementi EES-a nalaze se u tri podsistema;

- proizvodnja,
- prenos,
- distribucija.

U podsistemu proizvodnje, u termoelektranama se uz generatore nalaze i transformatori (tzv. „blok spoju“) – blok transformatori služe za podizanje napona generatora na nivo prenosa.

U podsistemu prenosa, tzv. Prenosni transformatori koji služe za povezivanje prenosnih mreža različitih naponskih nivoa, ili za interkonektivno povezivanje prenosnih mreža dva susedna EES-a , kao i za priključenje distributivnih mreža na prenosne mreže- transformatori za povezivanje prenosnih mreža (400 i 220 kV) sa distributivnim mrežama (110 kV)

U podsistemu distribucije, tzy. Distributivni transformatori koji služe za sruštanje napona sa nivoa prenosa, uskrsivo do napona elementarnih potrošača.

41. Da li fluks transformatora zavisi od njegovog opterećenja?

Objasniti. Zajednički fluks (magnećenja) i napon transformatora u njegovim uobičajenim režimima, povezani su relacijom: „Koliki napon-toliki fluks“. To je osobina svake mašine zasnovane na naizmeničnim elektromagnetskim fluksevima.

U transformatoru koji je dovedan na napon sa mreže njegove strane, na čijoj se drugoj strani nalazi ma kakvo opterećenje (transformator u pogonu), tada se u njemu uspostavlja fluks tačno određene vrednosti, nezavisne od opterećenja transformatora. Kako god se menjalo opterećenje transformatora, dokle god je napon na njemu isti, dotle se fluks u transformatoru praktično ne menja. Pri većem napunu transformatora, srazmerno je veći i fluks u njemu. Pošto transformatori u EES-u rade uvek sa naponima bliskim nominalnim vrednostima mreža koje su njima povezane, to su i fluksevi u njima, nezavisni od opterećenja praktično konstantni.

42. Idealni transformator.

Kada bi bakar transformatora bio superprovodan („idealni bakar“) tada ne bi bilo gubitaka aktivne snage na transformatoru. Kada bi gvožđe (jezgro) transformatora bilo „idealno“ u smislu da nema raspinih flukseva, odnosno da se celokupni fluks transformatora zatvara kroz magnetno kolo („beskonačna“ magnetna provodnost magnetnog kola), tj. da se fluks u njemu može održavati bez magnetopobudnih sila. Tada ekvivalentna šema idealnog transformatora prelazi u napred uvedeni specijalni kontrolisani izvor, odnosno u ideju transformatora; da se njime transformiše napon bez njegove degradacijej bez degradacije električne energije koja u tom uređaju „doživljava“ unutrašnju transformaciju. Otud i standardni naziv tog uređaja: idealni transformator. Pri konstrukciji se teži da transformator bude što bliži idealnom. Ta težnja se realizuje ulaganjem u količinu bakra od koga su izgrađeni namotaji da bi se smanjili gubitci aktivne snage, kao i ulaganjem u gvožđe (magnetno kolo) da bi se smanjili fluksebi rasipanja i struja magnetećenja.

13.

43. Definisati napon kratkog spoja transformatora.

✓

Napon kratkog spoja transformatora je napon doveden na jednu stranu transformatora, pri kratko spojenoj drugoj strani transformatora, koji izaziva nominalne struje u namotajima. Postoje dve mogućnosti za izvođenje eksperimenta kratkog spoja. Međutim, naponi kratkog spoja transformatora u oba eksperimenta kratkog spoja kada su iskazani u procentima, isti su. Zato se kao podatak o transformatoru daje napon kratkog spoja (u procentima) bez naznake na koji se eksperiment on odnosi.

44. Zašto se na transformatoru javlja struja kada je jedan kraj priključen na izvor napona, a drugi kraj u praznom hodu?

Zbog struje magnećenja koja je uvek praktično ista, bez obzira na opterećenje.

