Proračun jediničnog induktiviteta dalekovoda pomoću računala

Jesenović, Vedran

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:028561

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Preddiplomski studij

PRORAČUN JEDINIČNOG INDUKTIVITETA DALEKOVODA POMOĆU RAČUNALA

Završni rad

Vedran Jesenović

Osijek, 2016.

SADRŽAJ

1. UVOD 1
1.1. Zadatak rada 2
2. INDUKTIVITET KAO KARAKTERISTIČNA VELIČINA VODA 3
2.1. Induktivitet jednog vodiča 4
2.1.1. Unutarnji induktivitet 5
2.1.2. Induktivitet s obzirom na vanjski ulančani tok 7
2.2. Induktivitet jednofaznog voda 8
2.3. Ulančani tok s obzirom na samoinduktivitet i povezani induktivitet 10
2.4. Iduktivitet trofaznog prijenosnogvoda (dalekovoda) 12
2.4.1. Simetričan razmak 12
2.4.2. Asimetričan razmak 13
2.4.3. Preplet (simetriranje) vodiča 15
2.5. Induktivitet vodiča u snopu 17
2.5.1. SGR složenih vodiča 19
2.6. Induktivitet trofaznogvoda dvostrukog strujnog kruga 21
3. PRIMJERI IZRAČUNA INDUKTIVITETA 23
4. PRIMJERI IZRAČUNA JEDINIČNOG INDUKTIVITETA POMOĆU RAČUNALNOG PROGRAMA 27
4.1. Mogućnosti računalnog programa Matlab 27
4.2. Primjeri izračuna jediničnog induktiviteta dalekovoda 28
5. PRORAČUNSKI ZADATCI U MATLABU 33
6. ZAKLJUČAK 49
LITERATURA 50
SAŽETAK 51
SUMMARY 51
PRILOG 52
ŽIVOTOPIS 54

1. UVOD

Sustavi za prijenos električne energije sastoje se uglavnom od različitih komponenata poput vodiča, izolatora i drugih. Vodiči imaju zadatak voditi struju, dok izolatori moraju odvojiti dijelove pod naponom međusobno i od zemlje. Prijenos električne energije vrši se prema fazama prijenosnog voda koje se sastoje od jednoga ili više vodiča. Ako se koristi više vodiča tada se oni stavljaju u snop čime se postiže niža uzdužna impedacija voda, kao i neki drugi pozitivni rezultati. U praksi se većinom koriste tzv. alučel vodiči koji se sastoje od čelika u sredini i aluminija oko njega. U tim situacijama čelik ima zadatak podnijeti mehanička naprezanja. U praksi, pod realnim uvjetima, vodovi imaju gubitke, stoga se moraju u proračunima uzeti u obzir i djelatni otpor po jedinici duljine, kao i odvod po jedinici duljine voda. U radu se prikazuje cjelokupan proračun induktiviteta voda u različitim slučajevima, kada se električna energija prenosi nadzemnim vodom.

Predmet rada je proračun induktiviteta nadzemnih vodova za različite izvedbe nadzemnih vodova, a za cilj ima prikazati tijek proračuna, te sve potrebne korake za njegov izračun.

Struktura rada podijeljena je u poglavlja, potpoglavlja i odjeljke. Prvo poglavlje predstavlja uvodno u kojemu se navode predmet, cilj i kratka struktura rada prema poglavljima. Drugo poglavlje donosi cjelokupan proračun induktiviteta kao karakteristične veličine voda. Navodi se proračun za induktivitet jednog vodiča, unutarnji induktivitet, induktivitet s obzirom na vanjski ulančani tok, induktivitet jednofaznog voda, ulančani tok s obzirom na samoinduktivitet i povezani induktivitet, induktivitet trofaznog prijenosnog voda (dalekovoda), induktivitet spregnutih vodiča te induktivitet trofaznog voda dvostrukog strujnog kruga. U ovom poglavlju prikazuje se proračun kod simetričnog i asimetričnog razmaka vodiča, prepleta vodiča te SGR (engl. *Geometric Mean Radius*) vodiča u snopu. Skraćenica SGR predstavlja srednji geometrijski radijus. Treće poglavlje donosi konkretan proračun induktiviteta u nekoliko različitih ručno rješavanih primjera. Četvrto poglavlje donosi prikaz nekih mogućnosti programa Matlab te nekoliko primjera riješenih putem Matlaba kako je unaprijed definirano udžbenikom. U petom poglavlju se prikazuju zadatci riješeni pomoću implementirane skripte u Matlabu. Šesto poglavlje je zaključno u kojemu se daje na koncizan način sinteza rada.

1.1. Zadatak rada

Dati teorijski opis jediničnih parametara dalekovoda sa posebnim osvrtom na induktivitet i uzdužnu impedanciju. Opisati metodu srednjih geometrijskih udaljenosti (SGU) za izračun induktiviteta. Napraviti nekoliko primjera proračuna uz pomoć računalnog programa.

2. INDUKTIVITET KAO KARAKTERISTIČNA VELIČINA VODA

Karakteristične veličine pomoću kojih se definiraju električne prilike na vodu u svim pogonskim slučajevima nazivaju se parametri voda. Brojčane vrijednosti konstanti voda ovise o, [1], [2]:

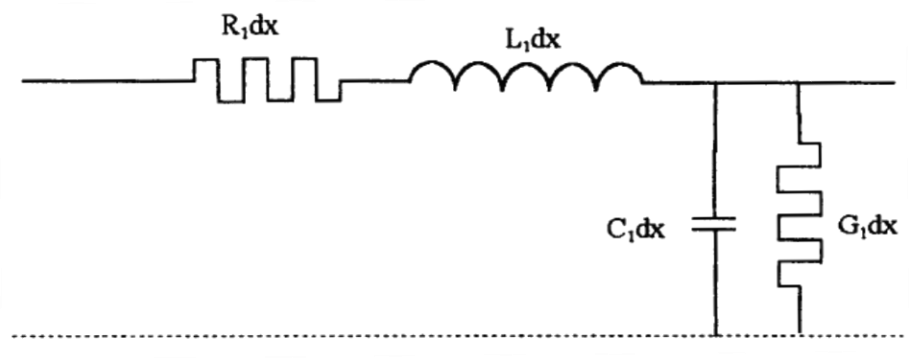
- svojstvima materijala od kojih su konstruirani,
- svojstvima sredine koja ih okružuje (nizine, planine),
- geometrijskom odnosu dijelova voda međusobno i prema okolini.

Navedene utjecajne veličine podložne su promjenama, kao što su promjene temperature, vlažnost i slično, stoga je potrebno obratiti pozornost na njih, [1], [2]. Konstante voda se mjere po jedinici dužine voda, najčešće po kilometru i po jednoj fazi. Radi se o konstantama za direktni sustav ako nije naglašeno drugačije. Osnovne konstante voda su, [1], [5], [6]:

- Jedinični djelatni otpor voda, R_1 [Ω/km],
- Jedinični induktivitet voda, L_1 [H/km],
- Jedinični kapacitet voda, C_1 [F/km],
- Jedinični odvod voda,G_1 [S/km],

Navedene karakteristične veličine važne su za opisivanje električnih prilika na elektroenergetskom vodu, koje vrijede u svim prilikama pogona. Konstantne vrijednosti ovise o karakteristikama materijala i okoline u kojoj se nalaze, te o opsegu samih elektroenergetskih vodova te njihovim udaljenostima između njih. Realni elektroenergetski vod je vod kojem su sve četiri jedinične vrijednosti (konstante) različite od nule, [1], [3].

Kod trofaznih vodova konstante se zadaju po fazi, dakle za jedan fazni vodič, stime da se kao povratni dio strujnog kruga uzme zamišljeni neutralni vodič. Na slici 2.1. suza odsječak voda duljine dx konstante voda prikazane pomoću grafičkih simbola, i tootpor i induktivitet u faznom vodiču (uzdužne konstante), a kapacitet i odvod između faznog i neutralnog vodiča (poprečne konstante), [6].



Slika 2.1. Konstante voda, [1], [5], [6], [7].

2.1.Induktivitet jednog vodiča

Vodič kojim teče struja proizvodi magnetsko polje oko vodiča. Linije magnetskog toka su koncentrično zbližene kružnice čiji je smjer zadan pravilom desne ruke. Dok palac pokazuje smjer kretanja struje, prsti desne ruke okružuju točku žice u smjeru magnetskog polja. Kada se struja promijeni, tok se mijenja i napon u kružnici se inducira. Prema definiciji za nemagnetski materijal, induktivitet L jednak je omjeru svog ukupnog ulančanog magnetskog toka i struje I, prema jednadžbi, [4]:

$$L = \frac{\lambda}{I} \tag{2-1}$$

gdje je:
λ = ulančani tok [Wb].

Ako se razmotri dugi kružni vodič s radijusom r, kojim protiče struja I, kao što je prikazano na slici 2.1.1. može se reći da magnetsko polje intenziteta H_χ, oko kružnice radijusa χ ,je konstanta i tangenta kružnice. Amperov zakon koji povezuje H_χ sa strujom I_χ zadan je jednadžbom, [4]:

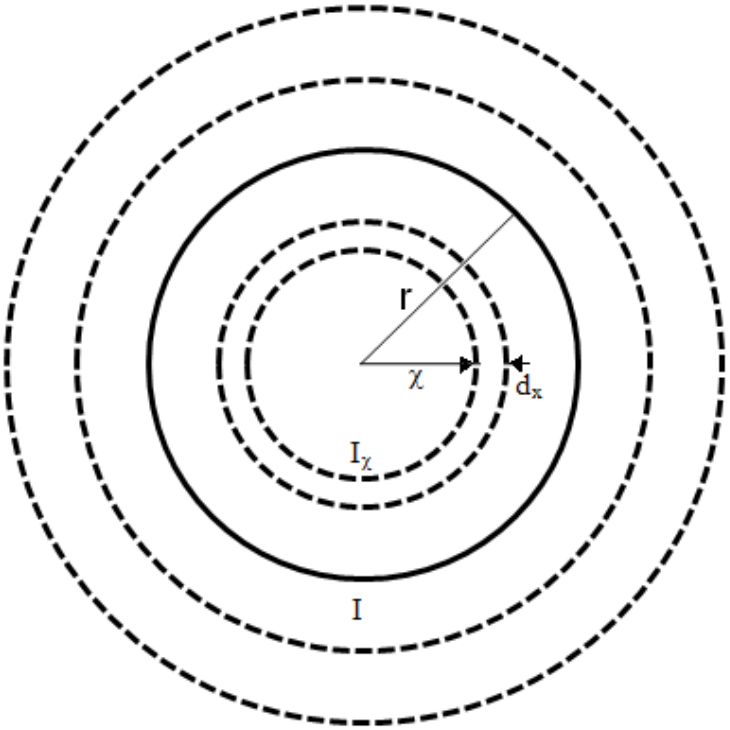
$$\int_0^{2\pi\chi} H\chi \cdot dl = I\chi \tag{2-2}$$

Ili

$$H\chi = \frac{I\chi}{2\pi\chi} \tag{2-3}$$

gdje je:

I_χ struja vezana za radijus χ.



Slika 2.1.1. Ulančani tok dugog kružnog vodiča, [4].

Kao što je prikazano na slici 2.1.1., jednadžba (2-3) je sve što je potrebno za procjenjivanje ulančanog toka λ vodiča. Induktivitet vodiča može se definirati kao zbroj doprinosa unutarnjeg ulančanog toka i vanjskog vodiča.

2.1.1. Unutarnji induktivitet

Jednostavan izraz može se postići za unutarnji ulančani tok zanemarivanjem skin efekta i pretpostavljanjem gustoće struje kroz presjek vodiča tj., [4]:

$$\frac{I}{\pi r^2} = \frac{I\chi}{\pi\chi^2} \tag{2-4}$$

Ako se zamijeni I χ iz (2-3) dobiva se:

$$H\chi = \frac{I\chi}{2\pi\chi^2}\chi \tag{2-5}$$

Za nemagnetski vodič sa stalnom permeabilnošću μ_0, gustoća magnetskog toka je zadana jednadžbom $B\chi = \mu_0 H\chi$, ili, [4]:

$$B\chi = \frac{\mu_0 I}{2\pi r^2}\chi \tag{2-6}$$

gdje je:

μ_0 permeabilnost slobodnog prostora (zraka) i jednaka je $4\pi \times 10^{-7} H/m$.

Diferencijalni tok $d\emptyset$ za malo područje debljine dx i dužine jednog metra vodiča je, [4]:

$$d\varnothing_x = B_x d_x \cdot 1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r^2} x \tag{2-7}$$

Tok $d\emptyset_x$ povezuje samo djelić vodiča iz centra do radijusa χ. Stoga, pretpostavljajući gustoću struje, jedino je razlomak $\pi x^2 / \pi r^2$ tokom povezan sa strujom, tj., [4]:

$$d\lambda_x = \left(\frac{x^2}{r^2}\right) d\varnothing_x = \frac{\mu_o I}{2\pi r^4} x^3 dx \tag{2-8}$$

Ukupni ulančani tok dobiva se integracijom $d\lambda_x$ iz 0 u r pa slijedi, [4]:

$$\lambda_{\text{int}} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r^4}\int_0^r x^3 dx = \frac{\mu_0 I}{8\pi} Vs/m \tag{2-9}$$

Induktivitet prema ukupnom ulančanom toku iznosi, [4]:

$$L_{\text{int}} = \frac{\mu_0}{8\pi} = \frac{1}{2} \times 10^{-7}\, H/m \tag{2-10}$$

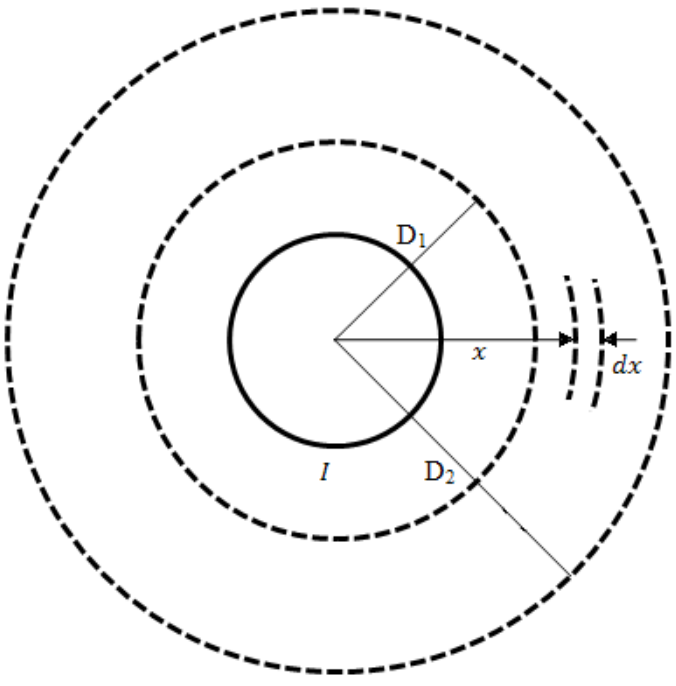
Potrebno je primjetiti da L_{int} ne ovisi o radijusu vodiča r.

