|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | UNIVERZITET U SARAJEVU  ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET  ODSJEK ZA ELEKTROENERGETIKU |  |

**MINIMIZACIJA AKTIVNIH GUBITAKA U DIJELU MREŽE PRIMJENOM Z MATRIČNE METODE ZA ANALIZU TOKOVA SNAGA SA UPRAVLJANJEM REGULACIONOM PREKLOPKOM**

**-Elektroenergetski sistemi-  
ETF EEO EES 3570**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Mentori:** | doc. dr. Vedad Bečirović, dipl.ing.el. | |
| MoE Haris Čapelj, dipl.ing.el. | |
| **Grupa:** |  | |
| **Članovi grupe (studenti):** | **Ime i prezime studenta:** | **Opis aktivnosti studenata:** |
| Adna Kulovac |  |
| Anela Trakić |  |
| Selma Imamović |  |
| Elhana Pružan |  |
| **Predstavnik grupe:** | Adna Kulovac | |

Sarajevo,

Akademska 2020/2021 godina

Sadržaj

[1. OPIS MATEMATIČKOG MODELA 3](#_Toc61874908)

[1.1. Analiza matematičkog modela 3](#_Toc61874909)

[1.1.1.Formuliranje problema: 4](#_Toc61874910)

[1.2. TOKOVI SNAGA U TROFAZNIM SISTEMIMA 6](#_Toc61874911)

[1.2.1. Osnovne jednačine: 6](#_Toc61874912)

[1.2.2. Predstavljanje pojedinih elemenata sistema 8](#_Toc61874913)

[1.2.3.Iteracijski postupci rješavanja sistema jednačina dobijenih formuliranjem problema raspodjele tokova snaga 11](#_Toc61874914)

[1.3. Z-MATRIČNA METODA 12](#_Toc61874915)

[1.4. DEFINIRANJE SNAGA I GUBITAKA NA PROIZVOLJNIM π ELEMENTIMA 16](#_Toc61874916)

[2. OPIS KORIŠTENOG ALATA (SOFTVERA) 17](#_Toc61874917)

[3. REZULTATI ISTRAŽIVAČKOG PROJEKTA 20](#_Toc61874918)

[4. ZAKLJUČAK 30](#_Toc61874919)

[5. PRILOG 32](#_Toc61874920)

[5.1. Skraćenice 32](#_Toc61874921)

[5.2. Popis slika 32](#_Toc61874922)

[5.3. Literatura 32](#_Toc61874923)

# OPIS MATEMATIČKOG MODELA

## 1.1. Analiza matematičkog modela

Analiza tokova snaga provode se u okviru planiranja, projektiranja i eksploatacije elektroenergetskih sistema. Obično se odnose na analizu sistema koji se nalaze u stacionarnom stanju, pri čemu se pretpostavlja da su elementi sistema simetrični. Pored toga, usvaja se da su i potrošači simetrični, tj. da oni uzimaju istu vrijednost snage po pojedinim fazama. Ovakav pristup, koji se u najvećem broju slučajeva odnosi na realna stanja EES, omogućuje formuliranje problema samo na direktnoj shemi. Najveći broj metoda i računarskih programa za analize tokova snaga baziran je na prethodnim pretpostavkama.

U slučaju nesimetričnih elemenata sistema i nesimetričnih potrošača, potrebno je problem formulisati kao trofazni, što bitno usložnjava problem.

Analize tokova snaga u složenim EES doživjele su značajan napredak pojavom digitalnih računara. Performanse digitalnih računara se iz dana u dan poboljšavaju, tako da je danas moguće analizirati vrlo složene sisteme na personalnim računarima. Mogućnosti paralelnog računanja, poboljšanje preciznosti, tehnika rijetko popunjenih matrica, te uvođenje računarske grafike omogućili su razvoj vrlo moćnih univerzalnih računarskih programa.

*Danas se analze tokova snaga gotovo rutinski provode, uz korištenje odgovarajućih računarskih programa. Razvijen je veliki broj univerzalnih računarskih programa, a oni se svakodnevno unapređuju u cilju postizanja boljih performansi (brže računanje, veći problemi, preciznije modeliranje grafika i objektno orijentirano programiranje, optimizacije, analize u realnom vremenu...).*

### 1.1.1 Formuliranje problema

Problem raspodjele tokova snaga možem formulisati na sljedeći način:

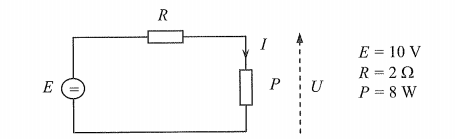
''*Za zadatu konfiguraciju EES, poznatu proizvodnju generatora i poznatu potrošnju potrošača, odrediti napone svih sabirnica, te na osnovu njih odrediti tokove snaga i gubitke na pojedinim elementima sistema.''*

Pored ove generalne formulacije moguća su i izvjesna odstupanja (poznat modul napona pojedinih sabirnica, definiran opseg reaktivne proizvodnje generatora), pri čemu ona bitnije ne remete osnovni model i lako se uzimaju u obzir.

Osnovna karakteristika problema tokova snaga je u tome što je problem, odnosno rezultirajući sistem jednačina nelinearan, pa je za njegovo rješavanje potrebno primjeniti neki od iteracijskih postupaka.

Čak i jednostavni primjeri ukazuju na kompleksnost problema. Kada imamo sistem sa više sabirnica, problem se komplicira jer svako novo opterećenje utiče na napone svih sabirnica.

*Primjer 1.*Na slici 1 prikazano je jednostavno električno kolo, pri čemu potrošač uzima snagu P, a napon na izvoru E i otpor R su poznati. Vrijednost parametara razmatranog problema date su na slici. Odrediti napon na potrošaču i struju koju potrošač uzima.



**Slika br.1.1**  Formuliranje problema tokova snaga na jednostavnom primjeru

Na osnovu slike 1. možemo pisati sljedeće jednadžbe:

(1)

(2)

Iz jednadžbe (2) dobijemo izraz za napon na potrošaču:

(3)

Prema tome, za određivanje npona na potrošaču za ovaj primjer potrebno je riješiti kvadratnu jednadžbu. Dobijamo dva rješenja:

(4)

Kada uvrstimo poznate vrijednosti:

= (5)

Dobit ćemo rješenja:

=1(A)

=4(A)

Oba rješenja su s matematičkog stajališta korektna, ali nisu prihvatljiva iz inženjerijskog ugla gledanja na problem. Naime, s obzirom da je gubitak snage na otporniku:

(6)

Daleko veći pri struji od 4 A, pa nam ovo rješenje ne odgovara. Primjetimo također, da u slučaju kada je:

(7)

Rješenje za napon postaju imagniarna, odnosno ne postoje.Ovakva situacija se u praksi javlja u slučaju kada opterećenje potrošača nailazi prijenosne mogućnosti sistema.

Navedini jednostavni prijmer ukazuje na kompleksnost problema. Kada imamo sistem s više sabirnica, problem se komplicira jer svako novo opterećenje utječe na napone svih sabirnica.Primjeri iz električnih kola jednosmjerne struje omogućavaju lakše praćenje izlaganja modela raspodjele tokova snaga.

## TOKOVI SNAGA U TROFAZNIM SISTEMIMA

### 1.2.1. Osnovne jednačine:

Problem raspodjele tokova snaga u trofaznim elektroenergetskim sistemima formuliramo u sistemu jediničnih vrijednosti (p.u. – per unit sistem). Ako u sistemu jediničnih vrijednosti, za baznu snagu usvojimo trofaznu snagu, a za bazni napon linijski napon, onda se problem može analizirati kao da se radi o jednofaznom kolu. Na taj način, kompeksnu vrijednost snage možemo izraziti kao (bez - p.u. sistem):

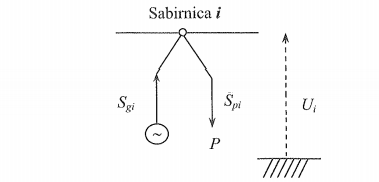
|  |  |
| --- | --- |
| S=IU\* | (8) |

gdje:   
 \* - označava konjugirano kompleksnu vrijednost.

Iz ove jednačine dobijemo izraz za odgovarajuću jediničnu struju:

I = (9)

Kod razmatranja proizvoljne sabirnice u EES, ostavljamo mogućnost da na njoj može biti priključen i generator i potrošač.