45. Dve osnovne konstruktivne pretpostavke i konstruktivna posledica kod transformatora. Objasniti zašto se transformatori tako konstruišu.

14.

Radni naponi transformatora, u najvećem broju režima vezani su relacijom :

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{N_1}{N_2}$$

APRIL
Ta relacija je ideja transformatora. Ako se namotaji konstruišu tako da su njihovi nominalni naponi takvi da nije zadovljena ta relacija, tada je jedan od namotaja svakako konstruisan za veći radni napon od radnih napona na njemu. To je posledica činjenice da transformator ne može biti korišćen za radne napone veće nego što to dopušta izolacija drugog namotaja.

Naime, ako je transformator konstruisan tako da važi $U_{n1}/U_{n2} > N_1/N_2$, tada na transformator, sa njegove VN strane „ne sme“ biti doveden napon jednak nominalnoj vrednosti U_{n1} , pošto će napon na njegovoj NN strani biti veći od odgovarajuće nominalne vrednosti U_{n2} , što bi destruktivno delovalo na njegovu izolaciju [$(U_{n1}/U_{n2} \approx N_1/N_2) \wedge (U_{n1}/U_{n2} > N_1/N_2) \rightarrow U_2 > U_{n2}$]. Istom logikom bi se došlo do činjenice da bi NN namotaj bio predimenzionisan kada bi transformator bio konstruisan tako da važi relacija $U_{n1}/U_{n2} < N_1/N_2$. Na osnovu tih razmatranja očigledno je da transformatore treba konstruisati saglasno sa sledećom-prvom konstrukcijskom pretpostavkom:

$$\frac{U_{n1}}{U_{n2}} = \frac{V_{n1}}{V_{n2}} = \frac{N_1}{N_2}$$

Logički sličnim razmatranjem, ali sada vezanim za nominalne struje transformatora, koje su vezane za količinu bakra ugrađenog u namotaje (njihov poprečni presek), može se izvesti i druga konstrukcijska pretpostavka:

$$\frac{I_{n1}}{I_{n2}} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{U_{n2}}{U_{n1}}$$

Ako se fazna nominalna prividna snaga jednog namotaja transformatora definiše kao proizvod odgovarajućeg nominalnog napona i nominalne struje, tada ove dve konstrukcijske prepostavke impliciraju jednakost faznih prividnih snaga na oba kraja transformatora – konstrukcijska posledica:

$$U_{n1}I_{n1} = U_{n2}I_{n2} \Leftrightarrow S_{n1} = S_{n2} = S_n$$

Odnosno, namotaje transformatora je racionalno graditi samo za iste snage.

46. Kako zavise gubitci napona i snage transformatora od njegovog opterećenja?

Pad napona na transformatoru se linearno povećava sa opterećenjem transformatora (P_2 i Q_2). Gubici reaktivne snage na transformatoru (ΔQ) povećavaju se sa kvadratom opterećenja transformatora. Za razliku od vodova, koji nekad troše, a nekada generišu reaktivnu snagu (energiju), transformatori su isključivo potrošači reaktivne snage (energije). To je posledica činjenice da u njima nemaju kapacitivnih elemenata.

47. Zašto se kod regulacionih transformatora regulacioni otcepi postavljaju na VN, a na kraju namotaja koji je vezan na neutralnu tačku?

Kod trofaznih regulacionih transformatora regulacionim sklopkom se simultano zahvata isti broj navojaka na sve tri faze transformatora. Te sklopke, odnosno odgovarajući regulacioni otcepi, konstruišu se na onim krajevima namotaja koji su priključeni na neutralni provodnik (sa nultim potencijalom) da bi ti uređaji bili jeftiniji-konstuisani za male napone. Iz istih razloga (razloga ekonomičnosti) otcepi se izvode na VN stranama transformatora, pošto su tamo manje struje.