Vlastiti induktivitet je svojstvo vodiča da se odupire promjenama strujnog stanja induciranjem elektromotorne sile samoindukcije, što u konačnici izaziva pomak, a to se pri prijenosu osjeća kao prividni otpor. Treba napomenuti kako je pomak rezultat kašnjenja struje za naponom. Vlastiti induktivitet ovisi o vrsti materijala, tzv. permeabilnosti, dimenzijama i razmaku vodiča te frekvenciji prenošenog signala, [8], [10].

2.1.2. Induktivitet s obzirom na vanjski ulančani tok

Razmotri li se H_x s obzirom da je radijus vodiča $x > r$ kao što je prikazano na slici 2.1.2.1. kružnica radijusa x zatvara sveukupnu struju $I_x = I$ te je u (2-3), a$I_x$je zamijenjen s I, gustoća toka na radijusu x postaje, [4], [10]:

$$B_x = \mu_0 H_x = \frac{\mu_0 I}{2\pi x} \tag{2-11}$$



Slika 2.1.2.1. Ulančani tok između D_1 i D_2,[4].

Budući da je ukupna struja I povezana tokom izvan vodiča, ulančani tok $d\lambda_x$ je brojčano jednak toku $d\emptyset_x$. Diferencijalni tok $d\emptyset_x$, na malom području debljine dx i na jednom metru dužine vodiča zadan je jednadžbom, [4], [10]:

$$d\lambda_x = d\varnothing_x = B_x dx \cdot 1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi x} dx \tag{2-12}$$

Vanjski ulančani tok između dvije točke D_1 i D_2 dobiva se integracijom $d\lambda_x$ iz D_1 u D_2,[4]:

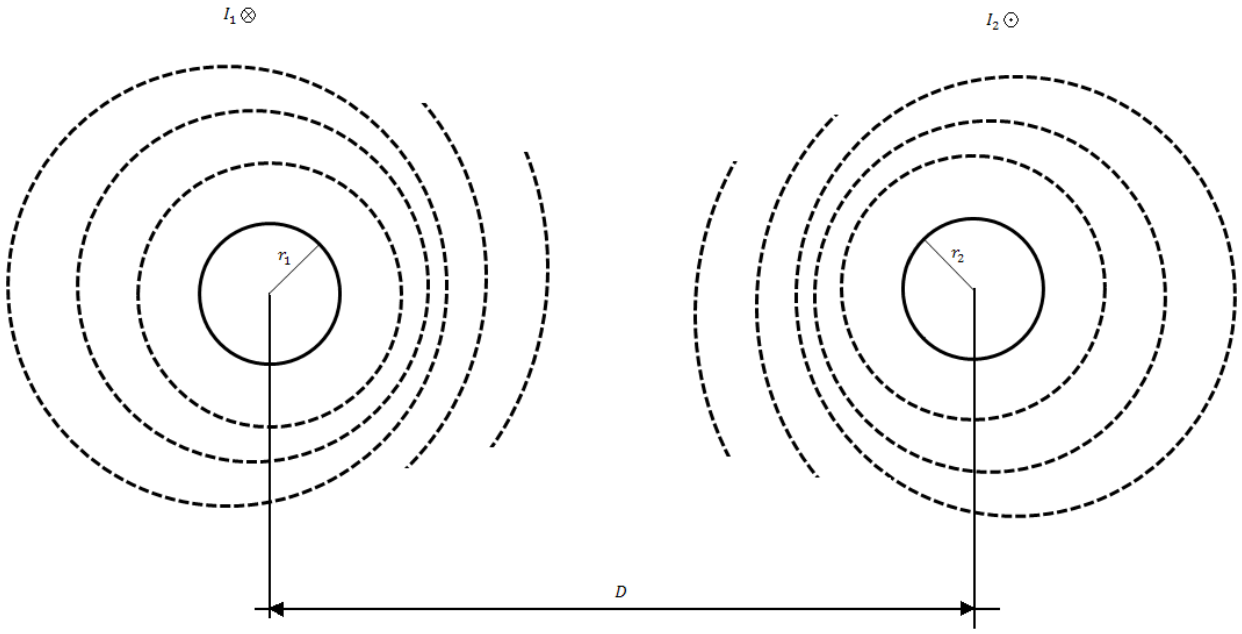
$$\lambda_{ext} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \int_{D_1}^{D_2} \frac{1}{x} dx = 2\times 10^{-7} I \ ln \frac{D_2}{D_1} Vs/m \tag{2-13}$$

Induktivitet između dvije točke izvan vodiča je tada, [4]:

$$L_{ext} = 2\times 10^{-7} \ln \frac{D_2}{D_1} H/m \tag{2-14}$$

2.2. Induktivitet jednofaznog voda

Razmatrajući jedan metar dužine jednofaznog voda koji se sastoji od dva čvrsta okrugla vodiča radijusa r_1 i r_2 kao što je prikazano na slici 2.2.1. gdje su im središta udaljena za dužinu D. Vodič 1 prenosi struju vektora I_1 dok vodič 2 prenosi povratnu struju $I_2 = -I_1$. Te struje postavljaju linije magnetskog polja koje se povezuju između vodiča kao što je prikazano.



Slika2.2.1. Jednofazni dvožilni vod, [4], [10].

Induktivitet prvoga vodičazbog unutarnjeg toka, zadan je jednadžbom (2-10). Tok izvan udaljenosti$D$ ne pridonosi ulančanom magnetskom toku kruga. Stoga, kako bi se postigao induktivitet prvoga vodiča (1) s obzirom na mrežu vanjskog ulančanog toka, potrebno je procijeniti iz $D_1 = r_1$ u $D_2 = D$, pa slijedi, [4], [10]:

$$L_{1(ext)} = 2\times10^{-7} \ln\frac{D}{r_1} H/m \tag{2-15}$$

Ukupni iduktivitet vodiča I je tada, [4]:

$$L_1 = \frac{1}{2}\times10^{-7} + 2\times10^{-7} \ln\frac{D}{r_1} H/m \tag{2-16}$$

Jednadžba (2-16) često je razmještena i na ovaj način:

$$L_1 = 2\times10^{-7}\left(\frac{1}{4} + \ln\frac{D}{r_1}\right) = 2\times10^{-7}\left(lne^{\frac{1}{4}} + \ln\frac{1}{r_1} + \ln\frac{D}{1}\right) = 2\times10^{-7}\left(\ln\frac{1}{r_1 e^{-\frac{1}{4}}} + \ln\frac{D}{1}\right) \tag{2-17}$$

Tada $r'_1 = r_1 e^{\frac{1}{4}}$, induktivitet vodiča 1 postaje, [4]:

$$L_1 = 2\times10^{-7}\ln\frac{1}{r_1'} + 2\times10^{-7}\ln\frac{D}{1}H/m \tag{2-18}$$

Slično tome, induktivitet vodiča 2 je, [4]:

$$L_2 = 2\times10^{-7}\ln\frac{1}{r_2'} + 2\times10^{-7}\ln\frac{D}{1}H/m \tag{2-19}$$

Ako su dva vodiča identična $r_1 = r_2 = r$ i $L_1 = L_2 = L$, te je induktivitet po fazi dužine jednog metra onda vrijedi jednadžba, [4]:

$$L = 2\times10^{-7}\ln\frac{1}{r'} + 2\times10^{-7}\ln\frac{D}{1}H/m \tag{2-20}$$

Ispitivanje jednadžbe (2-20) otkriva kako je prvi izraz jedino funkcija radijusa vodiča. Ovaj izraz je promatran kao induktivitet uzevši u obzir i unutarnji tok i vanjski tok s obzirom na vodič 1 i radijus od jednog metra. Drugi izraz (2-20) ovisi jedino o razmaku vodiča. Ovaj izraz pozat je kao *faktor razmaka vodiča*. Izraz $r_1 = re^{-\frac{1}{4}}$ je matematički poznat kao srednji geometrijski radijus kružnice s radijusom r i označuje se skraćenicom SGR. Oznaku r^1 moguće je promatrati kao radijus zamišljenog vodiča pretpostavljajući da on nema unutarnji tok, ali ima isti induktivitet kao i trenutni vodič s radijusom r. SGR se često označava oznakom D_s. Stoga, induktivitet po fazi u milihenrijima po kilometru postaje, [4]:

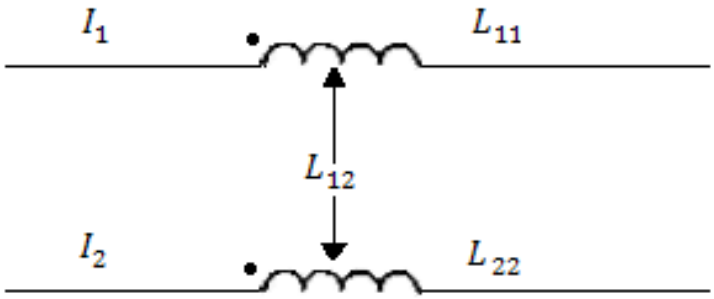
$$L = 0,2\ln\frac{D}{D_s}mH/km \tag{2-21}$$

2.3. Ulančani tok s obzirom na samoinduktivitet i povezani induktivitet

Serijski induktivitet po fazi za jednofazni dvožilni vod može se izraziti s obzirom na samoinduktivitet svakog vodiča i njihov zajednički induktivitet. Smatra se da je jedan metar dužine jednofaznog kruga s dva namota sa samoinduktivitetima L_{11} i L_{22} i zajedničkim

induktivitetom L_{12}. Magnetski polaritet je označen točkama kao što je prikazano na slici 2.3.1.Ulančani tokovi λ_1 i λ_2 zadani su jednadžbom, [4]:

$$\lambda_1 = L_{11}I_1 + L_{12}I_2\lambda_2 = L_{21}I_1 + L_{22}I_2 \tag{2-22}$$



Slika2.3.1. Jednofaznivod gledan kao dva magnetski uparena namota, [4].

Budući da je $I_2 = -I_1$, dolazi se do toga da je, [4]:

$$\lambda_1 = \left(L_{11} - L_{12}\right)I_1\lambda_2 = \left(-L_{21} + L_{22}\right)I_2 \tag{2-23}$$

Uspoređujući (2-23) s (2-18) i (2-19) moguće je izvesti sljedeći izraz za samoinduktivitet i zajednički induktivitet, [4]:

$$\begin{aligned} L_{11} &= 2\times10^{-7}\ln\frac{1}{r_1'} \\ L_{22} &= 2\times10^{-7}\ln\frac{1}{r_2'} \\ L_{12} = L_{21} &= 2\times10^{-7}\ln\frac{1}{D} \end{aligned} \tag{2-24}$$

Koncept samoinduktiviteta i zajedničkog induktiviteta može se proširiti do grupe n vodiča. Pod uvjetom da n vodiči prenose fazne struje $I_1, I_2, \ldots, I_n$, tako da vrijedi, [4]:

$$I_1 + I_2 + \ldots + I_i + \ldots + I_n = 0 \tag{2-25}$$

Generalizirajući (2-22), ulančani tokovi vodiča i su, [4]:

$$\lambda_i = L_{ii} I_i + \sum_{j=1}^{n} L_{ij} I_j \; j \neq i \tag{2-26}$$

Ili

$$\lambda_i = 2 \times 10^{-7} \left(I_i \ln \frac{1}{r_i'} + \sum_{j=1}^{n} I_j \ln \frac{1}{D_{ij}} \right) j \neq i \tag{2-27}$$

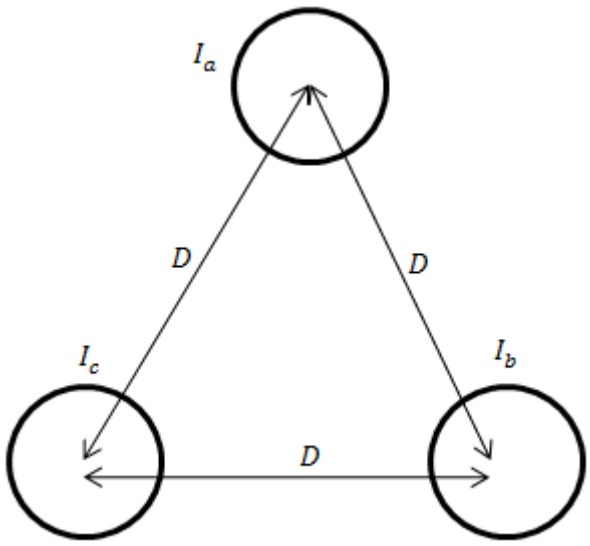
2.4. Iduktivitet trofaznog prijenosnogvoda (dalekovoda)

U ovom potpoglavlju prvenstveno se obrađuje simetrični i asimetrični razmak vodiča dalekovoda, stoga je u nastavku prikazan proračun vezan za taj induktivitet.