**Slika br.1.2** Definiranje opće sabirnice s generatorom i s potrošačem

Prema slici 2 imamo:

-proizvodnja generatora,

-potrošnja porošača,

-napon sabirnice *i.*

Ekvivalentna snaga (snaga koja preko sabirnice *i* ide u sistem) dobije se kada se od proizvodnje oduzme potrošnja, tj.:

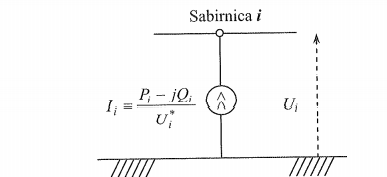
(10)

Izraz (10) odnosi se na sabirnicu s generatorom i s potrošačem. S njime je moguće obuhvatiti različite slučajeve:

* Priključenje samo generatora:
* Priključenje samo potrošača:
* Sabirnica bez generatora i bez potrošača:

Ekvivalentni generator predstavljamo preko odgovarajućeg strujnog izvora, slika(3) čija je struja jednaka:

(11)

****

**Slika br. 1.3** Ekvivalentni generator predstavljen preko strujnog izvora

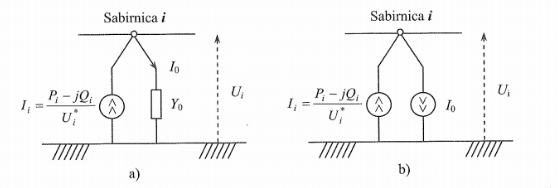
Ako sve generatore i sve potrošače u EES predstavimo preko ekvivalentnih strujnih izvora, te za kompletan EES napišemo sistem jednadžbi postavljen po metodi napona čvorova, dobijamo:

... (10)

Indeks 0 odgovara tzv. Referentnoj sabirnici u problemu raspodjele tokova snaga. Kako smo mogli vidjeti ranije, u formuliranju problema raspodjele tokova snaga mora biti poznat napon jedne sabirnice i to iz dva razloga:

* Mora biti definiran napon pri kojem se vrši prijenos snage.
* Poznata je proizvodnja i potrošnja na pojedinim sabirnicama.Međutim, u početku nisu poznati gubici na pojedinim elementima sistema, tako da nije moguće odrediti generatore koji pokrivaju gubitke u sistemu. Zbog toga se referentnoj sabirnici pridružuje fiktivni generator koji pokriva gubitke u sistemu i eventualnu razliku između ukupne proizvodnje i ukupne potrošnje.

### 1.2.2. Predstavljanje pojedinih elemenata sistema

* Generatori i potrošači  
  Predstavljanje generatora i potrošača kod analize problema raspodjele tokova snaga prikazano je ranije. Snaga potrošača i proizvodnje generatora predstavljaju trofazne vrijednosti, pri čemu za bazne napone i baznu snagu uzimamo linijske napone i trofaznu snagu. Ekvivalentni generator, koji predstavlja razliku između proizvodnje i potrošnje na pojedinim sabirnicama, predstavljamo preko odgovarajućeg strujnog izvora.
* Otočne provodnosti  
  Otočne provodnosti, koje se nalaze spojene između odgovarajuće sabirnice i zemlje, pojavljuju se kod uzimanje u obzir kapaciteta vodova, kabela i kondenzatorskih baterija, induktiviteta otočnih reaktora (prigušnica), provodnosti uslijed nenominalnog položaja regulacione sklopke transformatora, gubitaka u transformatorima itd. Otočne provodnosti mogu se direktno uključiti u odgovarajuću matricu provodnosti sistema (nalaze se na odgovarajućim dijagonalnim mjestima) ili se mogu tretirati kao dopunski strujni izvor.  
  Na sljedećoj slici (a)) je prikazan ekvivalentni strujni izvor (kojim predstavljamo ekvivalentni generator) i otočna provodnosti Y0. Ako otočnu provodnost zamijenimo s dopunskim strujnim izvorom, dobit ćemo shemu datu na slici (b)):  
  

**Slika br. 1.4** Predstavljanje otočne pogodnosti preko dopunskog strujnog izvora

Rezultirajuća čvorna struja sabirnice ***i*** iznosi:

Ini = Ii – I0 = (11)

Kao što vidimo, struja dopunskog strujnog izvora, nastalog uslijed predstavljanja otočne grane funkcija je napoznatog napona Ui (kao i struja izvora ekvivalentnog generatora).  
Predstavljanje otočne provodnosti preko dopunskog strujnog izvora ima prednost u slučajevima kada se otočne provodnosti mijenjaju (po iznosu i po položaju), a ostali dio mreže ostaje isti. Na ovaj način, osnovna matrica [Y], koja ne uključuje otočne provodnosti, formulira se samo jednom, a promjene otočnih provodnosti uzimaju se u obzir preko dopunskih strujnih izvora. Međutim, treba imati u vidu da isključivanje otočnih provodnosti iz matrice [Y] utiče na snižavanje dijagonalne dominantnosti ovih matrica, što može uticati na konvergenciju rješenja kod tzv. 'slabo uvjetovanih' sistema.

* Visokonaponski vodovi i kabeli

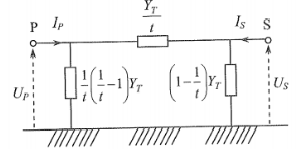
Visokonaponski vodovi i kabeli predstavljaju se preko ekvivalentne π sheme. Zadaje se samo direktna shema (problem simetričan), a važno je uzeti u obzir sve elemente ove sheme (aktivni otpor, reaktansu i dozemni kapacitet). Dozemni kapacitet može se uključiti direktno u odgovarajuću matricu provodnosti ili tretirati kao dopunski strujni izvor (kako je to ranije obrađeno).

* Koncentrirani parametri

Koncentrirani parametri (otpori, induktiviteti i kapaciteti), spojeni između sabirnica predstavljaju se preko grana čija je provodnost jednaka provodnosti razmatranog koncentriranog elementa. Ova grana može poslužiti za predstavu serijske kombinacije koncentriranih parametara (serijska veza otpora, induktiviteta i kapaciteta). Provodnost grane mora biti različita od nule.

* Energetski transformatori

Predstavljanje energetskih transformatora obrađeno je u posebnom poglavlju. Uzimanje u obzir otočne grane zamjenske sheme transformatora, koja je određena pokusom praznog hoda ovisi o značaju gubitaka praznog hoda transformatora. Ako se gubici praznog hoda transformatora mogu zanemariti, onda se ova grana ne uzima u obzir. Kada se gubici praznog hoda razmatraju, ova grana se predstavlja kao i ostali otočni elementi.  
Kod regulacionih transformatora, važno je uzeti u ibzir položaj regulacione sklopke. Zamjenska shema transformatora s nenominalnim položajem regulacione sklopke data je na sljedećoj slici:



**Slika br. 1.5** Zamjenska shema transformatora s nenominalnim položajem regulacione sklopke

Gdje YT predstavlja provodnost serijske grane određene na osnovu podataka iz pokusa kratkog spoja, dok je sa t označen jedinični položaj regulacione sklopke.  
Tronamotajni transformatori predstavljaju se sa tri grane, čije su provodnosti određene pokusima kratkih spojeva. Otočna grana, koja je dobijena pokusom praznog hoda (ako se uzima u obzir), priključuje se na sabirnicu koja odgovara namotaju koji je najbliži magnetskom kolu.  
Ako se radi o regulacionom tronamotajnom transformatoru, onda se shema data na slici primjenjuje na granu koja odgovara namotaju na kojem se nalazi regulaciona sklopka (YT se mijenja sa provodnošću odgovarajuće grane).  
Primjetimo da kod tronamotajnih transformatora imamo fiktivnu (četvrtu= sabirnicu, koja odgovara zajedničkom spoju svih grana transformatora. U modelu za proračun raspodjele tokova snaga ova se sabirnica tretira kao sabirnica bez proizvodnje i bez potrošnje.

### 1.2.3.Iteracijski postupci rješavanja sistema jednačina dobijenih formuliranjem problema raspodjele tokova snaga

Za iteracijsko rješavanje sistema jednačina dobijenog formulisanjem problema raspodjele tokova snaga, korist se neki od sljedećih iteracijskih postupaka:

* Jacobijev postupak
* Gauss-Seidelov postupak
* Postupak (metoda) sukcesivne nadrelaksacije,
* Newton-Raphsonov postupak

Napomenimo da je ponekad moguće koristiti i dva različita iteracijska postupka unutar iste iteracijske sheme. Tako je npr. moguće iteracijski postupak započeti s jednim postupkom, a nakon određenog broja iteracija preći na iteracijski postupak druge vrste.  
U ovom dijelu kratko izlažemo prva tri iteracijska postupka:

* Jacobijev iteracijski postupak

Po ovom postupku, rješenja u k+1 iteracijskom ciklusu dobiju se tako što se u odgovarajuće jednačine uvrštavaju sve veličine iz prethodnog (k-tog) iteracijskog ciklusa.

* Gauss-Seidelov iteracijski postupak

Ovaj postupak predstavlja modifikaciju Jacobijevog postupka. Sastoji se u tome što se prethodno izračunate vrijednosti u k+1 iteracijskom ciklusu koriste u istom ciklusu, dok se veličine koje nisu pretodno određene uzimaju iz k-tog iteracijskog ciklusa.