48. Režimi sinhronog generatora

Sinhrona mašina se u EES-u najčešće sreće u režimu generatora (proizvodi aktivnu snagu u EES-u). U režimu generatora, sinhrona mašina najčešće radi u tzv. natpobuđenom stanju i tada proizvodi reaktivnu snagu potrebnu potrošačima. U periodima malih potrošnji (nocu), kada rasterećeni vodovi uglavnom generišu reaktivnu snagu, te u EES-u ima njenog viška, sinhrona mašina radi u tzv. potpobuđenom stanju – absorbuje taj višak reaktivne snage. U specijalnim slučajevima pogona, sinhrona mašina niti generiše niti absorbuje reaktivnu energiju ($Q_{sm}=0$).

49. Zašto se asinhrone mašine praktično ne koriste kao generatori

Asinhrone mašine sa aspekta aktivne snage mogu da zamene sinhronе, ali nemaju mogućnost da proizvode reaktivnu energiju (oni je isključivo absorbuju) niti mogu da proizvode napon.

50 Nabroj sve osnovne trofazne elemente EE razvodnog postrojenja i ukratko objasniti njegove uloge. Šta su EE razvodna postrojenja?

Elektroenergetska razvodna postrojenja su objekti za "razvođenje" napona i električne energije u EES-u, odnosno to su mesta u kojima se stiču tj. mesta u kojima se povezuju osnovni elementi-grane EES-a (generatori, vodovi, transformatori, potrošači..). Tako povezani osnovni elementi u EE razvodnom postrojenju čine EES.

Osnovni trofazni elementi EE razvodnog postrojenja su :

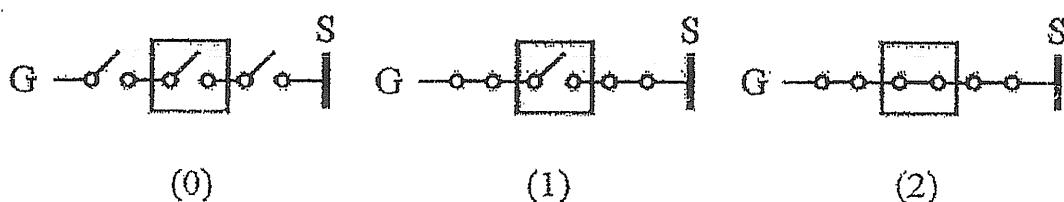
- Sabirnice - to je ustvari praktična realizacija trofaznog čvora
- Prekidači - služe za odvajanje opterećenog elementa od sabirnice
- Rastavljač snage – konstruisan je samo za manipulacionu ulogu, a ne za zaštitnu.

51 Raspored vršenja manipulacije priključenja, odnosno isključenja kraja grane sa sabirnice

Na slici 1 prikazan je osnovni status (0) i dva suksesivna statusa (1) i (2), prilikom priključenja jednog kraja neopterećene grane G na sabirnicu S (one mogu biti pod naponom).

Priključenje se izvodi u sledeća dva koraka :

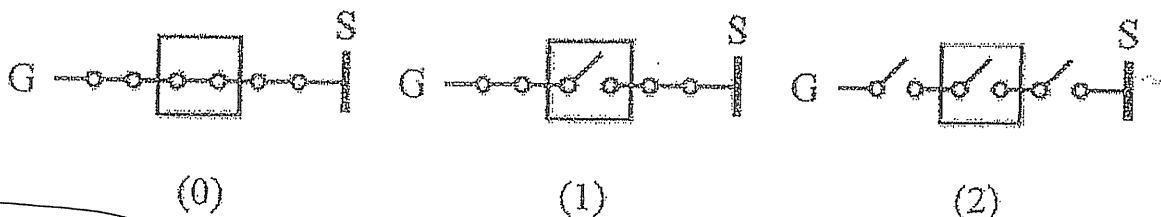
- 1) uključenje oba rastavljača (nema uspostavljanja struje i napona pošti je prekidač isključen),
- 2) uključenje prekidača (uspostavlja se struja kroz prekidač).