2.4.1. Simetričan razmak

Promatra li se jedan metar dužine trofaznogvoda s tri vodiča, od kojih svaki ima radijus r, simetrično razmaknute u konfiguraciji trokuta, kao što je prikazano na slici 2.4.1.1.1., uz pretpostavku da je trofazna struja uravnotežena, dobiva se sljedeće, [4], [10]:

$$I_a + I_b + I_c = 0 \tag{2-28}$$



Slika 2.4.1.1.1. Trofazni vod sa simetričnim razmakom vodiča, [4].

Prema (2-27) ukupan ulančani tok faze vodiča jednak je, [4]:

$$\lambda_a = 2\times10^{-7}\left(I_a \ln\frac{1}{r'} + I_b \ln\frac{1}{D} + I_c \ln\frac{1}{D}\right) \tag{2-29}$$

Ako se zamijeni da je $I_b + I_c = -I_a$ dobiva se, [4]:

$$\lambda_a = 2\times10^{-7}\left(I_a \ln\frac{1}{r'} - I_a \ln\frac{1}{D}\right) = 2\times10^{-7} I_a \ln\frac{1}{r'} \tag{2-30}$$

Zbog simetrije, $\lambda_b = \lambda_c - \lambda_a$ i činjenice da su tri induktiviteta jednaka, induktivitet po fazi po kilometru dužine iznosi, [4]:

$$L = 0,2 \ln\frac{D}{D_s} mH / km \tag{2-31}$$

Pri čemu je r' geometrijski značajan reducirani radijus, SGR, te je prikazan oznakom D_s za stabilan okrugli vodič, a $D_s = re^{-\frac{1}{4}}$ za lančani vodič.D_s se može procijeniti prema (2-48). Usporedi li se (2-31) s (2-21) vidljivo je da je induktivitet po fazi za trofazni strujni krug s jednakostraničnim razmakom jednak kao i kod vodiča jednofaznog strujnog kruga, [4], [6].

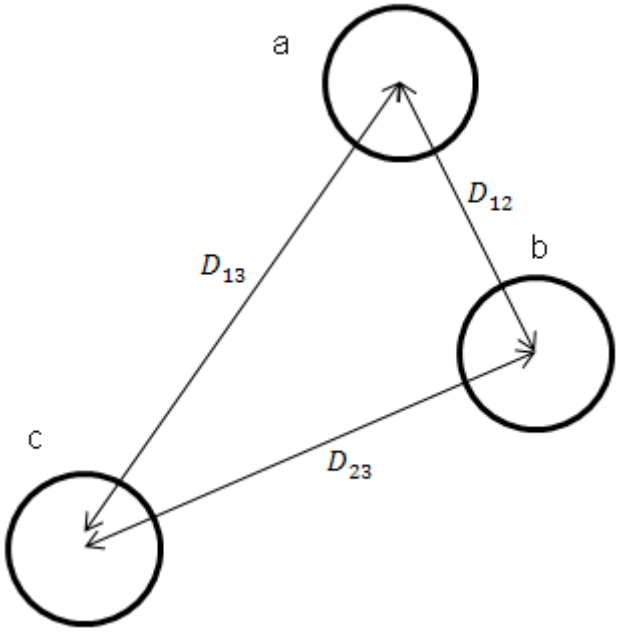
2.4.2. Asimetričan razmak

Praktično, prijenosni vodovi ne mogu imati simetričan razmak vodiča zbog svojih konstrukcija. S asimetričnim razmakom, čak i kod uravnotežene struje, pad napona zbog induktiviteta voda neće biti uravnotežen. Promotri li se jedan metar dužine trofaznog voda s tri vodiča, od kojih svaki ima radijus r,a vodiči su asimetrično razmaknuti s udaljenostima kako je prikazano na slici 2.4.2.1. te primjenom (2-27) dolazi se do sljedećih ulančanih tokova, [4]:

$$\lambda_a = 2\times10^{-7}\left(I_a \ln\frac{1}{r'} + I_b \ln\frac{1}{D_{12}} + I_c \ln\frac{1}{D_{13}}\right)$$

$$\lambda_b = 2\times10^{-7}\left(I_a \ln\frac{1}{D_{12}} + I_b \ln\frac{1}{r'} + I_c \ln\frac{1}{D_{23}} \right)$$

$$\lambda_c = 2\times10^{-7}\left(I_a \ln\frac{1}{D_{13}} + I_b \ln\frac{1}{D_{23}} + I_c \ln\frac{1}{r'} \right) \qquad (2\text{-}32)$$



Slika 2.4.2.1. Trofazni vod s asimetričnim razmacima, [4].

Ili ako se (2-32) prikaže u obrascu matrice, [4]:

$$\lambda = \mathrm{L} \quad \mathrm{I} \qquad (2\text{-}33)$$

pri čemu je matrica simetričnih induktiviteta L zadana kao, [4]:

$$L = 2\times10^{-7}\begin{pmatrix} \ln\frac{1}{r'} & \ln\frac{1}{D_{12}} & \ln\frac{1}{D_{13}} \\ \ln\frac{1}{D_{12}} & \ln\frac{1}{r^1} & \ln\frac{1}{D_{23}} \\ \ln\frac{1}{D_{13}} & \ln\frac{1}{D_{23}} & \ln\frac{1}{r'} \end{pmatrix} \qquad (2\text{-}34)$$

Za simetrične trofazne struje s referencom I_a, dobiva se sljedeće, [4]:

$$I_b = I_a \angle 240° = a^2 I_a$$
$$I_c = I_a \angle 120° = a I_a \tag{2-35}$$

gdje je operater $a = 1\angle 120°$ i $a^2 = 1\angle 240°$. Zamijeni li ga se kao u (2-32), dobiva se sljedeće, [4]:

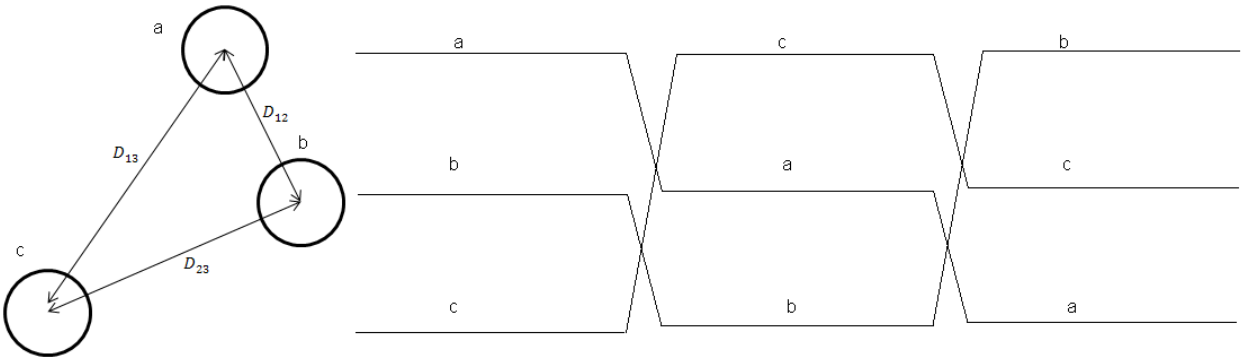
$$L_a = \frac{\lambda_a}{I_a} = 2\times 10^{-7}\left(\ln\frac{1}{r'} + a^2 \ln\frac{1}{D_{12}} + a\ ln\frac{1}{D_{13}} \right)$$
$$L_b = \frac{\lambda_b}{I_b} = 2\times 10^{-7}\left(a\ ln\frac{1}{D_{12}} + \ln\frac{1}{r'} + a^2 \ln\frac{1}{D_{23}} \right) \tag{2-36}$$
$$L_c = \frac{\lambda_c}{I_c} = 2\times 10^{-7}\left(a^2 \ln\frac{1}{D_{13}} + a\ ln\frac{1}{D_{23}} + \ln\frac{1}{r'} \right)$$

Razmatranjem (2-36) pokazuje se da induktiviteti faza nisu jednaki, a međuinduktiviet sadrži imaginarni član.

2.4.3. Preplet (simetriranje) vodiča

Model po fazi prijenosnog vodazahtjeva analize u većini sustava. Jedan način da se u dobroj mjeri postigne simetrija i postigne model po fazi je uporaba transpozicije koja se sastoji od izmjenjivanja konfiguracije faza u svakoj trećini dužine voda, tako što se svaki vodič pomiče i zauzima drugu poziciju, [4]. Takav raspored transpozicije je prikazan na slici 2.4.3.1.

Ako su osi triju vodiča trofaznog voda smještene u vrhovima istostraničnog trokuta, kaže se da je vod simetričan i sva tri vodiča, ako im je presjek isti, imat će istiinduktivitet. Međutim, konstrukcijom vodova se ta simetrija rijetko postiže. Pojedinivodiči istog voda tada imaju nejednake induktivitete, pa zbog toga i nejednake reaktancije. Različiti padovi napona u pojedinim fazama dovode u pogonu do izobličenja zvijezde napona i do pogonskih poteškoća. Zbog toga se konstruktivno osigurava električna simetrija vodova, koji su geometrijski nesimetrični, cikličkom zamjenom položaja vodiča na stupu odnosno takozvanim preplitanjem.Vod se po dužini podijeli na tri dijela. Potrebna su dva preplitanja da bi svakivodič zauzeo sve moguće položaje, [6].



Slika 2.4.3.1. Preplet vodiča nesimetričnog trofaznog voda, [4], [6], [10].

Budući da kod prepletenog voda svaka faza zauzima sve tri pozicije, induktivitet po fazi može se izračunati pronalaženjem srednje vrijednosti (2-36), [4]:

$$L = \frac{L_a + L_b + L_c}{3} \tag{2-37}$$

Povezivanjem $a + a^2 = 1\angle 120° + 1\angle 240° = -1$, prosjek (2-36) postaje, [4]:

$$L = \frac{2\times 10^{-7}}{3}\left(3\ln\frac{1}{r'} - \ln\frac{1}{D_{12}} - \ln\frac{1}{d_{23}} - \ln\frac{1}{D_{13}}\right) \tag{2-38}$$

Ili

$$L = 2\times 10^{-7}\left(\ln\frac{1}{r'} - \ln\frac{1}{(D_{12}D_{23}D_{13})^{\frac{1}{3}}}\right) = 2\times 10^{-7}\ln\frac{(D_{12}D_{23}D_{13})^{\frac{1}{3}}}{r'} \tag{2-39}$$

Ili induktivitet po fazi po kilometru dužine iznosi, [4]:

$$L = 0,2\ln\frac{SGU}{D_s}\, mH/km \tag{2-40}$$

Gdje je:

$$SGU = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{13}} \tag{2-41}$$

Ponovno je riječ o istom obliku izraza za induktivitet jedne fazne jednofaznog voda. SGU (engl. *Geometric Mean Distance* – srednja geometrijska udaljenost) je ekvivalentna razmaku vodiča. Za gore spomenuti trofaznivodto je treći korijen umoška razmaka tri faze. D_s je postignut uz pomoć podataka dobivenih od proizvođača. Za okrugli homogeni vodič vrijedi, [4], [6]:

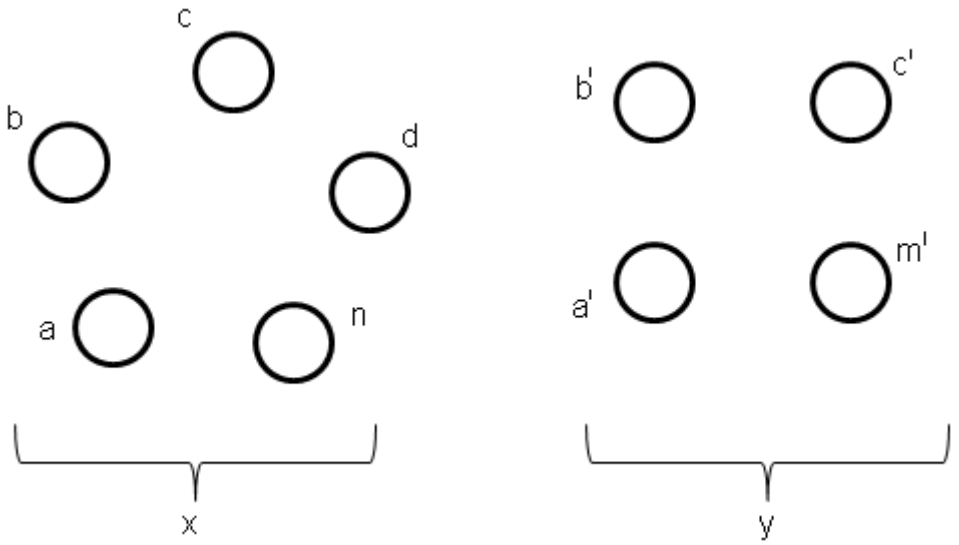
$$D_s = r' = re^{-\frac{1}{4}} = 0.7788\text{r} \tag{2-42}$$

U proračunu induktiviviteta okruglog homogenog vodiča vlastita SGU vodiča jefunkcija radijusa vodiča i permeabiliteta vodiča. Za relativni permeabilitet vodiča $\mu_r = 1$ izlazi jednadžba (2-42), [6]. Kod modernih prijenosnih vodova, transpozicija se inače ne koristi. Ipak, u svrhu prikazivanja modela, najpraktičnije je krug(strujni) ispitati tako transpozicijom. Greška koja se pojavljuje kod rezultata ove prepotstavke je vrlo mala, skoro pa zanemariva, [4].

Nesimetrični vodovi simetriraju se preplitanjem. Tada je uzdužna matricaimpedancija prosjek matrica impedancija svih triju sekcija preplitanja kod jednostrukogili svih devet sekcija preplitanja kod potpunog prepleta dvostrukog voda, [6].