* Postupak sukcesivne nadrelaksacije

Ovaj postupak se sastoji u tome što se, rješenje dobijeno standardnim Gauss-Seidelovim postupkom, prije daljnjeg korištenja, modificira (ubrzava).  
Za ovo se koristi jednačina koja ima sljedeći oblik:

U(k+1)' = Uk + α(Uk+1 – Uk) (12)

U(k+1)' – modificirana (ubrzana) vrijednost  
Uk+1 – vrijednost dobijena Gauss-Seidelovim postupkom,  
Uk – vrijednost iz prethodnog (k-tog) iteracijskog ciklusa,  
α - koeficijent ubrzanja (nadrelaksacije).

Koeficijent nadrelaksacije kreće se u granicama 1<α<2 i određuje se iskustveno. Za probleme proračuna raspodjele tokova snaga, α daje zadovoljavajuće rezultate ako se nalazi između 1,4 i 1,6.

## 1.3. Z-MATRIČNA METODA

Ova metoda rješavanja problema raspodjele tokova snaga slična je Y matričnoj metodi, razlika je u tome što se, prije početka iteracijskog postupka izvrši inverzija matrice provodnosti [Y].

Ukoliko jednačinu [Y][U]=[I] pomnožimo sa [Y]-1 dobit ćemo:

[Y][U]=[I] / [Y]-1  
 [U]=[Y]—1[I] (13)  
 [U]=[Z][I]

gdje je:  
 [Z] – matrica impedansi, dobijena inverzijom matrice provodnosti.

Jednačina [U]=[Z][I] napisana u razvijenom obliku glasi:

U1 = Z11I1 + Z12I2 + ... + Z1NIN  
 U2 = Z21I1 + Z22I2 + ... + Z2NIN

(\*\*\*) (14)  
   
 UN = ZN1I1 + ZN2I2 + ... + ZNNIN

Čvorne struje, određene prema naponima iz k-tog iteracijskog ciklusa imaju oblik:

= (15)

Sistem jednačina za Gauss-Seidelov iteracijski postupak glasi:

= Z11 + Z12 + Z13 + ... + Z1N   
 = Z21 + Z22 + Z23 + ... + Z2N  
 (\*\*\*) (16)  
 = ZN1 + ZN2 + ZN3 + ... + ZNN.

Iteracijski postupak započinje usvajanjem početnog vektora napona sabirnica. Na osnovu njega, odrede se lvorne struje po izrazu (15), a nakon toga novi naponi preko jednačina (16). Postupak se ponavlja sve dok se ne postigne konvergencija rješenja. Kod ovog postupka rješavanja problema tokova snaga moguće je pratiti i promjene čvornih struja ili odstupanja između izračunatih i zadatih snaga.

Ako uporedimo Z-matričnu metodu rješavanja problema tokova snaga s Y-matričnom metodom, onda uočavamo dvije bitne razlike:

* Z-matrična metoda zahtjeca prethodnu inverziju matrice provodnosti, što traži određeno računarsko vrijeme (posebno kod analize sistema sa velikim brojem sabirnica).
* Matrica [Z], dobijena inverzijom matrice [Y] puna je matrica (svi članovi različiti od nule), bez obzira na rijetku popunjenost matrice provodnosti. Ovo zahtijeva daleko veće iznose centralne memorije računara.

Međutim, navedeni nedostaci Z-matrične metode kompenziraju se sa njenim izvanrednim karakteristikama s obzirom na kovergenciju rješenja. Naime, dok nam za dobijanje zadovoljavajućeg rješenja po Y-matričnoj metodi može biti potrebno desetak ili nekoliko desetina iteracija, Z-matrična metoda rješavanja problema raspodjele tokova snaga najčešće konvergira u nekoliko iteracija. Pored toga, poznato je da Y-matrična metoda može dovesti do divergencije rješenja i u slučajevima kada se drugim metodama može postići konvergencija (kao npr. sa Z-matričnom metodom).

Razlog za dobre karakteristike Z-matrične metode, s obzirom na konvergenciju rješenja, treba tražiti u punoj [Z] matrici. Puna [Z] matrica znači da se promjena napona na jednoj sabirnici odražava na promjene napona na svim ostalim sabirnicama sistema.

Visoki memorijski zahtjevi Z-matrične metode mogu se izbjeći faktorizacijom matrice [Y]. Naime, faktor matrice (npr. donja i gornja trougaona faktor matrica) zadržavaju osobinu rijetke popunjenosti izvorne matrice. Rješavanje sistema jednačina primjenom faktorizacije izvorne matrice, ekvivalentno je množenju matrice [Z] s odgovarajućim vektorom čvornih struja. Pored tog, postupak koji koristi faktorizaciju izvorne matrice za rješavanja matričnog sistema jednačina, brže se sprovodi od postupka rješavanja sistema s inverznom matricom.

Sabirnice sa zadatim modulom napona (tip sabirnice P|U |) uzimaju se u obzir slično postupku uvedenom kod Y-matričnog metoda.

Neka su zadata aktivna snaga i modul napona sabirnice m. Izdvojimo iz sistema jednačinu (14) koja odgovara sabirnici m:

Um = Zm1I1 + Zm2I2 + ... + ZmmIm + ... + ZmNIN. (17)

Prebacimo na lijevu stranu ove jednačine samo član koji odgovara struji Im, tj:

ZmmIm = Um – Zm1I1 – Zm2I2 - ... - ZmNIN = Um – (18)

Koristeći se jednačinom:

Im = (19)

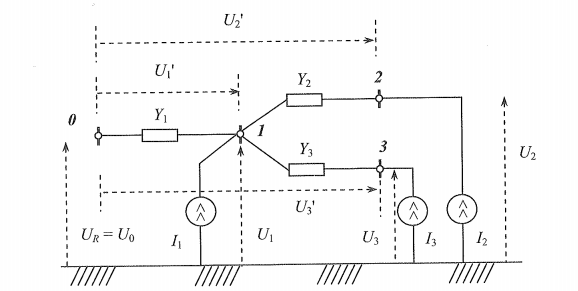
dobit ćemo:

Qm = Im[-Ym0U0 – (Um – (20)

Preostali dio postupka identičan je onome kod Y-matrične metode.

U prethodnim razmatranjima matrica [Y], pa samim tim i matrica [Z] bile su postavljene u odnosu na zemlju kao referentnu sabirnicu. Ovdje treba napraviti razliku između zemlje kao referentne sabirnice, koju koristimo za postavljanje odgovarajućih matrica po metodi napona čvorova i referentne sabirnice koja je neophodna za rješavanje problema raspodjele tokova snaga. Referentnu sabirnicu, karakterističnu za model analize raspodjele tokova snaga označili smo sa indeksom 0 (ona ima zadat napon prema zemlji).

Za razliku od standradne Z-matrične metode, postoji, takozvana alternativna Z matrična metoda, kod koje se matrica provodnosti ne postavlja u odnosu na zemlju (kao ranije), nego u odnosu na , za tokove snaga karakterističnu referntnu sabirnicu 0. Ovu metodu objasnit ćemo uz pomoć primjera prikazanom na slici:



**Slika br. 1.6** Primjer postavljanja matrice provodnosti u odnosu na za tokove snaga referentnu sabirnicu 0

Napon za tokove snaga karakterističnu referentnu sabirnicu iznosi U0=UR. Ostale oznake sa slike su:

-naponi sabirnica prema za tokove snaga referentnoj sabirnici,

--naponi sabirnica prema zemlji,

-čvorne struje.

Veza između napona sabirnica prema zemlji i napona sabirnica prema referntnoj sabirnici 0. prema slici je

(21)

Matrična jednadžba postavljena po metodi napona čvorova, ali ovaj put u odnosu na, za tokove snaga, referentnu sabirnicu 0 glasi:

= (22)

Strujni izvori pojedinih čvorova obuhvaćaju ekvivelentni generator i otočne odvodnosti. Primjetimo da u ovoj formulaciji matrice provodnosti, otočne provodnosti moramo predstaviti kao dopunske strujne izvore.Vrijednosi struja pojedinih strujnih izvora su:

(23)

gdje su:

- otočne provodnosti

Potrebno je uočiti da su strujni izvori, dati jednadžbama (23), definirani preko napona sabirnica prema zemlji.

Ako načinimo inverziju matrice provodnosti iz jednadzbe(22), dobit ćemo osnovnu matrični jednadžu, koju koristimo za provedbu odgovarajućeg iteracijskog postupka:

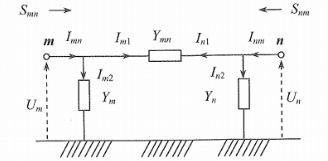
(24)

Interacijski postupak sprovodi se na sljedeći način:

* usvoji se početni vektor napona sabirnica prema zemlji [U]0. Na osnovu ovog vektora odeređuju se čvorne struje [jednadžbe (23)],
* množenjem matrice [Z] s vektorom čvornih struja, dobije se vektor napona sabirnica prema referentnoj sabirnici 0 (vektor napona [U]').,
* korištenjem pomoćnog izraza (21) određujemo napone sabirnica prema zemlj,
* postupak se ponavlja do postizanja konvergencije.