Na slici 2 prikazan je osnovni status i dva suksesivna statusa (1) i (2), prilikom isključenja jednog kraja opterećene grane G sa sabirnicom S (one su pod naponom). Isključenje se izvodi u sledeća dva koraka :

- 1) Isključenje prekidača (prekid struje prekidačem),

2) Vidno prekidanje kola sa obe strane prekidača pomoću oba rastavljača (njim se ne prekida struja, pošto je ona već prekinuta prekidačem).



16. 52. Smisao uvođenja sabirnice u EES. JVN

Trofazni čvor (tri idealne tačke) „razvlači“ se u trofazne sabirnice u vidu trostrukih šina ili užadi, određene dužine. Po jedan deo trofaznih sabirница odgovarajuće dužine, sa po jednim zavrtnjem na svakoj šini, odnosno odgovarajućim priključcima ako su u pitanju užad, pridružen je svakom od elemenata koji se stiču u taj čvor – sabirnice. Dakle, razvlačenjem čvora u sabirnice, obezbeđuje se prostor za priključak elemenata. Sabirnice se izvode od bakra ili aluminijuma, dovoljno velikog preseka (male otpornosti R) da bi one, iako značajnih fizičkih dimenzija (više metara) bile istog potencijala po celim svojim dužinama, te tako predstavljale, u električnom smislu iste tačke. Tako, sabirnice su prilično bliske njihovoj ideji – čvoru.

53. Koji je osnovni uslov za korišćenje rastavljača u razvodnim postrojenjima?

Da bi se pojedini elementi mogli uključiti ili iskčjučiti sa sabirnicom EE razvodnog postrojenja, sabirnice moraju da se ostave bez napona. Raspolažeći sa rastavljačem, nakon delovanja prekidača, u slučaju da je prekidač „zatajio“, manipulacija rastavljačem će destruktivno delovati na sam rastavljač. Naime, prekidanje, odnosno uspostavljanje radne struje elemenata pomoću rastavljača prouzrokuje njegovo totalno uništenje. Svaki prekidač se oprema rastavljačem (R') i sa druge strane između prekidača i elemenata EES-a. Sa prekidačem na svakom kraju svake grane (otočne i redne) kao i sa parom rastavljača oko svakog prekidača potpunosti su omogućene sve manipulacije (uključenje i isključenje) sa svakim elementom EES-a. Svrha rastavljača je da predstavlja vidni prekid već otvorenog strujnog kola. Oni su znatno jeftiniji od prekidača, sa obzirom da nije namenjen prekidanju ili uspostavljanju bilo kakvog napona ili struja.

54. Koje su dve osnovne vrste regulacije EES? Pomoću kojih regulacionih resursa se one vrše?

Regulacija aktivnih snaga i učestanosti – ova vrsta regulacije se realizuje automatskim regulatorima koji saglasno svojim zakonima regulacije deluju na turbineske zatvarače u smislu povećanja (smanjenja) dotoka vodene pare u odgovarajuće turbine.

Regulacija napona (i aktivnih snaga)- osnovna motivacija za regulaciju napona potrošača je šteta koju bi potrošači trpeli usled odstupanja napona od nominalnih vrednosti. Synchroni generatori i regulačni transformatori su dve osnovne vrste resursa za regulaciju napona u EES-u.

55) Šta je primarna a šta sekundarna regulacija aktivnih snaga i učestanosti?

Ciklus regulacije aktivne snage i učestanosti EES-a se sastoji iz:

- 1) zaustavljanje pada učestanosti realizacijom bilansa aktivnih snaga na učestanosti koja nije nominalna (prelaz iz radne tačke A u radnu tačku B), određivanja nastalog debalansa aktivnih snaga ($\Delta P = -\Delta f \cdot \operatorname{tg} \alpha$)
- 2) vraćanja učestanosti na nominalnu, tj. realizacija novog bilansa snaga sa nominalnom učestanošću, promenom karakteristike na AR_{pm} (regulacije).