2.5.Induktivitet vodiča u snopu

Za procjenu induktiviteta, promatraju se izdržljivi okrugli vodiči. Ipak, kod praktičnih prijenosnihvodova koriste se vodiči u snopu. Također, zbog ekonomičnih razloga, većina EHV (engl. *Extra Hight Voltage*) vodova je konstruirana uz pomoć složenih vodiča. U ovom potpoglavlju obrazlaže se izraz za induktivitet vodiča u snopu. Rezultat se može koristiti za procjenu SGR-a vodiča u snopu. Također je koristan za pronalaženje ekvivalenta SGR-u ili SGU-u paralelnih strujnih krugova. Razmotrit će se jednofazni vod koji se sastoji od dva složena vodiča i y, kao što je prikazano na slici 2.5.1.. Struja u vodiču x je označena kao I, a povratna struja u y kao $-I$. Vodič x sastoji se od n jednakih pojedinačnih vodiča ili „subvodiča“, od kojih svaki ima radijus r_x. Vodič y sastoji se od m pojedinačnih vodiča, od kojih svaki ima radijus r_y. Pretpostavka je da je struja jednako raspoređena u „subvodičima“. Količina struje po pojedinačnom vodičuoznačena je kao I/n za vodič x i kao I/m za vodič y. Primjena (2-27) će rezultirati sljedećim izrazom za ukupan ulančani tok vodiča a.



Slika 2.5.1. Jednofazni vod s dva složena vodiča, [4].

$$\lambda_a = 2\times10^{-7}\frac{l}{n}\left(\ln\frac{1}{r_x'}+\ln\frac{1}{D_{ab}}+\ln\frac{1}{D_{ac}}+\ldots+\ln\frac{1}{D_{an}}\right)-2\times10^{-7}\frac{l}{n}\left(\ln\frac{1}{D_{an}'}+\ln\frac{1}{D_{ab}'}+\ln\frac{1}{D_{ac}'}+\ldots+\ln\frac{1}{D_{am}}\right) \quad (2\text{-}43)$$

Ili

$$\lambda_a = 2\times10^{-7} Iln\frac{\sqrt[m]{D_{an}'D_{ab}'D_{ac}'\ldots D_{am}}}{\sqrt[n]{r_x'D_{ab}D_{ac\ldots}D_{an}}} \quad (2\text{-}44)$$

Induktivitet „subvodiča“ a jednak je, [4]:

$$L_a = \frac{\lambda_a}{I/n}\lambda = 2\times10^{-7} Iln\frac{\sqrt[m]{D_{an}'D_{ab}'D_{ac}'\ldots D_{am}}}{\sqrt[n]{r_x'D_{ab}D_{ac\ldots}D_{an}}} \quad (2\text{-}45)$$

Koristeći (2-27) induktivitet ostalih „subvodiča“ u x izračunava se sličnom metodom. Primjerice, induktivitet „subvodiča“ n je, [4]:

$$L_n = \frac{\lambda_n}{I/n}\lambda = 2n\times10^{-7} Iln\frac{\sqrt[m]{D_{na}'D_{nb}'D_{nc}'\ldots D_{nm}}}{\sqrt[n]{r_x'D_{na}D_{nb\ldots}D_{nc}}} \quad (2\text{-}46)$$

Prosječni induktivitet bilo kojeg „subvodiča“ u grupi x je, [4]:

$$L_{av} = \frac{L_a + L_b + L_c + \ldots + L_n}{n} \tag{2-47}$$

Budući da su svi „subvodiči“ vodiča x elektronički paralelni, induktivitet x-a iznosi, [4]:

$$L_x = \frac{L_{av}}{n} = \frac{L_a + L_b + L_c + \ldots + L_n}{n^2} \tag{2-48}$$

Ako se zamjene vrijednosti $L_a, L_b, L_c, \ldots, L_n$ u (2-48) dobiva se sljedeće, [4]:

$$L_x = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{SGU}{SGR_x} H / m \tag{2-49}$$

Gdje je

$$SGU = \sqrt[mn]{(D_{aa'} D_{ab'} \ldots D_{am}) \ldots (D_{na'} D_{nb'} \ldots D_{nm})} \tag{2-50}$$

$$SGR_x = \sqrt[n^2]{(D_{aa} D_{ab} \ldots D_{an}) \ldots (D_{na} D_{nb} \ldots D_{nn})} \tag{2-51}$$

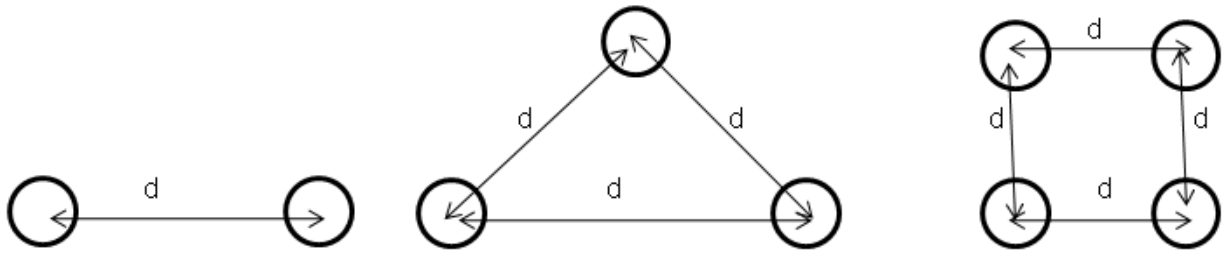
Pri čemu vrijedi da je $D_{aa} = D_{bb} \ldots = D_{nn} = r_x^{'}$.

SGU je mn-tni korijen mn udaljenosti između n pojedinačnih vodiča,vodiča x i m pojedinačnih vodiča,vodiča y.SGR_x je n^2 korijen umoškan^2 izraza, koji se sastoji od r' udaljenosti svakog pojedinačnog vodiča od ostalih pojedinačnih vodičaunutar grupe x.Induktivitet vodiča y se također postiže na sličan način. Srednji geometrijski radijus SGR_y će biti drugačiji. Srednja geometrijska udaljenost SGU je, nasuprot tome, uvijek jednaka, [4].

2.5.1. SGR složenih vodiča

Prijenosni vod s jako visokim naponom se najčešće konstruiraju uz pomoć složenih vodiča. Slaganje vodiča smanjuje induktivni otpor voda, što poboljšava izvedbu i prijenosni kapacitet voda. Također smanjuje napon površine, što rezultira smanjenjem gubitka korone, radio smetnji te karakteristične impedancije. Tipično, složeni vodiči sastoje se od dva, tri ili više vodiča u snopu, koji su simetrično raspoređeni, kao što je prikazano na slici 2.5.1.1.Vodiči u snopu unutar

petlje su odvojeni na frekventne intervale uz pomoć odstojnika (engl. *spacer-dampers*). Oni onemogućavaju sudaranje, osiguravaju odvajanje, ali ujedno i paralelno povezuju vodiče u snopu, [4].



Slika 2.5.1.1. Primjeri grupiranih snopova vodiča, [4], [10].

SGR je ekvivalentan jednom vodiču koji je izračunat korištenjem (2-51). Ako je D_s ujedno i SGR svakog vodiča u snopu, a d je razmak unutar petlje, onda vrijedi, za petlju s dva vodiča u snopu, [4]:

$$D_s^b = \sqrt[4]{(D_s \times d)^2} = \sqrt{D_s \times d} \tag{2-52}$$

Za snop od tri vodiča:

$$D_s^b = \sqrt[9]{(D_s \times d \times d)^3} = \sqrt[3]{D_s \times d^2} \tag{2-53}$$

Za snop od četiri vodiča, [4]:

$$D_s^b = \sqrt[4^{16}]{(D_s \times d \times d \times d \times 2^{\frac{1}{2}})^4} = 1.09\sqrt[4]{D_s \times d^3} \tag{2-54}$$

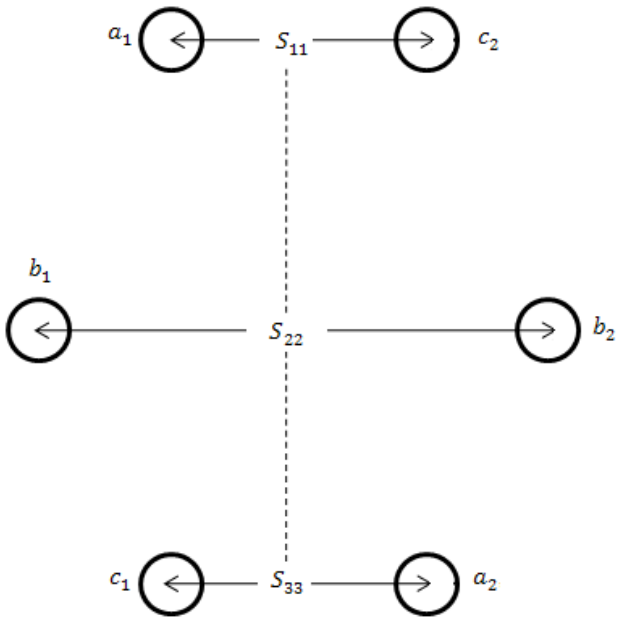
U slučaju simetrično izrađenog snopa s n vodiča može se izračunati srednji geometrijski radijus snopa SGR_{snopa} iz općeg izraza kako slijedi, [10]:

$$SGR_{snopa} = \sqrt[n]{n \cdot SGR \cdot A^{n-1}} \tag{2-55}$$

Ako se metodom SGU želi izračunati induktivitet voda s vodičima u snopu, tada se pri određivanju MSGU (međusobna srednja geometrijska udaljenost), smatrajući pojedine snopove faznim vodičima, u obzir trebaju uzeti udaljenosti između centara kružnica opisanih oko vodiča koji čine te snopove, [10].

2.6. Induktivitet trofaznogvoda dvostrukog strujnog kruga

Trofazni vod dvostrukog strujnog kruga sastoji se od dva identična trofazna strujna kruga. Oni funkcioniraju paralelno kao $a_1 - a_2$, $b_1 - b_2$ i $c_1 - c_2$. Zbog geometrijske različitosti vodiča, pad napona zbog induktiviteta voda neće biti ravnomjeran. Kako bi se postigla ravnoteža, svakoj fazi vodiča mora se izvršiti transpozicija unutar vlastite grupe, poštivajući pravila paralelnih trofaznih vodova. Razmotri li se trofaznivod dvostrukog strujnog kruga s relativnim faznim pozicijama $a_1 b_1 c_1 - c_2 b_2 a_2$, kao što je prikazano na slici 2.6.1. može se koristiti metodu SGR-a kako bi se izračunao induktivitet po fazi, [4].



Slika 2.6.1. Prijenosni vod dvostrukog strujnog kruga, [4].

Kako bi se prethodno navedeno postiglo, potrebno je grupirati faze i koristiti (2-50) za pronalazak SGR-a između svake grupe faza, [4]:

$$D_{AB} = \sqrt[4]{D_{a1b1}D_{a1b2}D_{a2b1}D_{a2b2}}$$
$$D_{BC} = \sqrt[4]{D_{b1c1}D_{b1c2}D_{b2c1}D_{b2c2}} \quad (2\text{-}56)$$
$$D_{AC} = \sqrt[4]{D_{a1c1}D_{a1c2}D_{a2c1}D_{a2c2}}$$

Ekvivalent SGU-a po fazi je tada, [4]:

$$SGU = \sqrt[3]{D_{AB}D_{BC}D_{AC}} \quad (2\text{-}57)$$

Slično tome, iz (2-51), SGR svake grupe faza iznosi, [4]:

$$D_{SA} = \sqrt[4]{(D_s^b D_{a1a2})^2} = \sqrt{D_s^b D_{a1a2}}$$
$$D_{SB} = \sqrt[4]{(D_s^b D_{b1b2})^2} = \sqrt{D_s^b D_{b1b2}} \quad (2\text{-}58)$$
$$D_{SC} = \sqrt[4]{(D_s^b D_{c1c2})^2} = \sqrt{D_s^b D_{c1c2}}$$

Prilikom čega je D_s^b srednji geometrijski radijus složenih vodiča zadan kod (2-52) i (2-54). Ekvivalent srednjem geometrijskom radijusu za izračun induktiviteta po fazi do neutralnosti je, [4]:

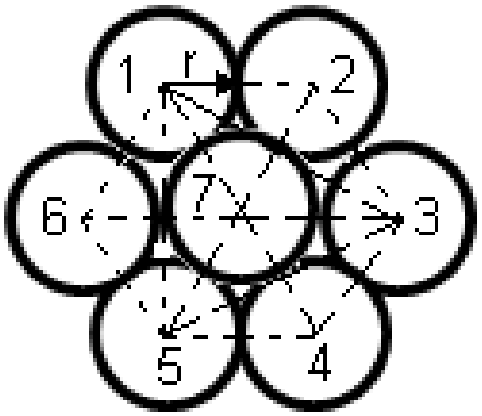
$$SGR_L = \sqrt[3]{D_{SA}D_{SB}D_{SC}} \quad (2\text{-}59)$$

Induktivitet po fazi izražen u milihenrijima po kilometru jednak je, [4]:

$$L = 0,2 \ln \frac{SGU}{SGR_L} mH / km \quad (2\text{-}60)$$

3. PRIMJERI IZRAČUNA INDUKTIVITETA

1. Uže se sastoji od 7 identičnih vodiča, od kojih svaka ima radijus r, kao što je prikazano na slici 3.1. Potrebno je odrediti SGR vodiča s obzirom na r, [4].



Slika 3.1. Presjek užeta od sedam vodiča jednakoga presjeka, [4], [10].