## 1.4. DEFINIRANJE SNAGA I GUBITAKA NA PROIZVOLJNIM π ELEMENTIMA

Visokonaponske vodove i kabele, kao i transformatore s nenominalnim prijenosnim odnosom predstavljamo preko ekvivalentnih π četveropola. Odgovarajući parametri ovog četveropola odnose se na dikretnu shemu. Na sljedećoj slici je prikazan proizvoljan π četveropol spojen između sabirnica m i n:



**Slika br. 1.7** Proizvoljan π četveropol spojen između sabirnica m i n

Gdje je :

Um, Un – naponi sabirnica m i n;  
 Smn(Imn) – snaga (struja) koja teče od sabirnice n ka sabirnici m  
 Snm(Inm) – snaga (struja) koja teče od sabirnice n ka sabirnici m.

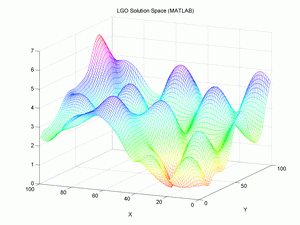
# OPIS KORIŠTENOG ALATA (SOFTVERA)

**Matlab**

**Matlab** je viši programski jezik namenjen obradi podataka u formi matrica i brojeva. Sam naziv Matlab izveden je od  ***Matrix Laboratory***,  čime se sugeriše da su matrice osnovni entiteti za numeričke proračune. Zahvaljujući fleksibilnom okruženju, širokom spektru ugrađenih funkcija kojima se efikasno dolazi do numeričkih rješenja, mogućnošću razvoja algoritama i programiranja, Matlab se nametnuo kao nezamenjiv alat za rešavanje problema u gotovo svim oblastima inženjerske prakse.

 Programski paket Matlab omogućava interaktivan i programski rad. U interaktivnom radu naredbe se zadaju u promptu komandnog prozora Matlaba i interpretiraju odmah po zadavanju. Prethodno otkucane naredbe ostaju u historiji i mogu se vratiti pritiskom na kursorski taster ↑ (gore), editovati i ponovo pokrenuti. Programi se takođe pozivaju iz komandnog prompta navođenjem imena i interpretiraju liniju po liniju.

Razmatranje struktura podataka u Matlabu izvešćemo u interaktivnom radu, uz pripadajuća objašnjenja, a zatim kreirati programe, sve u cilju upoznavanja sa Matlab okruženjem i realizacijom zadataka u vezi analize osnovnih osobina diskretnih i analognih signala i sistema.

.

**Slika br. 8**

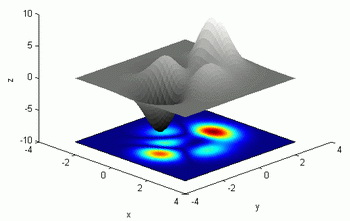
Najjednostavniji način da se upotrijebi Matlab jeste kao veoma moćan kalkulator. Aritmetičke, trigonometrijske ili eksponencijalne operacije se izvode posredstvom poziva ugrađenih Matlab funkcija. Osim osnovnih, Matlab je opremljen velikom kolekcijom funkcija koje omogućavaju veoma složene operacije. Pored toga, Matlab dopušta korisniku da definiše sopstvene funkcije.  
Potencijalni problemi mogu da se riješe uvođenjem skript datoteka, tj. datoteka koje sadrže jednu ili više naredbi koje bi se izvršile na isti način kao kad bi se jedna po jedna unosile u komandnu liniju u komandnom prozoru Matlaba.   
Za vreme jedne sesije rad sa Matlabom, tj. dokle god se ne napusti program, u memoriji se čuvaju najnovije vrijednosti svih definisanih promenjivih nastalih u komandnoj liniji ili u skript datoteci. Promijenjive se brišu iz memorije naredbom *clear*. Ako se želi da se iz memorije izbrišu samo pojedine promenjive to se čini naredbom clear i navođenjem liste identifikatora promijenjivih razdvojenih blanko karakterom.

Prilikom unosa matrice, elementi po vrstama se moraju razdvojiti ili blanko simbolom ili znakom (,), dok se vrste razdvajaju znakom (;). Važno je napomenuti, da ako se na mjestu nekog elementa eksplicitno napiše matematički izraz, onda između alfanumeričkih karaktera i simbola matematičkih operatora ne smiju da se stavljaju blanko karakteri. Matlab pruža više različitih načina da se dodele brojčane vrednosti vektoru. Jedan od načina da se specificira opseg vrijednosti i priraštaj između dva susjedna broja određenom naredbom. U Matlabu je moguće manipulisati matricama i vektorima, kao i vršiti operacije nad matricama i vektorima.

Kontrola toka izvršavanja naredbi u okviru programa napisanog u Matlabu se vrši pomoću sledeće četiri neredbe: ***while***, ***if***, ***for*** i ***switch***. Sintaksa ovih naredbi određuje da se svaka od ovih naredbi završava naredbom end.Svaka funkcija ima najmanje dve linije koda, pri čemu prva linija obavezno mora da ima zahtevani format.

 Matlab sadrži veoma fleksibilne funkcije za dvodimenzionalnu i trodimezionalnu grafiku. Ovim funkcijama je moguće generisati krive ili površi, vršiti manipulacije sa dijagramima i menjati karakteristike i notaciju na dijagramima.

 Svaki dijagram se kreira u prozoru slike, tj. u prozoru koji otvori Matlab za vreme izvršavanja funkcije koja kreira dijagram. Ako se u programu koristi više funkcija koje generišu dijagrame, Matlab će pri izvršavanju svake funkcije da kreira prozor slike koji će da prebriše prethodni.

**Slika br. 9**

Osim osnovnih funkcija, Matlab raspolaže dodatnim paketima alata za rešavanje posebnih klasa problema. ***Control Systems Toolbox*** obezbjeđuje funkcije koje su od posebne koristi za analizu i sintezu sistema automatskog upravljanja. Kako se u praksi javlja potreba za rješavanjem složenih problema, gde se sistem ne sastoji samo od objekta i upravljačkog sistema, već od više međusobno spregnutih podsistema, razvijene su funkcije kojima se dobijaju ekvivalentne prenosne funkcije redne, paralelne i povratne sprege. Uz pomoć tih, kao i ostalih funkcija iz ***Control Systems Toolbox***-a je moguće vršiti simulaciju sistema bilo iz komandne linije ili iz skript datoteke. S druge strane, ***SIMULINK Toolbox***, (u daljem tekstu: ***Simulink***) obezbeđuje grafičko okruženje, u kome se opisno skicira blok dijagram sistema i vrši njegova simulacija.

Simulink se pokreće iz komandne linije naredbom **Simulink** ili pomoću ikone u komandnom prozoru Matlaba. Važno je da se shvati da promenjive koje su definisane u komandnom prozoru Matlaba važe i u prozoru Simulinka.

**Excel**

Excel je jedan od najefikasnijih programa za grafo-analitičku i tabelarnu obradu podataka. Deo je programskog paketa Microsoft Office. On poseduje alate koje ubrazavaju i olakšavaju rad u radnim tabelama, jednostavan je za učenje, korišćenje i pokazuje brzo rezultate rada. Nastao u kompaniji Microsoft 1987. godine i od tada do danas je pretrpeo mnoge izmene. Može poslužiti i za izradu jednostavnijih [baza podataka](https://hr.wikipedia.org/wiki/Baza_podataka) (program koji služi za izradu složenijih baza podataka je [Microsoft Access](https://hr.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Access)). Na temelju unesenih podataka, lako iz tablica može stvarati grafikone. Također omogućuje dodavanje različitih objekata: tablica, slika, grafikona... Česta mu je primjena u uredima, gdje služi za izradu troškovnika, obračuna i sl. MS excel se sastoji od redaka i stupaca. Sjecište redaka i stupaca nazivaju se ćelije.Treba istaći da primena Excela ne zahteva programerska znanja i veštine od korisnika. Excel se može pokrenuti na više načina. Jedan od načina je pokretanje iz menija Start (Start--> Programs --> Microsoft Excel) ili dvostrukim klikom na ikonu programa ako se on nalazi na radnoj površini (Desktop).

Osnovni format koji Microsoft Excel rabi za spremanje svojih dokumenata je Excelova radna knjiga (XLS) a datotekama dodaje ekstenziju *.xls*, te Excelova proračunska tablica (XML). Može spremiti i kao Excelov predložak (XLT) i u mnogim drugim formatima. Microsoft Excel 2007 i noviji kao osnovni format koriste '**.xlsx'** Format datoteke koja sadrži VBA makronaredbu je **".xlsm**"

# 3. REZULTATI ISTRAŽIVAČKOG PROJEKTA

U okruženju programskog paketa Matlab, napisane su tri funkcije koje služe za unos podataka iz Excel Workbook-a (koji će biti priložen uz kompletnu dokumentaciju projekta), proračun toka snaga i ispisivanje rezultata dobijenih proračunom respektivno.