Opisanom automatskom regulacijom aktivnih snaga i učestanosti, kontinualno se obezbeđuje bilans aktivnih snaga u EES-ima. Sa nominalnom učestanošću nezavisno od dinamičke prirode potrošnje – njenе promene u vremenu i prostoru..

56) Definicija balansnog čvora

Balansni čvor je generatorski čvor sa sledeća četiri atributa:

- 1) on je balansni čvor bez obzira na aktivne snage (nepoznata proizvodnja aktivne snage)
- 2) balansni čvor sa obzirom na reaktivne snage (nepoznata proizvodnja reaktivne snage)
- 3) referentni sa obzirom na module napona (poznat modul napona)
- 4) referentni sa obzirom na fazne stavove (poznat fazni stav fazora faznog napona faze a),

57) Referentni čvor

Čvor sa unapred izabranim, specifiranim modulom napona naziva se referentnim čvorom sa obzirom na module napona. Trofazni čvor sa unapred izabranim- specifiranim faznim stavom fazora faznog napona faze A, naziva se referentnim čvorom sa obzirom na fazne stavove (uglove).

58) Šta je stanje sistema?

Pod stanjem jednog sistema podrazumeva se skup minimalnog broja veličina sa kojima je u potpunosti i jednoznačno određen njihov režim.

59) Koji skup veličina predstavlja stanje EES-a?

Ako se poznaju fazori napona (njihovi moduli i uglovi) u svim čvorovima EES-a tada se mogu izračunati sve preostale veličine u sistemu, tj. može se rekonstruisati celokupan režim EES-a (fazori struja i tokovi snaga u granama, snage proizvodnje u balansnom čvoru, gubici snage u svim elementima, gubitci snage u celom sistemu itd).

60. Smisao pogonskih parametara elemenata uravnoveženog EES-a

Ako se uravnoveženi EES pobudi simetričnim naponima generatora, tada će se uspostaviti simetrične struje u svim elementima, tj. u sistemu će se uspostaviti simetričan režim. To znači da su režimi u fazama isti sa odgovarajućim režimima u fazi A, osim što kasne za trećinu perioda, odnosno dve trećine pobude. Otud ideja da se uravnoveženi EES u simetričnom režimu razmatra po jednoj fazi, tj. da se prikaže pofaznom električnom šemom za izabranu fazu – monofazno, bez utvaja druge faze. Ako se sada na EES u simetričnom režimu, umesto trofaznog elementa priključe tri monofazna elementa sa ekvivalentnim pogonskim parametrima dotičnog trofaznog elementa, režim će ostati nepromenjen. Dakle, smisao pogonskih parametara je da olakša potrošače.

61. Zbog čega dolazi do pada napona u mreži ?

Postoje dva razloga :

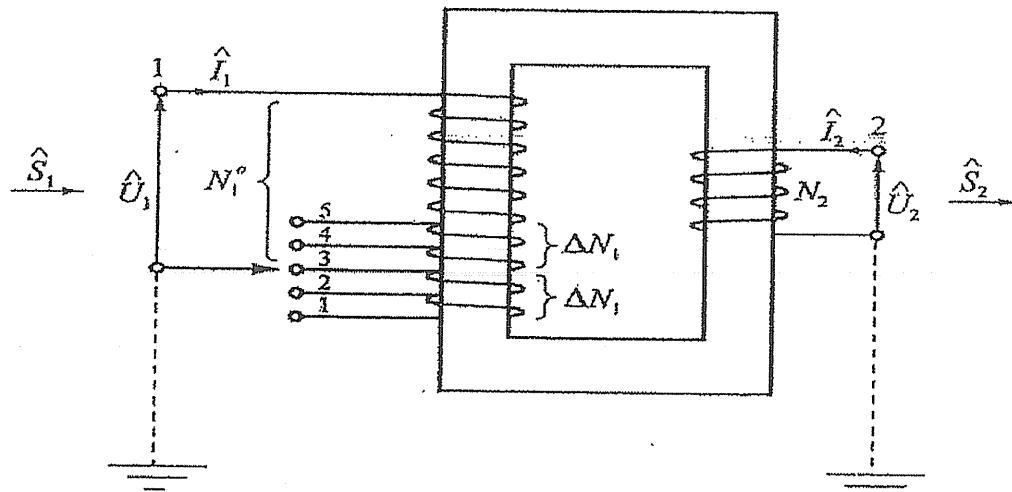
- 1) Smanjena isporuka snaga usled debalansa
- 2) Prvi stepen redukcije (i napon se smanjuje na vrednost od 180V)