Prema slici 3.1. udaljenost vodiča u užetu 1 od ostalih jednaka je:

$$D_{12} = D_{16} = D_{17} = 2r$$
$$D_{14} = 4r$$
$$D_{13} = D_{15} = \sqrt{D_{14}^2 - D_{45}^2} = 2\sqrt{3r}$$

Prema (2-51) SGR gore spomenutog vodiča je, [4], [10]:

$$SGR = \sqrt[49]{(r' \cdot 2r \cdot 2\sqrt{3r} \cdot 4r \cdot 2\sqrt{3r} \cdot 2r \cdot 2r)^6 \cdot r'(2r)^6} = r\sqrt[7]{(e)^{-\frac{1}{4}}(2)^6(3)^{\frac{6}{7}}(2)^{\frac{6}{7}}} = 2.1767r$$

Ako je količina vodiča u užetu velika, izračun SGR-a može biti zahtjevan i monoton. Zbog toga je on najčešće već otprije poznat u podatcima proizvođača.

Prethodno izračunati rezultat treba preračunati na radijus vanjske obuhvatne kružnice, a on je $R = 3r$, odnosno $r = R/3$, pa slijedi, [10]:

$$SGR = \frac{2,1767}{3} = 0,7253R$$

Ovakav rezultat je manji od 0,7788R što bi se dobio za valjak radijusa R, a rezultati sličnog proračuna srednjeg geometrijskog radijusa užeta s različitim brojem žila prikazani su u tablici 3.1., [10].

Tablica 3.1. Srednji geometrijski radijus užeta za broj žila u užetu, [10].

Broj žila u užetu	**Srednji geometrijski radijus užeta SGR**
7	0,725R
19	0,757R
37	0,768R
61	0,772R
91	0,774R
127	0,775R

2. Jedna faza dalekovoda dugačka je 35 km, sastoji od dva čvrsta okrugla vodiča, od kojih svaki ima promjer od 0,9 cm. Razmak vodiča je 2,5 m. Potrebno je izračunati ekvivalentni promjer šupljeg izmišljenog voda, tankih stijenki vodiča koji ima istu ekvivalentnu induktivnost kao izvorni vod te kolika je vrijednost induktiviteta po vodiču, [9].

$$r' = e^{-\frac{1}{4}} r = e^{-\frac{1}{4}} \left(\frac{0,9}{2} \right) = 0,35m$$

Ili za $d = 0,7m$:

$$L = 0,2 \ln \frac{2,5}{0,35 \cdot 10^{-2}} = 1,34mH / km$$

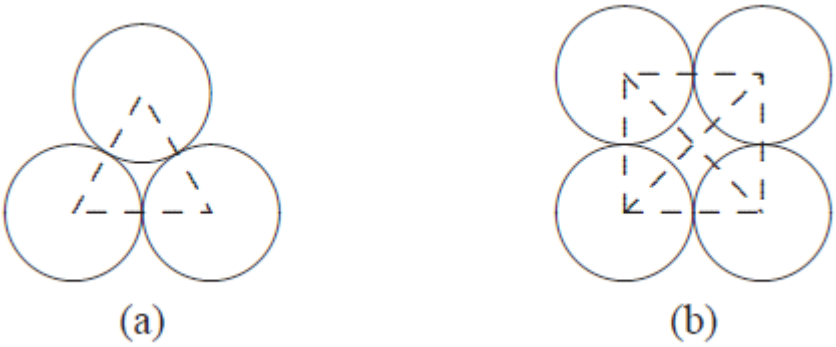
Induktivitet po vodiču iznosi:

$$L = (35)(1,314) = 46mH$$

3. Potrebno je izračunati srednji geometrijski promjer vodiča u odnosu na polumjer r pojedine niti za, [9]:

a) tri jednaka vlakna kao što je prikazano na slici 3.2. (a)

b) četiri jednaka kao što je prikazano na slici 3.2. (b)



Slika 3.2. Presjek upletenog vodiča, [9].

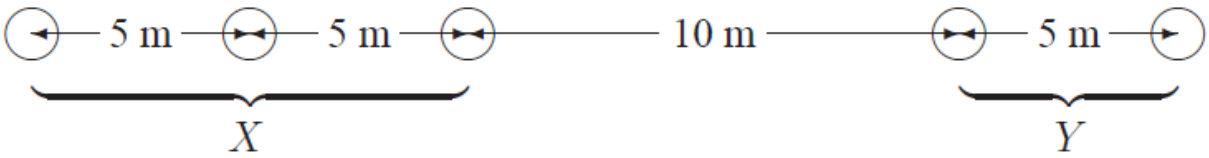
Za slučaj pod a) vrijedi:

$$SGR = \sqrt[9]{\left(r'2r \cdot 2r\right)^3} = \sqrt[3]{e^{-\frac{1}{4}} r \cdot 2r \cdot 2r} = 1,46r$$

Za slučaj pod b) vrijedi:

$$SGR = \sqrt[16]{\left(r'2r \cdot 2r\sqrt{2} \cdot 2r\right)^4} = \sqrt[4]{e^{-\frac{1}{4}} \cdot 8\sqrt{2} \cdot r^4} = 1,723r$$

4. Jednofazni krug dalekovoda sastoji se od tri čvrstih žica polumjera 0,5 cm. Povratni krug sastoji se od dvije čvrste žice polumjera 2.5 cm. Raspored vodiča je kao što je prikazano na slici 3.3. Primjenom koncepta SGU i SGR potrebno je naći induktivitet kompletne linije u millihenryjima po kilometru, [9].



Slika 3.3. Raspored vodiča, [9].

$$D_m = \sqrt[6]{(20)(25)(15)(20)(10)(15)} = 16,802m$$

$$D_{SX} = \sqrt[9]{\left(e^{-\frac{1}{4}} \cdot 0,005 \cdot 5 \cdot 10\right)\left(e^{-\frac{1}{4}} \cdot 0,005 \cdot 5 \cdot 5\right)\left(e^{-\frac{1}{4}} \cdot 0,005 \cdot 5 \cdot 10\right)} = 0,5366m$$

$$D_{SY} = \sqrt[4]{\left(e^{-\frac{1}{4}} \cdot 0,025 \cdot 5\right)^2} = 0,312m$$

Prema tome, slijedi da je:

$$L_X = 0,2 \ln \frac{16,802}{0,5366} = 0,6888 mH / km$$

$$L_Y = 0,2 \ln \frac{16,802}{0,312} = 0,79725 mH / km$$

Induktivitet petlje jednak je:

$$L = L_X + L_Y = 0,6888 + 0,79725 = 1,48605 mH / km$$

4. PRIMJERI IZRAČUNA JEDINIČNOG INDUKTIVITETA POMOĆU RAČUNALNOG PROGRAMA

Program MATLAB služi za rješavanje različitih matematičkih problema, te čitav niz izračunavanja i simulacija vezanih uz obradu signala, upravljanje, regulaciju i identifikaciju sustava. Prva verzija MATLAB-a, jednostavni matrični laboratorij (*Matrix Laboratory*), napisana je krajem 1970. godine na sveučilištima *University of New Mexico* i *Stanford University* s ciljem primjene u matričnoj teoriji, linearnoj algebri i numeričkoj analizi. Korišten je Fortran i dijelovi biblioteka LINPACK i EISPACK. Početkom 80-tih se prelazi na C programski jezik uz dodavanje novih mogućnosti, i to prvenstveno u područjima obradbe signala i automatskog upravljanja. Od 1984. MATLAB je dostupan kao komercijalni proizvod tvrtke MathWorks, [11].

Danas svojstva MATLAB-a daleko prelaze originalni "matrični laboratorij". Radi se o interaktivnom sustavu i programskom jeziku za opća tehnička i znanstvena izračunavanja. Osim osnovnog sustava postoje i brojni programski paketi koji ga proširuju te pokrivaju gotovo sva područja inženjerske djelatnosti: obradu signala i slike, 2D i 3D grafičke prikaze, automatsko upravljanje, identifikaciju sustava, statističke obrade, analizu u vremenskoj i frekvencijskoj domeni, simboličku matematiku i brojne druge. Jedan od važnijih paketa je SIMULINK— vizualni alat koji omogućuje simulaciju kontinuiranih i diskretnih sustava pomoću funkcijskih blok dijagrama te time ne zahtijeva od korisnika detaljno poznavanje sintakse nekog programskog jezika. MATLAB je također zamišljen kao sustav u kojem korisnik na jednostavan način može graditi svoje vlastite alate i biblioteke te modificirati postojeće. U tu svrhu se koristi jednostavni programski jezik. Također je moguće koristiti C, Fortran, Adu ili Javu, [11].

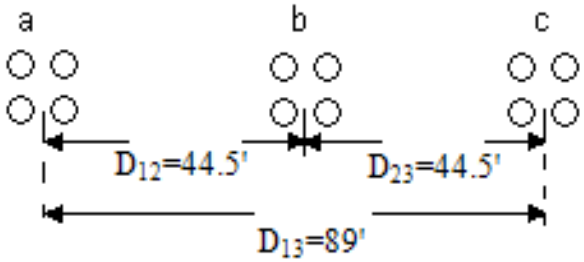
4.1. Mogućnosti računalnog programa Matlab

Svi podatci u MATLAB-u tretiraju se kao matrice čije dimenzije nije potrebno čuvati kao posebne varijable. Čak se i skalarne veličine predstavljaju kao matrice s dimenzijom 1×1. Svi su podatci interno zapisani u *double float* obliku (pomični zarez dvostruke preciznosti – 64 bita) što osigurava vrlo veliki dinamički raspon i točnost za brojne primjene. Pored realnih brojeva i

matrica, podržane su i kompleksni brojevi te kompleksne matrice. Po svojoj formi MATLAB je interaktivni jezik—*interpreter*, namijenjen prvenstveno matričnim izračunavanjima. Po svojoj formi blizak je načinu na koji se i inače zapisuju matematičke formule, pa jedan redak u MATLAB-u može zamijeniti stotine redaka napisanih u nekom programskom jeziku opće namjene (C, C++, PASCAL, BASIC i sl.). Osim osnovnih matematičkih operacija na matrice je moguće primjenjivati i različite funkcije. Neke od njih operiraju nad pojedinim elementima matrice, neke nad stupcima, a neke nad cijelim matricama. Elementarne funkcije primjenjuju se na svaki element matrice. Neke od preostalih funkcije operiraju nad stupcima matrice. Stupci matrice se tada tretiraju kao neovisni vektori na koje se primjenjuje zadana operacija. Npr. max(x) daje vrijednosti najvećih elemenata svakog stupca od x, min(x) daje vrijednosti najmanjih elemenata svakog stupca od x, sum(x) daje zbroj svih elemenata stupaca, prod(x) daje produkt svih elemenata stupaca itd. Osnovna MATLAB ljuska nije pogodna za grafički prikaz rezultata. Da bi mogli grafički prikazati rezultate moramo otvoriti novi prozor za njihov prikaz što se postiže naredbom *figure*, [11].

4.2. Primjeri izračuna jediničnog induktiviteta dalekovoda

Primjer 1. 735-kV trofazni prijenosni vod sastoji se od četiri ACSR, 954 000-cmil, 45/7 Rail vodiča po fazi u vodoravnoj izvedbi vodiča, kako je prikazano na slici 4.2.1. Razmak u snopu je 46 cm. Koristi se *acsr* u Matlabu kako bi se dobila veličina vodiča i električna svojstva za Rail vodič. Potrebno je naći induktivitet faze voda po kilometru.



Slika 4.2.1. Izgled vodiča za primjer 1.

Naredba *acsr* prikazuje kodni naziv vodiča i područje u cmils za ACSR vodič. Korisnika se tada traži unos naziva koda u jednostrukim navodnicima, kako slijedi:

Enter ACSR code name within single quotes → 'rail'

Al Area	Strand	Diameter	GMR	Resistance	Ohm/km	Ampacity
cmil	Al/St	cm	cm	60Hz 25C	60Hz 50C	Ampere
954000	45/7	2.959	1.173	0.0624	0.0683	1000

Slijedom sljedećih naredbi:

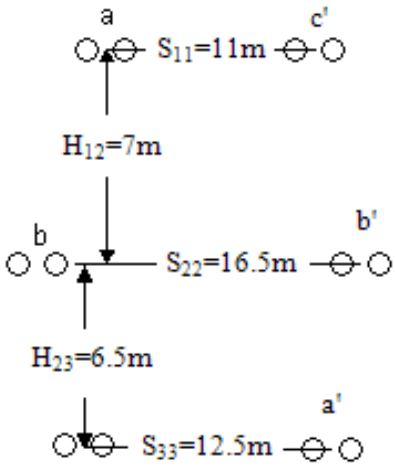
```
[GMD, GMRL] = gmd;
L = 0.2*log(GMD/GMRL)          % mH/km
```

slijedi:

Broj trofaznog kruga	Unesi
Jednostruki vod	1
Dvostruki vertikalni vod	2
Dvostruki horizontalni vod	3
Izlaz	0

Odredi broj iz prethodnog odabira → 1
Unesi jedinice za razmak s jednostrukim navodnim znacima 'm' ili 'ft' → 'ft'
Unesi veličinu jedinice za razmak vodiča u snopu: 'cm' ili 'in' 'cm'
Promjer vodiča u cm = 2.959
Srednja geometrijska udaljenost u cm = 1.173
Broj vodiča u snopu (unesi 1 za jednofazni vodič) = 4
Udaljenost vodiča u snopu u cm = 46
GMD = 56.06649 ft
GMRL = 0.65767 ft
L = 0.8891

Primjer 2. 345-kV prijenosni vod trofaznog dvostrukog kruga sastoji se od dva ACSR, 1, 431 000-cmil, 45/7 BOBOLINK vodiča po fazi s vertikalnom konfiguracijom vodiča, kako je prikazano na slici 4.2.2. Vodiči imaju promjer od 1,427 inča i GMR od 0,564 inča. Snop je veličine 18 inča. Potrebno je naći induktivitet faze po kilometru.



Slika 4.2.2. Izgled vodiča za primjer 2.