Programski kod funkcije koja se odnosi na unos podataka iz Excel WorkBook-a:

function [ns, epsilon, Sg, Upoznato, Sp, Z\_trafoa, t\_trafoa, Z\_konc, Z\_vodova, U\_ref, ugao\_ref] = Unos\_podataka\_projekat(naziv\_datoteke,naziv\_sheet)

%-------------- Funkcija za unos podataka iz Excel tabele -----------------

%--------------------------- Ulazni podaci --------------------------------

% naziv\_datoteke - String koji sadrzi ime Excel datoteke sa podacima

% naziv\_sheet - String koji sadrzi ime sheet-a u kojem se nalaze podaci

%-------------------------- Izlazni podaci --------------------------------

% ns - Broj sabirnica u mreži

% epsilon - Parametar konvergencije

% Sg - Matrica podataka o proizvodnji u mrezi (broj sabirnice i P)

% Upoznato - Poznati naponi na sabirnicama PU

% Sp - Matrica podataka o potrosnji u mrezi

% Z\_trafoa - Matrica podataka o impedansama transformatora mreze

% t\_trafoa - Uzimanje u obzir polozaja regulacione preklopke

% Z\_konc - Matrica podataka o koncentrisanim parametrima mreze

% Z\_vodova - Matrica podataka o impedansama vodova razmatrane mreze

% U\_ref - Vrijednost referentnog napona (p.u.)

% ugao\_ref - Vrijednost referentnog ugla (rad)

% Upis broja sabirnica

ns = xlsread(naziv\_datoteke,naziv\_sheet,'A1');

%Upis parametra konvergencije

epsilon = xlsread(naziv\_datoteke, naziv\_sheet, 'A45');

% Upis podatka o generatorima

ng = xlsread(naziv\_datoteke,naziv\_sheet,'A2');

brojac = 2+ng;

broj\_slovo = num2str(brojac);

granice = strcat('A','3',':','C',broj\_slovo);

granice\_naponi1 = strcat('A', '3', ':', 'A', broj\_slovo);

granice\_naponi2 = strcat('D', '3', ':', 'D', broj\_slovo);

granice\_naponi3 = strcat('E', '3', ':', 'E', broj\_slovo);

Sg = xlsread(naziv\_datoteke,naziv\_sheet,granice);

Upoznato = zeros(4,2);

Upoznato(:,1) = xlsread(naziv\_datoteke, naziv\_sheet, granice\_naponi1);

Upoznato(:,2) = xlsread(naziv\_datoteke, naziv\_sheet, granice\_naponi2);

Upoznato(:,3) = xlsread(naziv\_datoteke, naziv\_sheet, granice\_naponi3);

% Upis podataka o potrosacima

pocetak = brojac + 1; %pocetak = 7

broj\_slovo = num2str(pocetak);

vrijednost = strcat('A',broj\_slovo);

np = xlsread(naziv\_datoteke,naziv\_sheet,vrijednost);

pocetak = pocetak + 1;

slovo\_1 = num2str(pocetak);

kraj = pocetak + np - 1;

slovo\_2 = num2str(kraj);

granice = strcat('A',slovo\_1,':','C',slovo\_2);

Sp = xlsread(naziv\_datoteke, naziv\_sheet, granice);

% Upis podataka o transformatorima

pocetak = kraj + 1; %19

broj\_slovo = num2str(pocetak);

vrijednost = strcat('A',broj\_slovo);

ntrafoa = xlsread(naziv\_datoteke,naziv\_sheet,vrijednost);

pocetak = pocetak + 1;

slovo\_1 = num2str(pocetak);

kraj = pocetak + ntrafoa - 1; %24

slovo\_2 = num2str(kraj);

granice = strcat('A',slovo\_1,':','D',slovo\_2);

granice\_t = strcat('E', slovo\_1, ':', 'E', slovo\_2);

Z\_trafoa = xlsread(naziv\_datoteke, naziv\_sheet, granice);

t\_trafoa = xlsread(naziv\_datoteke, naziv\_sheet, granice\_t);

%Upis podataka o koncentrisanim parametrima

pocetak = kraj + 1; %25

broj\_slovo = num2str(pocetak);

vrijednost = strcat('A',broj\_slovo);

nkonc = xlsread(naziv\_datoteke,naziv\_sheet,vrijednost);

pocetak = pocetak + 1; %26

slovo\_1 = num2str(pocetak);

kraj = pocetak + nkonc - 1;

slovo\_2 = num2str(kraj);

granice = strcat('A',slovo\_1,':','D',slovo\_2);

Z\_konc = xlsread(naziv\_datoteke,naziv\_sheet,granice);

%Upis podataka o vodovima

pocetak = kraj + 1; %27

broj\_slovo = num2str(pocetak);

vrijednost = strcat('A',broj\_slovo);

nvodova = xlsread(naziv\_datoteke,naziv\_sheet,vrijednost);

pocetak = pocetak + 1;

slovo\_1 = num2str(pocetak);

kraj = pocetak + nvodova - 1;

slovo\_2 = num2str(kraj);

granice = strcat('A',slovo\_1,':','D',slovo\_2);

Z\_vodova = xlsread(naziv\_datoteke,naziv\_sheet,granice);

% Upis podataka o referentnom naponu i uglu

pocetak = kraj + 1;

broj\_slovo = num2str(pocetak);

vrijednost = strcat('A',broj\_slovo);

U\_ref = xlsread(naziv\_datoteke,naziv\_sheet,vrijednost);

vrijednost = strcat('B',broj\_slovo);

ugao\_ref = xlsread(naziv\_datoteke,naziv\_sheet,vrijednost);

Sva dodatna objašnjenja su već prikazana kroz komentare u kodu.

Programski kod funkcije koja se odnosi na proračun toka snaga:

function [iteracija, Usabirnica, I] = Proracun\_TS\_projektni(ns, epsilon, Sg, Upoznato, Sp, Z\_trafoa, t\_trafoa, Z\_konc, Z\_vodova, U\_ref, ugao\_ref)

%------------------ Funkcija za proracun tokova snaga ---------------------

% I - vektor kolona cvornih struja za iteraciju u kojoj rjesenje konvergira

%-------------------------- Izlazni podaci --------------------------------

% iteracija - Podatak o broju iteracija do postignute konvergencije

% Usabirnica - Matrica podataka o naponima tokom iteracija

% Pretvorba unesenih impedansi u provodnosti

a = length(Z\_trafoa(:, 1));

b = length(Z\_konc(:, 1));

c = length(Z\_vodova(:, 1));

dimenzije = a + b + c;

Z\_grana = zeros(dimenzije, 4);

for i = 1 : a

for j = 1 : 4

Z\_grana(i, j) = Z\_trafoa(i, j);

end

end

for i = 1 : b

for j = 1 : 4

Z\_grana(i + a, j) = Z\_konc(i, j);

end

end

for i = 1 : c

for j = 1 : 4

Z\_grana(i + a + b, j) = Z\_vodova(i, j);

end

end

[n, m] = size(Z\_grana);

for i=1:1:n

Y\_grana(i,1) = Z\_grana(i,1);

Y\_grana(i,2) = Z\_grana(i,2);

realni = Z\_grana(i,3);

imaginarni = Z\_grana(i,4);

if realni == 0

imaginarni = complex(0,imaginarni);

impedansa = 1/imaginarni;

else

realni = complex(realni,0);

imaginarni = complex(0,imaginarni);

impedansa = 1/(realni+imaginarni);

end

Y\_grana(i,3) = impedansa;

end

% Popunjavanje matrice Y

[br\_redova,br\_kolona] = size(Y\_grana);

Y = zeros(ns, ns);

% Popunjavanje provodnosti izmedju cvorova

for i=1:1:br\_redova

prvi = uint8(Y\_grana(i,1));

drugi = uint8(Y\_grana(i,2));

if (drugi ~= 0)

Y(prvi,drugi) = -1 \* Y\_grana(i,3);

Y(drugi,prvi) = Y(prvi,drugi);

end

end

% Popunjavavanje dijagonalnih elemenata bez otocnih provodnosti

for i=1:1:ns

Y(i,i) = -1\*sum(Y(i,:));

end

% Popunjavanje dijagonalnih elemenata i otocnih provodnosti

for i=1:1:br\_redova

prvi = uint8(Y\_grana(i,1));

drugi = uint8(Y\_grana(i,2));

if (drugi == 0)

Y(prvi,prvi) = Y(prvi,prvi) + Y\_grana(i,3);

end

end

%okej

% Formiranje vektora snaga proizvodnje i potrosnje u mrezi

% Popunjavanje proizvodnje

S = zeros(ns,1);