62. Dve osnovne definicije reaktivne snage:- Nalazi se na papirima, sami pišemo !

$$I \quad \hat{S} = \hat{U} \cdot \hat{I}^* = P + j Q \Rightarrow P = \operatorname{Re}\{\hat{S}\}, \quad Q = \operatorname{Im}\{\hat{S}\}, \quad \text{za } Q = U I \sin \phi$$

$$II \quad \hat{S} = \hat{U}^* \cdot \hat{I} = P - j Q \Rightarrow P = \operatorname{Re}\{\hat{S}\}, \quad Q = -\operatorname{Im}\{\hat{S}\}$$

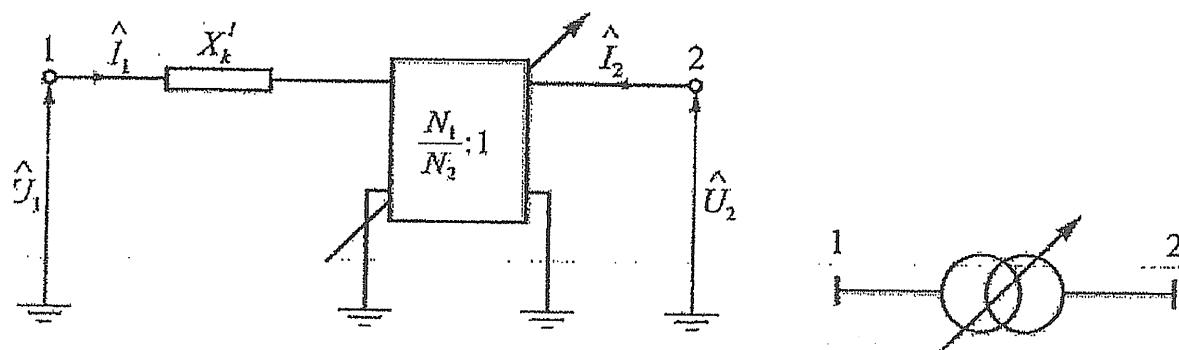
63. Principska i ekvivalentna šema regulacionog transformatora uz objašnjenje.



Osnovni resursi za kontrolu napona u EES-u, pored izvora napona – generatora, jesu (fazni) regulacioni transformatori. Kod regulacionih transformatora jedan od njegovih namotaja se koncentriše sa više regulacionih otcepa! Zahvatanjem različitog broja navojaka N_1 , pri nepromjenjenom broju navojaka N_2 , menjaju se odnos transformacije transformatora, u odnosu na nominalni N_1^o/N_2 . Ovaj odnos jednak je: $N_1^o/N_2 = V_{n1}/V_{n2}$, pod brojem navojaka N_1^o podrazumeva se broj navojaka određen srednjim od neparnog broja otcepa, nominalnim otcepom.

$$\left(\frac{N_1}{N_2}\right)_{\min} = \frac{N_1^o - \Delta N_1}{N_2}, \quad \left(\frac{N_1}{N_2}\right)_{\max} = \frac{N_1^o + \Delta N_1}{N_2}.$$

Regulacioni otcepi konstruišu se na onim krajevima namotaja koji su priključeni na neutralni provodnik (s nultim potencijalom).