Slijedom sljedećih naredbi:

[GMD, GMRL] = gmd;
L = 0.2*log(GMD/GMRL) % mH/km

slijedi:

Broj trofaznog kruga	Unesi
Jednofazni	1
Dvofazni vertikalni	2
Dvofazni horizontalni	3
Izlaz	0

Odredi broj iz prethodnog odabira ⟶ 2

<u>Raspored kruga</u>

(1) abc – c'b'a'

(2) abc – a'b'c'

Unesi (1 ili 2) ⟶ 2

Unesi jedinice za razmak s jednostrukim navodnim znacima 'm' ili 'ft' ⟶ 'm'

Unesi red vektora [S_{11}, S_{22}, S_{33}] = [11 16.5 12.5]

Unesi veličinu jedinice za razmak vodiča u snopu: 'cm' ili 'in' 'in'

Promjer vodiča u inčima = 1.427

Srednja geometrijska udaljenost u inčima = 0.564

Broj vodiča u snopu (unesi 1 za jednofazni vodič) = 4

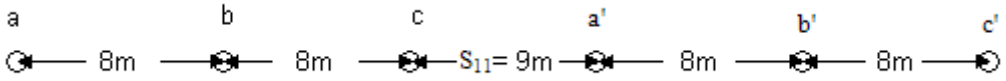
Udaljenost vodiča u snopu u inčima = 18

GMD = 11.21352 m

GMRL = 1.18731 m

L = 0.4491

Primjer 3. 345-kV prijenosni vod trofaznog dvostrukog kruga sastoji se od jednog ACSR, 556 500 cmil, 26/7 Dove vodiča po fazi s vodoravnom izvedbom vodiča, kako je prikazano na slici 4.2.3. Vodiči imaju promjer od 0,927 inča i GMR od 0.3788 inča. Snop je veličine 18 inča. Potrebno je naći induktivitet faze po kilometru.



Slika 4.2.3. Izgled vodiča za primjer 3.

Slijedom sljedećih naredbi:

[GMD, GMRL] = gmd;

L = 0.2*log(GMD/GMRL) % mH/km

slijedi:

Broj trofaznog kruga	Unesi
Jednofazni	1
Dvofazni vertikalni	2
Dvofazni horizontalni	3
Izlaz	0

Odredi broj iz prethodnog odabira ⟶ 3

Raspored kruga

(1) abc – a'b'c'

(2) abc – c'b'a'

Unesi (1 ili 2) ⟶ 1

Unesi jedinice za razmak s jednostrukim navodnim znacima 'm' ili 'ft' ⟶ 'm'

Unesi red vektora [D_{12}, D_{23}, S_{13}] = [8 8 16]

Unesi udaljenost između dva kruga S_{11} = 9

Unesi veličinu jedinice za razmak vodiča u snopu: 'cm' ili 'in' 'in'

Promjer vodiča u inčima = 0.927

Srednja geometrijska udaljenost u inčima = 0.3768

Broj vodiča u snopu (unesi 1 za jednofazni vodič) = 1

Udaljenost vodiča u snopu u inčima = 18

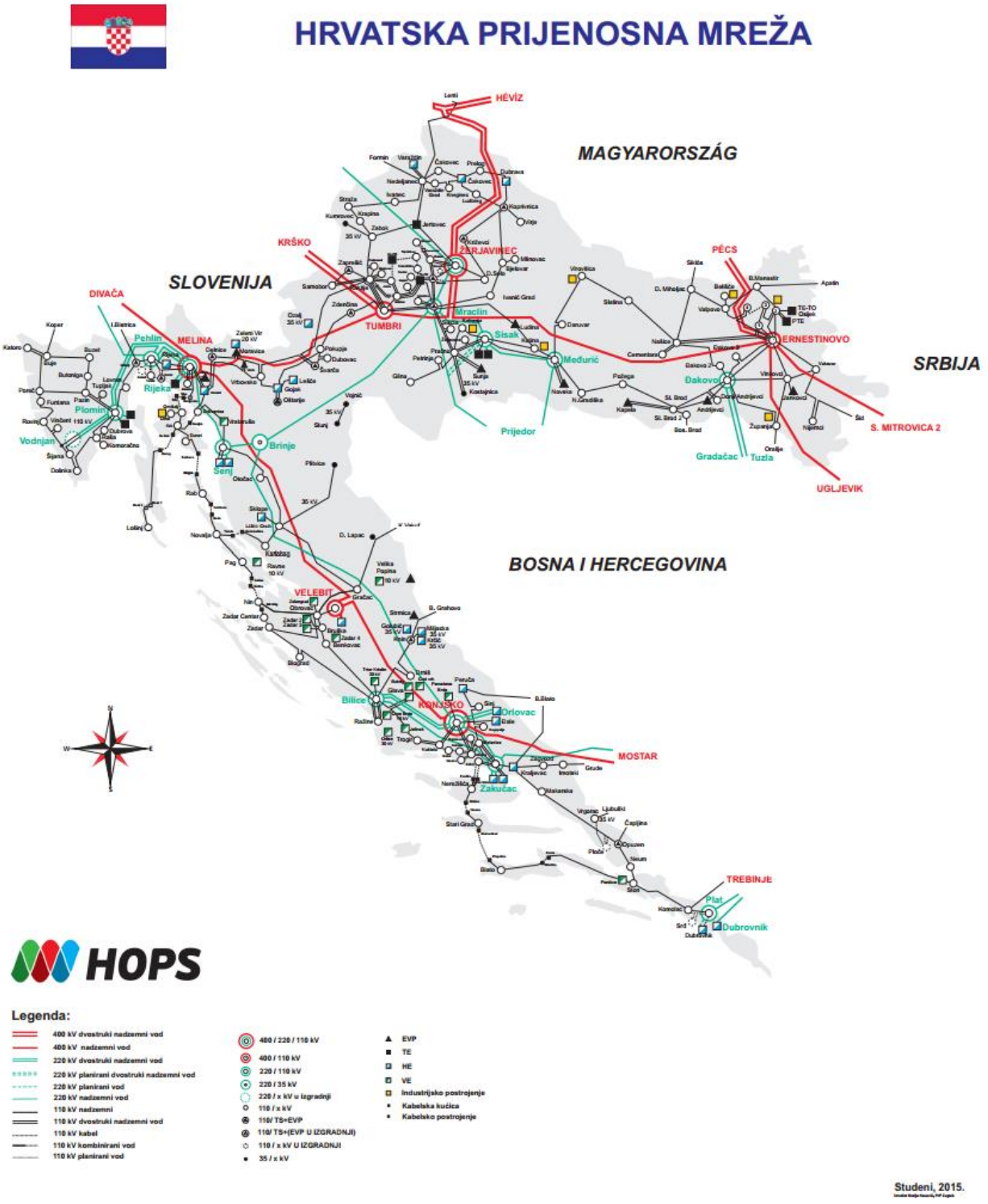
GMD = 14.92093 m

GMRL = 0.48915 m

L = 0.6836

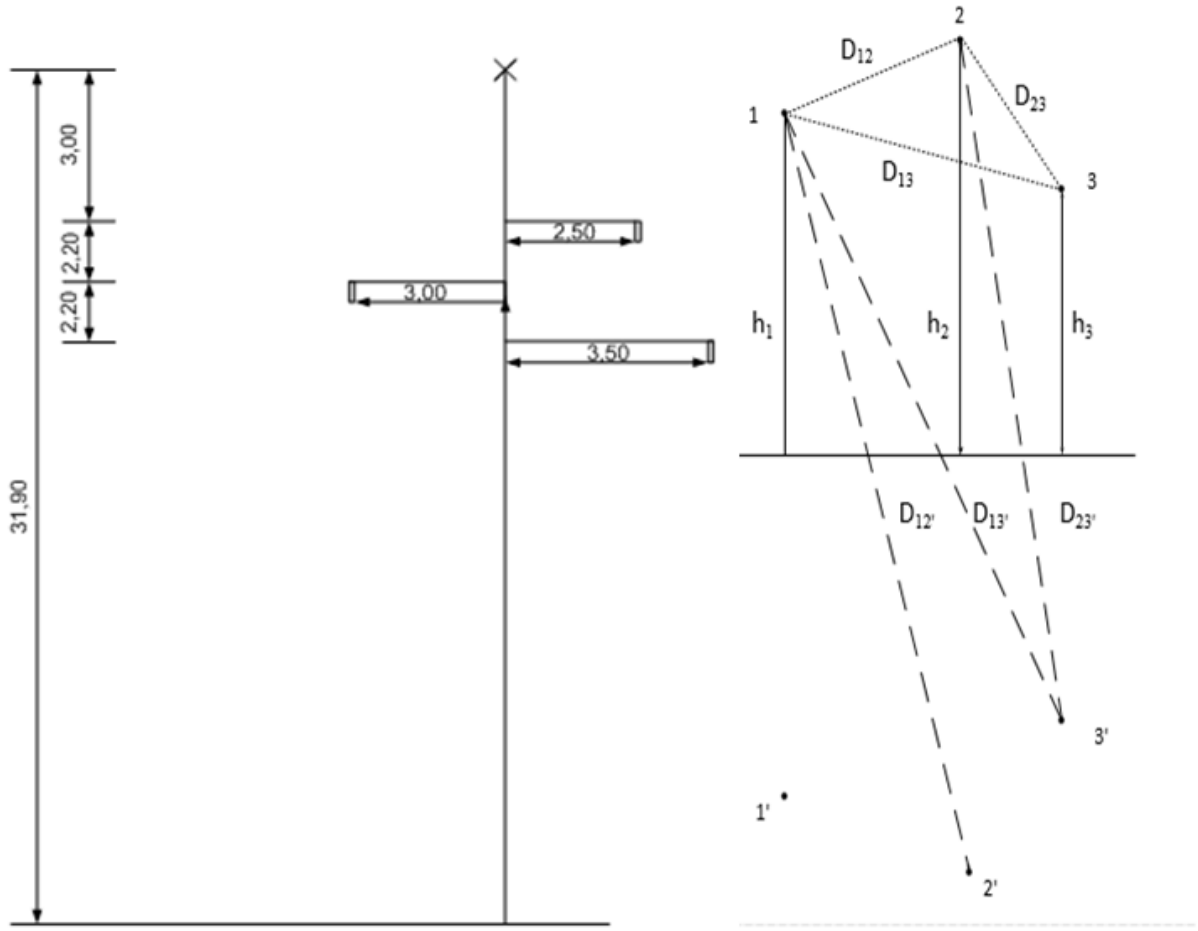
5. PRORAČUNSKI ZADATCI U MATLABU

Prije samih zadataka, u okviru ovoga poglavlja, prikazuje se slika (5.1.) prijenosne mreže Republike Hrvatske, stanje u 2015. godini.



Slika 5.1. Prijenosna mreža Republike Hrvatske, [14].

Zadatak 1. Zadan je 110 kV trofazni nadzemni vod čija je trasa izgrađena od čelično-rešetkastih stupova tipa „jela“ kao što je to prikazano na slici 5.2. Dimenzije stupa i udaljenosti na slici su naznačene u metrima. Vod je prepleten. Na slici 5.3. prikazan je stvarni izgled 110kV trofaznog dalekovoda na području Belog Manastira.



Slika 5.2. Prikaz dimenzija 110kV voda „jela“.

Podatci o dalekovodu: - fazni vodiči: Al/Če uže presjeka 240/40 mm^2,
- broj vodiča u snopu: 1,
- zaštitno uže: čelično uže presjeka 70 mm^2.



Slika 5.3. 110kV trofazni dalekovod na području Belog Manastira, [12].

Za proračun u Matlabu potrebni su sljedeći prethodni izračuni:

$$S_{Al/Če} = 240/40 \ mm^2$$
$$S_{užeta} = S_{Al} + S_{Če} = 240 + 40 = 280 \ mm^2$$
$$S = r^2 \cdot \pi \ \Rightarrow \ r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{280}{\pi}} = 9.44 \ mm = 0.944cm$$
$$d = 2 \cdot r = 19{,}88mm = 1.988cm$$

$$h_1 = 31.9 - 3 - 2.2 = 26.7 \ m$$
$$h_2 = 31.9 - 3 = 28.9 \ m$$
$$h_3 = 31.9 - 3 - 2.2 - 2.2 = 24.5 \ m$$
$$h_{sr} = \sqrt[3]{h_1 \cdot h_2 \cdot h_3}$$
$$h_{sr} = \sqrt[3]{26.7 \cdot 28.9 \cdot 24.5} = 26.64 \ m$$

$$MSGU = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{13}}$$
$$D_{12} = \sqrt{(3 + 2.5)^2 + 2.2^2} = 5.92 \ m$$
$$D_{23} = \sqrt{1^2 + (2.2 + 2.2)^2} = 4.51 \ m$$
$$D_{13} = \sqrt{(3 + 3.5)^2 + 2.2^2} = 6.86 \ m$$
$$MSGU = \sqrt[3]{5.92 \cdot 4.51 \cdot 6.86} = 5.68 \ m$$

$$SGR = r = 0.944 \ cm$$
$$D_{12'} = \sqrt{(28.9 + 26.7)^2 + (3 + 2.5)^2} = 55.87 \ m$$
$$D_{13'} = \sqrt{(24.5 + 26.7)^2 + (3 + 3.5)^2} = 51.61 \ m$$
$$D_{23'} = \sqrt{(28.9 + 24.5)^2 + 1^2} = 53.41 \ m$$
$$X_{sr} = \sqrt[3]{D_{12'} \cdot D_{13'} \cdot D_{23'}}$$
$$X_{sr} = \sqrt[3]{55.87 \cdot 51.67 \cdot 53.41} = 53.62 \ m$$