[n, ~] = size(Sg);

for i=1:1:n

sabirnica = uint8(Sg(i,1));

% Popunjavanje proizvodnje sa predznakom "+" u vektor snaga

S(sabirnica,1) = complex(Sg(i,2), Sg(i,3));

end

% Popunjavanje potrosnje

[n, m] = size(Sp);

for i=1:1:n

sabirnica = uint8(Sp(i,1));

% Popunjavanje potrosnje sa predznakom "-" u vektor snaga

S(sabirnica,1) = -complex(Sp(i,2), Sp(i,3));

end

% Proracun tokova snaga

iteracija = 1;

Usabirnica = zeros(ns,500); % Definisanje veoma velikih matrica

I = zeros(ns-1, 500);

% Z matricni metod - Gauss - Seidel

%Poznat nam je utjecaj referentne sabirnice i napon na njoj

Y0 = Y(:, 1);

Y(1,:) = [];

Y(:,1) = [];

%Prije iteracijskog postupka izvrsimo inverziju matrice Y

Z = inv(Y);

%Usvajanje pocetnog vektora napona sabirnica

for j = 1 : (ns-1)

Usabirnica(j,iteracija) = complex(1,0); % 1 (p.u.)

end

% Posljednji element je referentni cvor

napon = U\_ref\*exp(complex(0,ugao\_ref));

Usabirnica(ns,iteracija) = napon;

% Unosimo module poznatih napona

for i = 1 : length(Upoznato(:, 1))

pozicija = uint8(Upoznato(i, 1));

Usabirnica(pozicija, iteracija) = Upoznato(i, 2)\*exp(complex(0, Upoznato(i,3)));

end

iteracija = iteracija+1;

% Iterativni ciklus

while true

%Cvorne struje

for j = 1 : (ns-1)

I(j, iteracija - 1) = (conj(S(j)) / conj(Usabirnica(j, iteracija - 1))) - (Y0(j)\*napon);

end

U = Z \* I(:,iteracija-1); % 13\*1

Usabirnica(1:ns-1,iteracija) = U;

% Nakon proracuna napona sabirnica, prepisuje se referentna sabirnica i

% poznati naponi na sabirnicama ali smo uzeli da su i uglovi napona na

% PU sabirnicama poznati

for i = 1 : length(Upoznato(:, 1))

pozicija = uint8(Upoznato(i, 1));

Usabirnica(pozicija, iteracija) = Usabirnica(pozicija, iteracija - 1);

end

Usabirnica(ns,iteracija) = Usabirnica(ns,iteracija-1);

razlika = max(abs(abs(Usabirnica(:,iteracija))-abs(Usabirnica(:,iteracija-1))));

iteracija = iteracija + 1;

if razlika < epsilon & iteracija > 2

% Povratak jedne iteracije (radi povecanja u petlji, prekid)

iteracija = iteracija - 1;

break;

end

end

% Skracivanje matrice (izuzimanje nulte iteracije - pocetni uslovi)

Usabirnica = Usabirnica(1:ns,2:iteracija);

iteracija = iteracija - 1;

%Cvorne struje

I = I(:, iteracija);

end

Komentar: Obzirom da iz Excel WorkBook-a unosimo podatke koji se tiču pojedinih elemenata razmatranog IEEE 14 sabirničkog sistema, potrebno je napraviti ukupnu matricu impedansi koja nam služi za dalji proračun toka snaga. Data matrica je varijabla pod nazivom Z\_grana i po redovima obuhvata broj sabirnica između kojih se nalazi dati element te aktivni i reaktivni otpor te grane. Ta matrica nam dalje služi za formiranje matrice Y\_grana, koja umjesto aktivnog i reaktivnog otpora sadrži kompleksan broj koji je recipročna vrijednost kompleksnog broja čiji realni dio čini aktivni otpor elementa matrice Z\_grana a imaginarni dio reaktivni otpor iste. Nakon toga formiramo matricu admitansi, Y, pomoću matrice Y\_grana. Obzirom da smo iz Excel WorkBook-a unijeli i podatke o proizvodnji i potrošnji, nakon toga formiramo matrice Sp i Sg koje će sadržavat brojeve sabirnica i njihove ekvivalentne proizvodnje odnosno potrošnje, nakon čega započinje iteracijski proces. Prije nego počnemo iteracijski proces, unesemo poznate vrijednosti napona i uglova napona (uzeto je da je na PU sabirnicama poznat i ugao napona radi lakšeg pisanja koda) te računamo vrijednosti napona na sabirnicama sve dok razlika između napona u dvije susjedne iteracije ne bude manja od parametra konvergencije epsilon. Dobili smo kao rezultat napone na sabirnicama i njihove uglove, a i vektor čvornih struja posljednje iteracije.

Programski kod za funkciju koja ispisuje rezultate proračuna:

% Poziv funkcije za unos podataka

[ns, epsilon, Sg, Upoznato, Sp, Z\_trafoa, t\_trafoa, Z\_konc, Z\_vodova, U\_ref, ugao\_ref] = Unos\_podataka\_projekat('Projektni\_zadatak','Podaci');

% Poziv funkcije za proracun tokova snaga

[iteracija, Usabirnica, I] = Proracun\_TS\_projektni(ns, epsilon, Sg, Upoznato, Sp, Z\_trafoa, t\_trafoa, Z\_konc, Z\_vodova, U\_ref, ugao\_ref);

% Ispis rezultata

disp('Z matricni metod - Gauss Seidel-ov postupak');

fprintf('\nBroj iteracija: %d\n', iteracija);

disp('Moduli napona sabirnica nakon iteracija: ');

disp(abs(Usabirnica(:,iteracija)));

disp('Uglovi napona sabirnica nakon iteracija: ');

disp(angle(Usabirnica(:,iteracija)));

%Naponi na sabirnicama nakon proracuna

Usabirnica = Usabirnica(:, iteracija);

%Uglovi napona na sabirnicama nakon proracuna

Uuglovi = angle(Usabirnica);

%Snaga na sabirnicama

Ssabirnica = Usabirnica(1:ns-1,:).\*conj(I);

%Aktivna i reaktivna snaga na sabirnicama

disp('Aktivna snaga na sabirnicama nakon iteracija: ');

disp(real(Ssabirnica));

disp('Reaktivna snaga na sabirnicama nakon iteracija: ');

disp(imag(Ssabirnica));

Komentar: Ispisujemo podatke o naponima na sabirnicama i uglovima tih napona te ekvivalente prividne snage sabirnica.

U okviru proračuna matrice Y\_grana trebalo je uzeti u obzir i vrijednost koja opisuje položaj regulacione preklopke transformatora, međutim radi lakoće pisanja koda, nije uzeto u obzir.