64 Nominalni podaci transformatora

Osnovni nominalni podaci transformatora su: nominalni linijski naponi V_{n1}, V_{n2}, V_N i NN , strane,(trofazna prividna) nominalna snaga S_n (s) i napon kratkog spoja transformatora $\mu_k(%)$. (Uz njih ima još nominalnih podataka,npr. struja praznog hoda,gubici kratkog spoja i praznog hoda transformatora,itd. oni služe za izračunavanje parametara preciznih ekvivalentnih šema). Izračunavanje parametara ekvivalentne šeme transformatora:

$$N_1/N_2 = V_{n1}/V_{n2} ;$$

Odnos brojeva navojaka jednak je odnosu nominalnih napona,čime je određen idealni transformator ekvivalentne šeme.

Reaktansa(impedansa) kratkog spoja se dobija na osnovu relacije:

$$X_k(\Omega) = \frac{\mu_k(\%) \cdot V_{n1}^2}{100 \cdot S_n}$$

Na osnovu nominalne snage i nominalnih napona mogu se odrediti nominalne struje transformatora:

$$I_{n1} = \frac{S_n / 3}{V_{n1} / \sqrt{3}}; \quad I_{n2} = \frac{S_n / 3}{V_{n2} / \sqrt{3}}$$

65 Nominalni podaci za vodove

Osnovni nominalni podaci za vodove su: nominalni napon i struja, kojima se pridružuju još pogonski parametri voda: R, L, G i C,kao i dužina voda l .

Nominalni linijski napon- V_n (odnosno fazni $U_n=V_n / \sqrt{3}$) napon je kojem vod,u predviđenom veku trajanja može dodatno biti izložen,a da se pri tome električki ne ošteti,odnosno napon za koji je vod konstruisan.On direktno korespondira s nivoom izolacije voda,

Nominalna struja voda- I_n je fazna struja kojoj vod,u predviđenom veku trajanja može biti trajno izložen,a da se pri tome termički ne ošteti,odnosno struja za koju je vod konstruisan.Ona direktno korespondira s količinom bakra ili aluminijuma provodnika.

Nominalni napon i struja određuju snagu voda:

$$S_n = 3U_n I_n (= \sqrt{3}V_n I_n).$$

Osnovni pogonski parametri voda obično se daju kao podužni: podužna reaktansa x , podužna rezistansa r , podužna konduktansa g , podužna susceptansa b .

17.

6.6. Smisao prekidača i rastavljača



Prekidač je uređaj koji je konstruisan tako da se njime element EES-a, koji je opterećen (pod naponom) može isključiti sa sabirnicom. Njime se element EES može isključiti iz pogona (prekinuti strujno kolo sa strujom i do 1000A) i obrnuto, njime se element van pogona može priključiti na sabirnice (uspostaviti strujno kolo). On se konstruiše sa odgovarajućim kućištem (za sve tri faze za manje napone ili za svaku fazu posebno za velike napone), sa odgovarajućim komorama za gašenje električnog luka nastalog u toku prekidanja struje. To je uređaj kojim se može uspostaviti i prekinuti maksimalna radna struja (manipulativna uloga) i prekinuti maksimalna struja kvara odgovarajućih elemenata (zaštitna uloga). Karakteristika prekidača je u tome da on može da deluje više ("mnogo") puta bez radikalnih osetćenja.



Uređaji koji su konstruisani samo za manipulativnu ulogu, a ne i zaštitnu, znatno su jeftiniji i oni se nazivaju rastavljačima snage. Često se koriste samo radi manipulacija u sistemu dok je zaštitna uloga ostavljena odgovarajućim prekidačima.

Za manje napone ulogu prekidača igraju osigurači. Ako su automatski njihova ideja je slična sa idejom prekidača. Ako su 'obični', tada se oni razlikuju od ideje prekidača po tome što u zaštitnoj ulozi svako njihovo delovanje je destruktivno po same osigurače. Naime jedan od njihovih delova se jednostavno istopi usled delovanja struje kvara. Trofazni rastavljač se postavlja između prekidača i sabirnica.