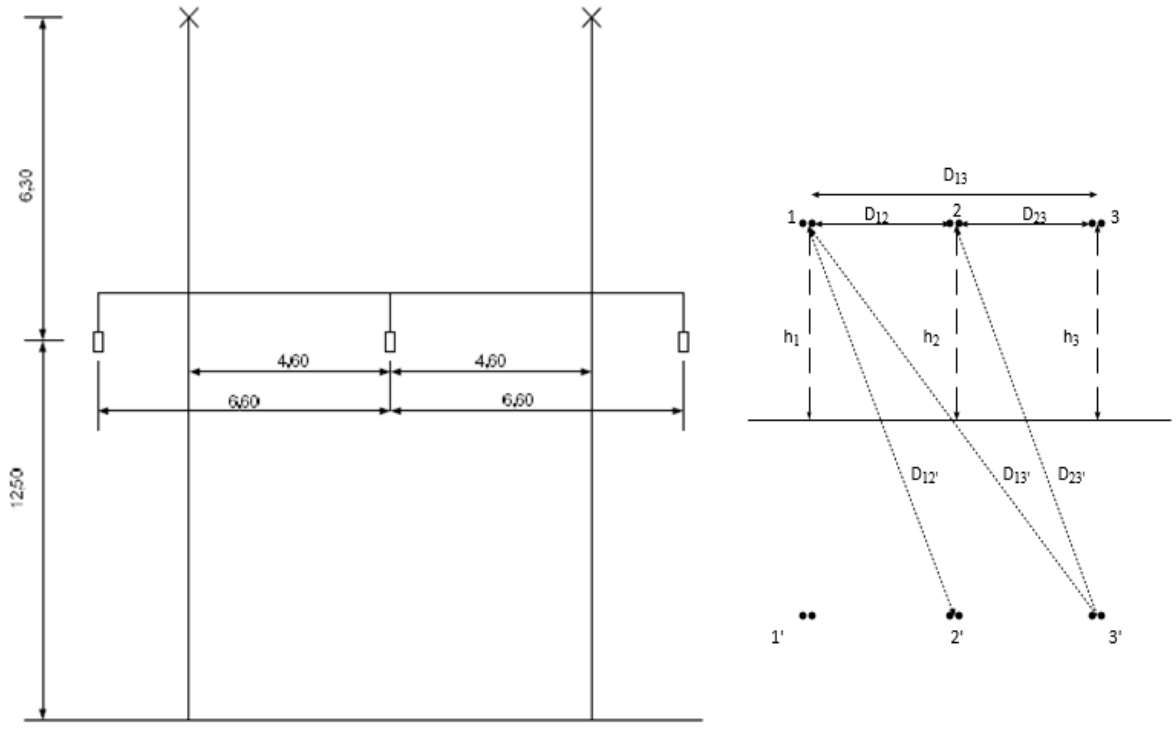
gdje je:

X_{sr} - srednja geometrijska udaljenost faznih vodiča i zamišljenih likova dobivenih metodom zrcaljenja.

Primjenom *gmd2lc* skripte (u prilogu) u Matlabu dobivaju se sljedeći rezultati:

>> Induktivitet
Unesi udaljenost između vodiča 1 i 2 (u metrima): 5.92
Unesi udaljenost između vodiča 2 i 3 (u metrima): 4.51
Unesi udaljenost između vodiča 1 i 3 (u metrima): 6.86
Međusobna srednja geometrijska udaljenost između vodiča je: 5.68
Unesi udaljenost vodiča 1 prema zemlji (u metrima): 26.7
Unesi udaljenost vodiča 2 prema zemlji (u metrima): 28.9
Unesi udaljenost vodiča 3 prema zemlji (u metrima): 24.5
Srednja geometrijska udaljenost vodiča prema zemlji je: 26.64
Unesi udaljenost između vodiča 1 i vodiča 2 dobivenog zrcaljenjem (u metrima): 55.68
Unesi udaljenost između vodiča 1 i vodiča 3 dobivenog zrcaljenjem (u metrima): 51.61
Unesi udaljenost između vodiča 2 i vodiča 3 dobivenog zrcaljenjem (u metrima): 53.41
Srednja geometrijska udaljenost vodiča prema zrcaljenim likovima je: 53.54
Unesi broj vodiča u snopu: 1
Unesi polumjer jednog vodiča (u metrima): 0.00944
Srednji geomtrijski radijus je: 0.0094
Induktivitet nadzemnog voda iznosi:
L= 1.2856 mH/km

2. Primjer: Zadan je 220-kV trofazni nadzemni vod čija je trasa izgrađena od čelično-rešetkastih stupova tipa „portal“ kao što je prikazano na Slici 5.4. Dimenzije stupa i udaljenosti su također naznačene. Vod je prepleten. Potrebno je odrediti jedinični induktivitet. Na slici 5.5. prikazan je stvarni izgled ovakvoga nadzemnog voda na relaciji Đakovo – Tuzla.



Slika. 5.4. Dimenzije nadzemnog voda stup tipa „portal“.

Podatci o dalekovodu: - fazni vodiči: Al/Če uže presjeka 360/57 mm^2,
- broj vodiča u snopu: 2,
- zaštitno uže: čelično uže presjeka 2x50 mm^2,
- razmak između vodiča u snopu 220 mm.



Slika 5.5. 220kV trofaznoi nadzemni vod na relaciji Đakovo-Tuzla, [13].

Potrebni podatci za proračun u Matlabu se sljedeći:

$$a_s = 0.22 \text{ m}$$
$$S_{Al/Če} = 360/57 \text{ mm}^2$$
$$S_{užeta} = S_{Al} + S_{Če} = 360 + 57 = 417 \text{ mm}^2$$
$$S = r^2 \cdot \pi \Rightarrow r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{417}{\pi}} = 11.52 \text{ mm}$$
$$d = 23.04\text{mm} = 2.304\text{cm}$$
$$h_{sr} = \sqrt[3]{h_1 \cdot h_2 \cdot h_3}$$
$$h_1 = h_2 = h_3 = h_{sr} = 12.5 \text{ m}$$

$$D_{12} = 6.6 \text{ m}$$
$$D_{23} = 6.6 \text{ m}$$
$$D_{13} = 13.2 \text{ m}$$
$$MSGU = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{13}}$$
$$MSGU = \sqrt[3]{6.6 \cdot 6.6 \cdot 13.2} = 8.32 \text{ m}$$

$$n = 2$$
$$SGR = \sqrt{r \cdot a_s}$$
$$SGR = \sqrt{0.0115 \cdot 0.22} = 0.0503 \text{ m}$$

$$D_{12'} = \sqrt{(12.5 + 12.5)^2 + 6.6^2} = 25.86 \text{ m}$$
$$D_{13'} = \sqrt{(12.5 + 12.5)^2 + 13.2^2} = 28.27 \text{ m}$$
$$D_{23'} = \sqrt{(12.5 + 12.5)^2 + 6.6^2} = 25.86 \text{ m}$$
$$X_{sr} = \sqrt[3]{D_{12'} \cdot D_{13'} \cdot D_{23'}}$$
$$X_{sr} = \sqrt[3]{25.86 \cdot 28.27 \cdot 25.86} = 26.64 \text{ m}$$

Primjenom *gmd2lc* skripte (u prilogu) u Matlabu dobivaju se sljedeći rezultati:

>> Induktivitet

Unesi udaljenost između vodiča 1 i 2 (u metrima): 6.6

Unesi udaljenost između vodiča 2 i 3 (u metrima): 6.6

Unesi udaljenost između vodiča 1 i 3 (u metrima): 13.2

Međusobna srednja geometrijska udaljenost između vodiča je: 8.32

Unesi udaljenost vodiča 1 prema zemlji (u metrima): 12.5

Unesi udaljenost vodiča 2 prema zemlji (u metrima): 12.5

Unesi udaljenost vodiča 3 prema zemlji (u metrima): 12.5

Srednja geometrijska udaljenost vodiča prema zemlji je: 12.50

Unesi udaljenost između vodiča 1 i vodiča 2 dobivenog zrcaljenjem (u metrima): 25.86

Unesi udaljenost između vodiča 1 i vodiča 3 dobivenog zrcaljenjem (u metrima):: 28.27

Unesi udaljenost između vodiča 2 i vodiča 3 dobivenog zrcaljenjem (u metrima):: 25.86

Srednja geometrijska udaljenost vodiča prema zrcaljenim likovima je: 26.64

Unesi broj vodiča u snopu: 2

Unesi polumjer jednog vodiča (u metrima): 0.0115

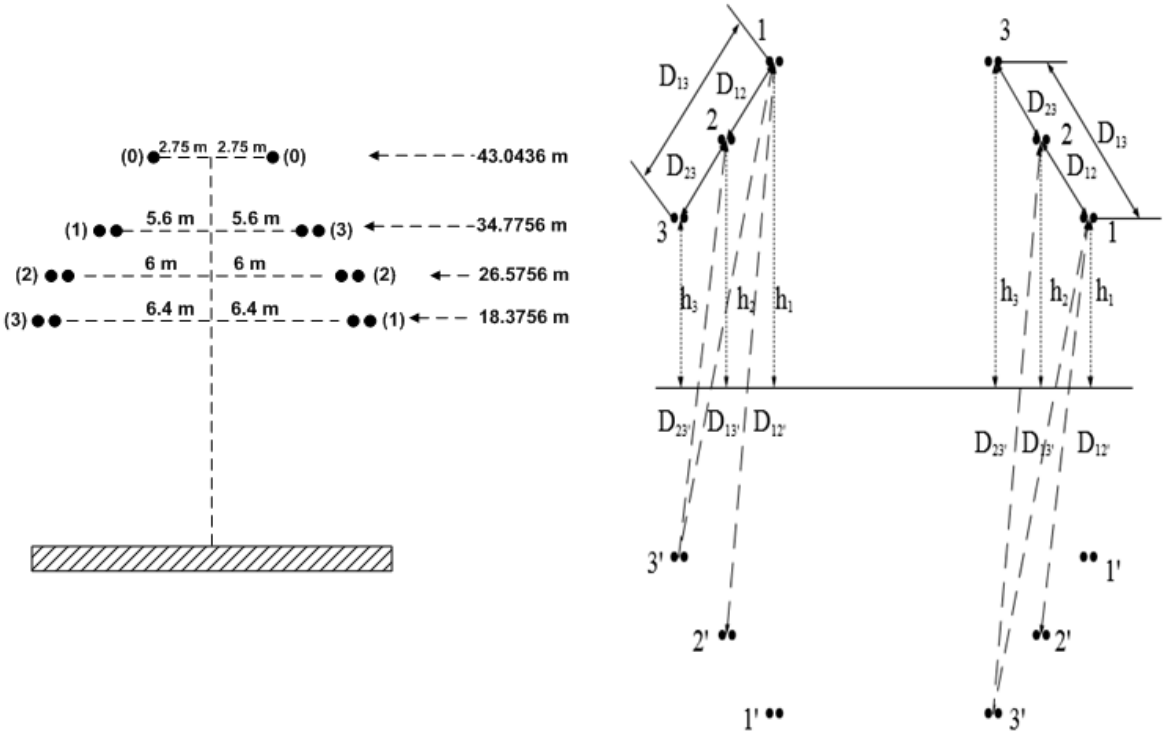
Unesi razmak između vodiča (u metrima): 0.22

Srednji geomtrijski radijus je: 0.0503

Induktivitet nadzemnog voda iznosi:

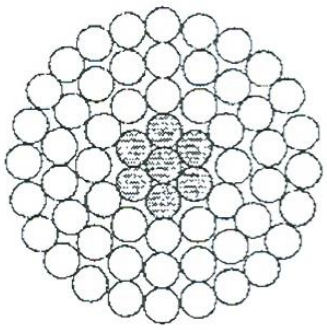
L= 0.8740 mH/km

3. Primjer: Zadan je 400-kV trofazni nadzemni vod čija je trasa izgrađena od čelično-rešetkastih stupova tipa „trapez“ kao što je prikazano na Slici 5.6. Dimenzije stupa i udaljenosti su također naznačene. Vod je prepleten. Prosječni provjes faznih vodiča iznosi 8.96 m. Potrebno je odrediti jedinični induktivitet nadzemnog voda. Na slici 5.7. prikazan je presjek vodiča ACSR 500/65 mm2. Na slici 5.8. nalazi se presjek zaštitnog užeta ASLH (AA/St 59/25 mm^2 OPGW). Na slici 5.9. nalazi se stvaran prikaz nadzemnog voda na području Petlovca. Na slici 5.10. prikazana je skica 400-kV trofaznog dalekovoda tipa “trapez“ (stup OT-O).



Slika 5.6. Međusobne udaljenosti i položaj vodiča.

a) Vodič ACSR 500/65 mm^2



Slika 5.7. Presjek vodiča ACSR 500/65 mm^2.

Konfiguracija:

Centar: čelične žice 7 x 3.45 mm (promjer)

Sloj 1: aluminijske žice 54 x 3.45 mm (promjer)

Mehanički i električki podatci:

Promjer vodiča: d_v=31.05 mm.

Jedinični djelatni električni otpor na 20^o C: R_v=0.0573 Ω/km.

Međusobni razmak vodiča u snopu: d=400 mm.

Ukupni presjek vodiča: 570.24 mm^2.

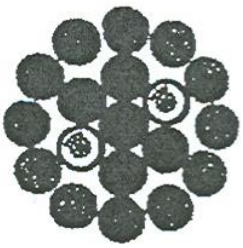
Presjek aluminija: 504.8 mm^2.

Presjek čelika: 65.44 mm^2.

Težina: 1.918 kg/m

Debljina/promjer=0.333.

b) **Zaštitno uže ASLH (AA/St 59/25 mm^2 OPGW)**



Slika 5.8. Presjek zaštitnog užeta ASLH (AA/St 59/25 mm^2 OPGW).

Konfiguracija:

Centar: 1 čelična žica 2.60 mm

Sloj 1: 4 čelične žice 2.50 mm

2 cijevi od nehrđajućeg čelika sa 24 SMF niti (2.10/2.50 mm)

Sloj 2: 12 AA – žice 2.50 mm

Mehanički i električki podatci:

Promjer užeta: d_Z=12.6 mm.

Debljina/promjer=0.1984.

Jedinični djelatni električni otpor na 20^o C: R_Z=0.568 Ω/km.

Težina: 396 kg/km.

Ukupni presjek vodiča: 83.8 mm^2.

c) Udaljenosti vodiča, zaštitnih užeta i prikaz rasporeda faza

Duljina prijenosnog voda: 31.100 km.