# 

# 4.ZAKLJUČAK.

U ovom istraživačkom projektu razmatramo minimalizaciju aktivnih gubitaka u dijelu mreže primjenom Z matrične metode za analizu tokova snaga sa upravljanjem regulacionom preklopkom. Nakon detaljnog istraživanja teoretske podloge vezane za analize tokova snaga kao i samih metoda koje su korištene u istraživačkom projektu, slijedio je analitički proračun jednog primjera koji smo kasnije rješavali i pomoću programskog koda, te smo na taj način mogli uporediti rezultate. Proračunate su prvo naponske prilike u EES-u. Minimiziranje gubitaka aktivne snage u dijelu mreze tako da upravljamo faktorom snage, povećanjem faktora snage se smanjuju se gubitci. Nakon toga slijedi proračun tokova i gubitaka snaga na elementima razmatranog sistema. Programski kod je napisan tako da omogućava proračun tokova snaga Z-matričnom metodom klasičnim putem, ali i uz korištenje metode sukcesivne nadrelaksacije koja poboljšava performanse Z-matrične metode smanjujući broj iteracija. Naime, kako Z matrični metod svakako daje odgovarajuće rezultate za relativno mali broj iteracija, koeficijent sukcesivne nadrelaksacije neće napraviti toliki efekt, tj. neće se postizati velika ušteda, kao što je to slučaj prilikom korištenja Y matričnog metoda. Prikazani su rezultati na primjeru IEEE 14-sabirničkog sistema, izvršena je usporedba rezultata. Ako usporedimo Z-matričnu metodu rješavanja problema tokova snaga s Y-matričnim metodom, onda uočavamno dvije bitne razlike: Z-matrična metoda zahtijeva prethodnu inverziju matrice provodnosti, Što traži određeno računarsko vrijeme (posebno kod analize sistema s velikin brojem sabirnica). Matrica [Z], dobijena inverzijom matrice [Y] puna je matrica (svi članovi različiti od nule), bez obzira na rijetku popunjenost matrice provodrosti. Ovo zahtijeva daleko veće iznose centralne memorije ratunara, Međutim, navedeni nedostaci Z-matrične metode kompenziraju se s njenim izvanrednim karakteristikama s obzirom na konvergenciju rješenja. Naime, dok nam za dobijanje zadovoljavajuceg riešenja po Y-matričnoj metodi može biti potrebno desetak ili nekoliko desetina iteracija, Z-matrična metoda rješavanja problema raspodjele tokova snaga najčešće konvergira u nekoliko iteracija. Pored toga, poznato je da Y-matrična metoda može dovesti do divergencije rješenja, i u slučajevima kada se drugim metodama može postići konvergencia (kao npr. sa Z-matričnom metodom. Razlog za dobre karakterisike Z-matrične metode, s obzirom na konvergenciju rješenja, treba tražiti u punoj [Z] matrici. Puna [Z] matrica znači da se promjena napona na jednoj sabirnici odražava na promjene napona na svim ostalim sabirnicama sistema. Visoki memorijski zahtjevi Z-matrične metode mogu se izbjeći faktorizacijom matrice [Y]. Naime, faktor matrice (npr. donja i gornja trougaona faktor matrica) zadržavaju osobinu rijetke popunjenosti izvorne matrice. Rjcšavanje sistema jednadžbi primjenom faktorizacije izvorne matrice, ekvivalentno je množenju matrice [Z] s odgovarajucim vektorom čvornih struja. Pored toga, postupak koji koristi faktorizaciju izvorne matrice za rešavanja matričnog sistema jednadžbi, brže se sprovodi od postupka rješavanja sistema s inverznom matricom.[1] Skraćenje vremena proračuna i ušteda memorijskih resursa se postiže korištenjem metode sukcesivne nadrelaksacije. Primjenom ove metode dobijamo rezultate sa minimalnim odstupanjima u odnosu na klasični proračun. Međutim, potrebno je pravilno odrediti koeficijent nadrelaksacije jer se može desiti da umjesto samanjenja broja iteracija dođe do njegovog povećanja, ili čak do divergencije rješenja. Odabir alata tj koristenje matlaba za nas IP je dobar za unos podataka preko Excel, mogucnost razdvajanja funkcija,manipulacija rjesenja preko ulaznih podataka lako mijenjanje ulaznih podataka bez da mijenjamo funkcije. Mana matlaba je teza simulacija ovog sistema u programu PowerFactory DIGSILENT je dosta laksa simulacija i prikaz tokova snaga . Razvijanje prrogramskog koda je nasem slucaju islo tesko buduci da nismo bas dovoljno dobro upoznati sa matlabom,pa smo imali dosta problema kod razvoja koda ,dosta funkcija koje su nam bile potrebne nam nisu bile poznate.

**ANKETA**

Kako je ovaj projekt uticao na:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Rb.** | **Motivacija za uvođenje IP** | **Navedeno ocjenite od 1 do 5\*** |
| 1. | Afirmacija studenata za rad u timu (grupi) sa definiranim ciljem. | 4 |
| 2. | Prostor za iskazivanje kreativnosti grupe ili pojedinca. | 4 |
| 3. | Motivacija za istraživanja u definiranom području. | 3 |
| 4. | Priprema pojedinca za ZR na BSc. | 5 |

|  |
| --- |
| U slučaju loših ocjena predlažemo da date Komentar: |
| Zbog covid-19 (ove situacije u kojoj se svi nalazimo) i nemogućnosti sastajanja otežan nam je rad na ovom projektu. Jer je situacija specifična, pa je to razlog nižih ocjena. |

# 5. PRILOG

## 5.1. Skraćenice

EES – Elektroenergetski sistem.

p.u. – per unit sistem(bs. Sistem po jedinici)

## 5.2. Popis slika

1. Slika br. 1.1 (str. br. 4)
2. Slika br. 1.2 (str. br. 6)
3. Slika br. 1.3 (str. br. 8)
4. Slika br. 1.4 (str. br. 9)
5. Slika br. 1.5 (str. br. 10)
6. Slika br. 1.6 (str. br. 14)
7. Slika br. 1.7 (str.br.16)
8. Slika br. 2.1 (str.br.17)
9. Slika br. 2.2 (str.br.18)

## 5.3. Literatura

1. Dr. Dragan Lazić i Mr. Milan Ristanović „Uvod u MATLAB“, izdavač Mašinski fakultet u Beogradu, 2005 godine.
2. Salih Sadović „Analiza elektroenergetsskih sistema (II izdanje)“, izdavač Elektrotehnički fakultet u Sarajevu 2011 godine.
3. https://hr.wikipedia.org/wiki/Microsoft\_Excel

## 5.4. Prilog A

function [ns, epsilon, Sg, Upoznato, Sp, Z\_trafoa, t\_trafoa, Z\_konc, Z\_vodova, U\_ref, ugao\_ref] = Unos\_podataka\_projekat(naziv\_datoteke,naziv\_sheet)

%-------------- Funkcija za unos podataka iz Excel tabele -----------------

%--------------------------- Ulazni podaci --------------------------------

% naziv\_datoteke - String koji sadrzi ime Excel datoteke sa podacima

% naziv\_sheet - String koji sadrzi ime sheet-a u kojem se nalaze podaci

%-------------------------- Izlazni podaci --------------------------------

% ns - Broj sabirnica u mreži

% epsilon - Parametar konvergencije

% Sg - Matrica podataka o proizvodnji u mrezi (broj sabirnice i P)

% Upoznato - Poznati naponi na sabirnicama PU

% Sp - Matrica podataka o potrosnji u mrezi

% Z\_trafoa - Matrica podataka o impedansama transformatora mreze

% t\_trafoa - Uzimanje u obzir polozaja regulacione preklopke

% Z\_konc - Matrica podataka o koncentrisanim parametrima mreze

% Z\_vodova - Matrica podataka o impedansama vodova razmatrane mreze

% U\_ref - Vrijednost referentnog napona (p.u.)

% ugao\_ref - Vrijednost referentnog ugla (rad)

% Upis broja sabirnica

ns = xlsread(naziv\_datoteke,naziv\_sheet,'A1');

%Upis parametra konvergencije

epsilon = xlsread(naziv\_datoteke, naziv\_sheet, 'A45');

% Upis podatka o generatorima

ng = xlsread(naziv\_datoteke,naziv\_sheet,'A2');

brojac = 2+ng;

broj\_slovo = num2str(brojac);

granice = strcat('A','3',':','C',broj\_slovo);

granice\_naponi1 = strcat('A', '3', ':', 'A', broj\_slovo);

granice\_naponi2 = strcat('D', '3', ':', 'D', broj\_slovo);

granice\_naponi3 = strcat('E', '3', ':', 'E', broj\_slovo);

Sg = xlsread(naziv\_datoteke,naziv\_sheet,granice);

Upoznato = zeros(4,2);

Upoznato(:,1) = xlsread(naziv\_datoteke, naziv\_sheet, granice\_naponi1);

Upoznato(:,2) = xlsread(naziv\_datoteke, naziv\_sheet, granice\_naponi2);

Upoznato(:,3) = xlsread(naziv\_datoteke, naziv\_sheet, granice\_naponi3);

% Upis podataka o potrosacima

pocetak = brojac + 1; %pocetak = 7

broj\_slovo = num2str(pocetak);

vrijednost = strcat('A',broj\_slovo);

np = xlsread(naziv\_datoteke,naziv\_sheet,vrijednost);

pocetak = pocetak + 1;

slovo\_1 = num2str(pocetak);

kraj = pocetak + np - 1;

slovo\_2 = num2str(kraj);

granice = strcat('A',slovo\_1,':','C',slovo\_2);

Sp = xlsread(naziv\_datoteke, naziv\_sheet, granice);

% Upis podataka o transformatorima

pocetak = kraj + 1; %19

broj\_slovo = num2str(pocetak);

vrijednost = strcat('A',broj\_slovo);

ntrafoa = xlsread(naziv\_datoteke,naziv\_sheet,vrijednost);

pocetak = pocetak + 1;

slovo\_1 = num2str(pocetak);

kraj = pocetak + ntrafoa - 1; %24

slovo\_2 = num2str(kraj);

granice = strcat('A',slovo\_1,':','D',slovo\_2);

granice\_t = strcat('E', slovo\_1, ':', 'E', slovo\_2);

Z\_trafoa = xlsread(naziv\_datoteke, naziv\_sheet, granice);

t\_trafoa = xlsread(naziv\_datoteke, naziv\_sheet, granice\_t);

%Upis podataka o koncentrisanim parametrima

pocetak = kraj + 1; %25

broj\_slovo = num2str(pocetak);

vrijednost = strcat('A',broj\_slovo);

nkonc = xlsread(naziv\_datoteke,naziv\_sheet,vrijednost);

pocetak = pocetak + 1; %26

slovo\_1 = num2str(pocetak);

kraj = pocetak + nkonc - 1;

slovo\_2 = num2str(kraj);

granice = strcat('A',slovo\_1,':','D',slovo\_2);

Z\_konc = xlsread(naziv\_datoteke,naziv\_sheet,granice);

%Upis podataka o vodovima

pocetak = kraj + 1; %27

broj\_slovo = num2str(pocetak);

vrijednost = strcat('A',broj\_slovo);

nvodova = xlsread(naziv\_datoteke,naziv\_sheet,vrijednost);

pocetak = pocetak + 1;

slovo\_1 = num2str(pocetak);

kraj = pocetak + nvodova - 1;

slovo\_2 = num2str(kraj);

granice = strcat('A',slovo\_1,':','D',slovo\_2);

Z\_vodova = xlsread(naziv\_datoteke,naziv\_sheet,granice);

% Upis podataka o referentnom naponu i uglu

pocetak = kraj + 1;

broj\_slovo = num2str(pocetak);

vrijednost = strcat('A',broj\_slovo);

U\_ref = xlsread(naziv\_datoteke,naziv\_sheet,vrijednost);

vrijednost = strcat('B',broj\_slovo);

ugao\_ref = xlsread(naziv\_datoteke,naziv\_sheet,vrijednost);

Sva dodatna objašnjenja su već prikazana kroz komentare u kodu.

Programski kod funkcije koja se odnosi na proračun toka snaga:

function [iteracija, Usabirnica, I] = Proracun\_TS\_projektni(ns, epsilon, Sg, Upoznato, Sp, Z\_trafoa, t\_trafoa, Z\_konc, Z\_vodova, U\_ref, ugao\_ref)

%------------------ Funkcija za proracun tokova snaga ---------------------

% I - vektor kolona cvornih struja za iteraciju u kojoj rjesenje konvergira

%-------------------------- Izlazni podaci --------------------------------

% iteracija - Podatak o broju iteracija do postignute konvergencije

% Usabirnica - Matrica podataka o naponima tokom iteracija

% Pretvorba unesenih impedansi u provodnosti

a = length(Z\_trafoa(:, 1));

b = length(Z\_konc(:, 1));

c = length(Z\_vodova(:, 1));

dimenzije = a + b + c;

Z\_grana = zeros(dimenzije, 4);

for i = 1 : a

for j = 1 : 4

Z\_grana(i, j) = Z\_trafoa(i, j);

end

end

for i = 1 : b

for j = 1 : 4

Z\_grana(i + a, j) = Z\_konc(i, j);

end

end

for i = 1 : c

for j = 1 : 4

Z\_grana(i + a + b, j) = Z\_vodova(i, j);

end

end

[n, m] = size(Z\_grana);

for i=1:1:n

Y\_grana(i,1) = Z\_grana(i,1);

Y\_grana(i,2) = Z\_grana(i,2);

realni = Z\_grana(i,3);

imaginarni = Z\_grana(i,4);

if realni == 0

imaginarni = complex(0,imaginarni);

impedansa = 1/imaginarni;

else

realni = complex(realni,0);

imaginarni = complex(0,imaginarni);

impedansa = 1/(realni+imaginarni);

end

Y\_grana(i,3) = impedansa;

end

% Popunjavanje matrice Y

[br\_redova,br\_kolona] = size(Y\_grana);

Y = zeros(ns, ns);

% Popunjavanje provodnosti izmedju cvorova

for i=1:1:br\_redova

prvi = uint8(Y\_grana(i,1));

drugi = uint8(Y\_grana(i,2));

if (drugi ~= 0)

Y(prvi,drugi) = -1 \* Y\_grana(i,3);

Y(drugi,prvi) = Y(prvi,drugi);

end

end

% Popunjavavanje dijagonalnih elemenata bez otocnih provodnosti

for i=1:1:ns

Y(i,i) = -1\*sum(Y(i,:));

end

% Popunjavanje dijagonalnih elemenata i otocnih provodnosti

for i=1:1:br\_redova

prvi = uint8(Y\_grana(i,1));

drugi = uint8(Y\_grana(i,2));

if (drugi == 0)

Y(prvi,prvi) = Y(prvi,prvi) + Y\_grana(i,3);

end

end

%okej

% Formiranje vektora snaga proizvodnje i potrosnje u mrezi

% Popunjavanje proizvodnje

S = zeros(ns,1);

[n, ~] = size(Sg);

for i=1:1:n

sabirnica = uint8(Sg(i,1));

% Popunjavanje proizvodnje sa predznakom "+" u vektor snaga

S(sabirnica,1) = complex(Sg(i,2), Sg(i,3));

end

% Popunjavanje potrosnje

[n, m] = size(Sp);

for i=1:1:n

sabirnica = uint8(Sp(i,1));

% Popunjavanje potrosnje sa predznakom "-" u vektor snaga

S(sabirnica,1) = -complex(Sp(i,2), Sp(i,3));

end

% Proracun tokova snaga

iteracija = 1;

Usabirnica = zeros(ns,500); % Definisanje veoma velikih matrica

I = zeros(ns-1, 500);

% Z matricni metod - Gauss - Seidel

%Poznat nam je utjecaj referentne sabirnice i napon na njoj

Y0 = Y(:, 1);

Y(1,:) = [];

Y(:,1) = [];

%Prije iteracijskog postupka izvrsimo inverziju matrice Y

Z = inv(Y);

%Usvajanje pocetnog vektora napona sabirnica

for j = 1 : (ns-1)

Usabirnica(j,iteracija) = complex(1,0); % 1 (p.u.)

end

% Posljednji element je referentni cvor

napon = U\_ref\*exp(complex(0,ugao\_ref));

Usabirnica(ns,iteracija) = napon;

% Unosimo module poznatih napona

for i = 1 : length(Upoznato(:, 1))

pozicija = uint8(Upoznato(i, 1));

Usabirnica(pozicija, iteracija) = Upoznato(i, 2)\*exp(complex(0, Upoznato(i,3)));

end

iteracija = iteracija+1;

% Iterativni ciklus

while true

%Cvorne struje

for j = 1 : (ns-1)

I(j, iteracija - 1) = (conj(S(j)) / conj(Usabirnica(j, iteracija - 1))) - (Y0(j)\*napon);

end

U = Z \* I(:,iteracija-1); % 13\*1

Usabirnica(1:ns-1,iteracija) = U;

% Nakon proracuna napona sabirnica, prepisuje se referentna sabirnica i

% poznati naponi na sabirnicama ali smo uzeli da su i uglovi napona na

% PU sabirnicama poznati

for i = 1 : length(Upoznato(:, 1))

pozicija = uint8(Upoznato(i, 1));

Usabirnica(pozicija, iteracija) = Usabirnica(pozicija, iteracija - 1);

end

Usabirnica(ns,iteracija) = Usabirnica(ns,iteracija-1);

razlika = max(abs(abs(Usabirnica(:,iteracija))-abs(Usabirnica(:,iteracija-1))));

iteracija = iteracija + 1;

if razlika < epsilon & iteracija > 2

% Povratak jedne iteracije (radi povecanja u petlji, prekid)

iteracija = iteracija - 1;

break;

end

end

% Skracivanje matrice (izuzimanje nulte iteracije - pocetni uslovi)

Usabirnica = Usabirnica(1:ns,2:iteracija);

iteracija = iteracija - 1;

%Cvorne struje

I = I(:, iteracija);

End

% Poziv funkcije za unos podataka

[ns, epsilon, Sg, Upoznato, Sp, Z\_trafoa, t\_trafoa, Z\_konc, Z\_vodova, U\_ref, ugao\_ref] = Unos\_podataka\_projekat('Projektni\_zadatak','Podaci');

% Poziv funkcije za proracun tokova snaga

[iteracija, Usabirnica, I] = Proracun\_TS\_projektni(ns, epsilon, Sg, Upoznato, Sp, Z\_trafoa, t\_trafoa, Z\_konc, Z\_vodova, U\_ref, ugao\_ref);

% Ispis rezultata

disp('Z matricni metod - Gauss Seidel-ov postupak');

fprintf('\nBroj iteracija: %d\n', iteracija);

disp('Moduli napona sabirnica nakon iteracija: ');

disp(abs(Usabirnica(:,iteracija)));

disp('Uglovi napona sabirnica nakon iteracija: ');

disp(angle(Usabirnica(:,iteracija)));

%Naponi na sabirnicama nakon proracuna

Usabirnica = Usabirnica(:, iteracija);

%Uglovi napona na sabirnicama nakon proracuna

Uuglovi = angle(Usabirnica);

%Snaga na sabirnicama

Ssabirnica = Usabirnica(1:ns-1,:).\*conj(I);

%Aktivna i reaktivna snaga na sabirnicama

disp('Aktivna snaga na sabirnicama nakon iteracija: ');

disp(real(Ssabirnica));

disp('Reaktivna snaga na sabirnicama nakon iteracija: ');

disp(imag(Ssabirnica));