Prosječna visina najnižeg vodiča iznad tla (uračunat provjes) je 18.3756 m.

Prosječna visina zaštitnog užeta iznad tla (uračunat provjes) je 43.0436 m.

Duljina nosnih izolatorskih lanaca: 3.543 m.

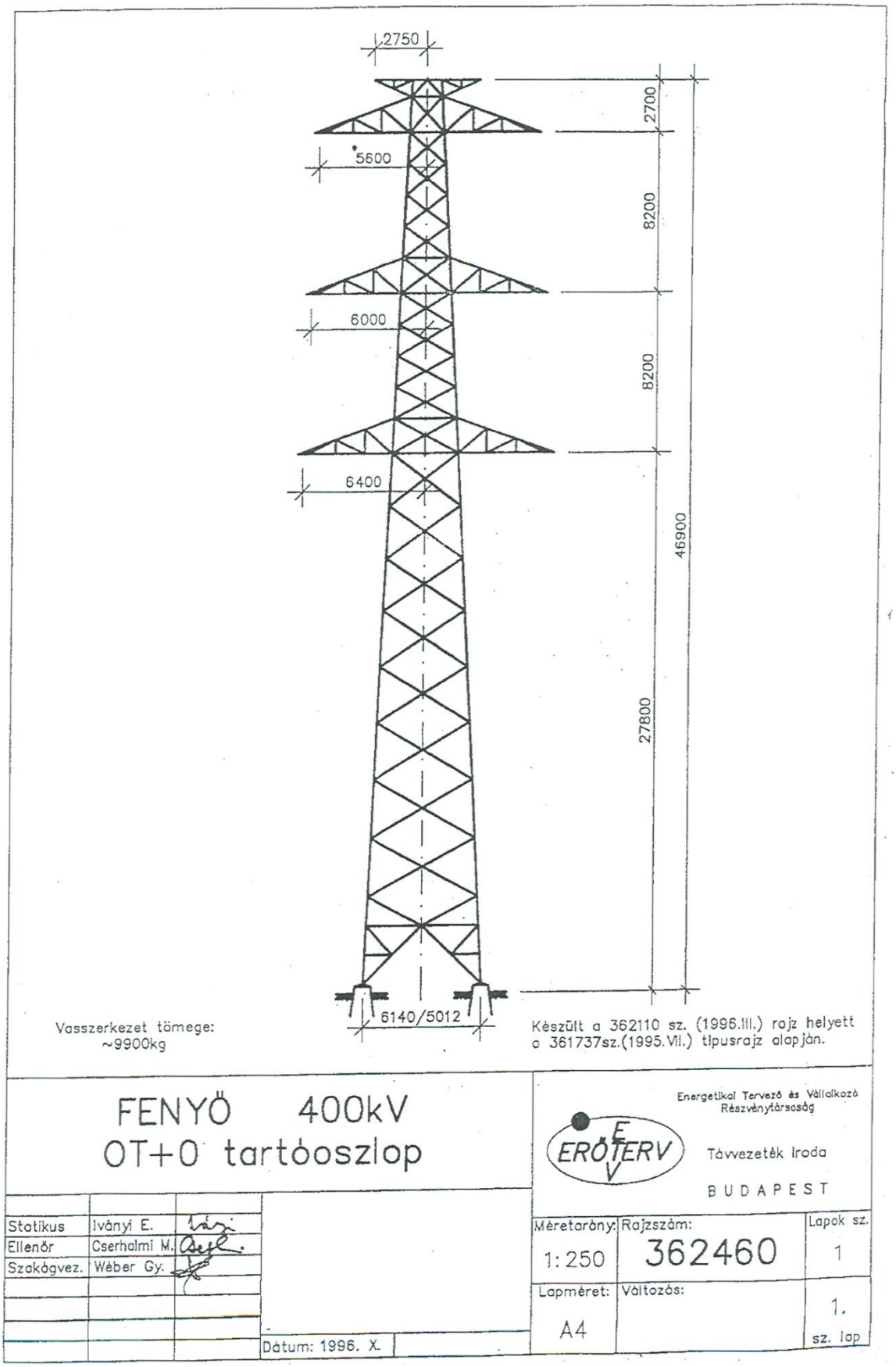
Prosječni provjes faznih vodiča: 8.96 m.

Prosječni provjes zaštitnog užeta: 5.926 m.

Specifični otpor dubokih slojeva zemlje: 50 Ωm.



Slika 5.9. 400 kV nadzemni vod na području Petlovca, [12].



Slika 5.10. Skica 400-kV trofaznog dalekovoda tipa “trapez“ (stup OT-O).

Potrebni podatci za proračun u Matlabu su sljedeći:

$$a_s = 0.40 \text{ m}$$
$$S_{ACSR} = 500/65 \text{ mm}^2$$
$$d = 31.05 \text{ mm} \Rightarrow r = \frac{31.05}{2} = 15.53 \text{ mm}$$

$$h_1 = 34.7756 \text{ m}$$
$$h_2 = 26.5756 \text{ m}$$
$$h_3 = 18.3756 \text{ m}$$
$$h_{sr} = \sqrt[3]{h_1 \cdot h_2 \cdot h_3}$$
$$h_{sr} = \sqrt[3]{34.7756 \cdot 26.5756 \cdot 18.3756} = 25.70 \text{ m}$$

$$D_{12} = \sqrt{(34.7756 - 26.5756)^2 + 0.4^2} = 8.21 \text{ m}$$
$$D_{23} = \sqrt{(26.5756 - 18.5637)^2 + 0.4^2} = 8.21 \text{ m}$$
$$D_{13} = \sqrt{(34.7756 - 18.3756)^2 + 0.8^2} = 16.42 \text{ m}$$
$$MSGU = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{13}}$$
$$MSGU = \sqrt[3]{8.21 \cdot 16.42 \cdot 8.21} = 10.34 \text{ m}$$

$$n = 2$$
$$SGR = \sqrt{r \cdot a_s}$$
$$SGR = \sqrt{0.01553 \cdot 0.40} = 0.0788 \text{ m}$$

$$D_{12'} = \sqrt{(34.7756 + 26.5756)^2 + 0.4^2} = 61.35 \text{ m}$$
$$D_{13'} = \sqrt{(34.7756 + 18.3756)^2 + 0.8^2} = 53.16 \text{ m}$$
$$D_{23'} = \sqrt{(26.5756 + 18.3756)^2 + 0.4^2} = 44.95 \text{ m}$$
$$X_{sr} = \sqrt[3]{D_{12'} \cdot D_{13'} \cdot D_{23'}}$$
$$X_{sr} = \sqrt[3]{61.35 \cdot 53.16 \cdot 44.95} = 52.73 \text{ m}$$

Primjenom *gmd2lc* skripte (u prilogu) u Matlabu dobivaju se sljedeći rezultati:

>> Induktivitet

Unesi udaljenost između vodiča 1 i 2 (u metrima): 8.21

Unesi udaljenost između vodiča 2 i 3 (u metrima): 16.42

Unesi udaljenost između vodiča 1 i 3 (u metrima): 8.21

Međusobna srednja geometrijska udaljenost između vodiča je: 10.34

Unesi udaljenost vodiča 1 prema zemlji (u metrima): 34.7756

Unesi udaljenost vodiča 2 prema zemlji (u metrima): 26.5756

Unesi udaljenost vodiča 3 prema zemlji (u metrima): 18.3756

Srednja geometrijska udaljenost vodiča prema zemlji je: 25.70

Unesi udaljenost između vodiča 1 i vodiča 2 dobivenog zrcaljenjem (u metrima): 61.35

Unesi udaljenost između vodiča 1 i vodiča 3 dobivenog zrcaljenjem (u metrima): 53.16

Unesi udaljenost između vodiča 2 i vodiča 3 dobivenog zrcaljenjem (u metrima): 44.95

Srednja geometrijska udaljenost vodiča prema zrcaljenim likovima je: 52.73

Unesi broj vodiča u snopu: 2

Unesi polumjer jednog vodiča (u metrima): 0.01553

Unesi razmak između vodiča (u metrima): 0.4

Srednji geomtrijski radijus je: 0.0788

Induktivitet nadzemnog voda iznosi:

L= 0.8130 mH/km

6. ZAKLJUČAK

U okviru ovoga završnoga rada iznesena je tematika o nadzemnim vodovima, točnije proračun jediničnog induktiviteta nadzemnog voda. Obrađen je pojam induktiviteta kao karakteristične veličine nadzemnog voda s naznakom jednoga ili više vodiča. Također, prikazan je proračun jediničnog induktiviteta voda u slučajevima simetričnoga i asimetričnoga razmaka te prepleta vodiča i vodiča u snopu. Fokus rada bio je na primjeni proračuna jediničnog induktiviteta nadzemnog voda u proračunskom paketu Matlab čime je prethodno definirana teorijska podloga potvrđena te prikazana sama funkcionalnost programskog računanja. Prikazani su primjeri ručnih rješavanja zadataka za različite naponske razine nakon čega i programski načini putem implementirane skripte u Matlabu. Može se zaključiti kako jedinični induktivitet mijenja svoj iznos ovisno o broju vodiča u snopu te naponskoj razini. Drugim riječima, što je naposka razina veća to je jedinični induktivitet manji. Dakako, zaključak je da jedinični induktivitet ne opada značajno, po iznosu, u odnosu 220 kV i 400 kV nadzemnih vodova.

LITERATURA

[1] Šaina, G.: Nadomjesni modeli vodova, Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, Rijeka 2015.

[2] Uzelac, M.: Kompaktirani visokonaponski prijenosni vodovi, Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, Rijeka 2011.

[3] Pavić, I.: Vođenje elektroenergetske mreže, Sveučilište u Zagrebu, FER, 2011.

[4] Saadat, H.: Power System Analysis. WCB McGraw-Hill, New York, 1999.

[5] Goić, R., Jakus, D., Penović, I.: Distribucija električne energije. Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split, Split, 2008.

[6] Majstorović, M.: Prijenos i distribucija električne energije. Tehnički fakultet sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2009. Dostupno na: http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zee/nastava/svel/pee/download/Konstrukcijski_1_Konstante_Upute.pdf, (5.6.2016.)

[7] Uglešić, I.: Prijelazne pojave ielektromagnetska kompatibilnost u EES-u. Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2006.

[8] Toš, Z.: Telekomunikacijski vodovi. Fakultet prometnih znanosti Zagreb, Zagreb, 2003. Dostupno na: http://www.fpz.unizg.hr/ztos/PRSUS/Telvodovi.pdf, (5.6.2016.)

[9] Saadat, H.: Solutions Manual. McGraw-Hill, Inc. Milwaukee School of Engineering, Milwaukee, Wisconsin, 2003.

[10] Jozsa, L.: Parametri nadzemnih vodova, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek, 2006.

[11] Petković, T.: Kratke upute za korištenje Matlaba, FER Zagreb, Zagreb, 2005.

[12] Fotografirao autor.

[13] Bijelić, D.: Proračun jediničnog kapaciteta dalekovoda pomoću računala. Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Osijek, 2016.

[14] Hrvatski operator prijenosnog sustava. http://www.hops.hr/wps/wcm/connect/67fef4a6-7631-4489-a2d3-fdcfc3542a30/EES+11+2015+A3+HR.pdf?MOD=AJPERES, (14.9.2016.)

SAŽETAK

Završni rad pod nazivom „PRORAČUN JEDINIČNOG INDUKTIVITETA DALEKOVODA POMOĆU RAČUNALA“ pokazuje detaljan prikaz proračuna induktiviteta dalekovoda, odnosno nadzemnog voda te konkretan način izračuna u programskom paket Matlab. U radu se oslanja na teorijske postavke jediničnih karakterističnih veličina kod proračuna dalekovoda, a jedna od osnovnih karakterističnih veličina dalekovoda je induktivitet. Rješenje je prikazano proračunom u Matlabu, a također, prikazuju se i zadatci vezani za proračun induktiviteta dalekovoda u različitim slučajevima prijenosnih vodiča.

Ključne riječi: Induktivitet, vodič, proračun, nadzemni vodovi, dalekovod

SUMMARY

CALCULATION OF UNIT INDUCTANCE TRANSMISSION LINES BY COMPUTER

The final paper entitled „CALCULATION OF UNIT INDUCTANCE TRANSMISSION LINES BY COMPUTER“ shows a detailed overview of the calculation inductance transmission line or overhead line and a specific method of calculation in MATLAB. The paper relies on theoretical assumptions of unit constants with transmission lines, and one of the main characteristic parameters of transmission lines is inductance. The solution is shown with calculations in Matlab, but also the tasks related to calculation of inductance transmission line in different cases of portable guide are displayed.

Keywords: Inductance, conductor, calculation, surface conductors, transmission line.

PRILOG

Matlab kod:

```
%Izračun induktiviteta nadzemnog voda sa utjecajem zemlje
%Ulazni podaci
%function [MSGU]=f1(D12, D23, D13)
%Izračun MSGU
%Unesi međusobne udaljenosti vodiča
D12=input('Unesi udaljenost između vodiča 1 i 2 (u metrima):  ');
D23=input('Unesi udaljenost između vodiča 2 i 3 (u metrima):  ');
D13=input('Unesi udaljenost između vodiča 1 i 3 (u metrima):  ');
MSGU=(D12*D23*D13)^(1/3);
fprintf('Međusobna srednja geometrijska udaljenost između vodiča je: \n %5.2f',MSGU);
%Izračun srednje geometrijske udaljenosti prema zemlji
%Unesi međusobne udaljenosti vodiča prema zemlji
input('\n');
h1=input('Unesi udaljenost vodiča 1 prema zemlji (u metrima):  ');
h2=input('Unesi udaljenost vodiča 2 prema zemlji (u metrima):  ');
h3=input('Unesi udaljenost vodiča 3 prema zemlji (u metrima):  ');
hSR=(h1*h2*h3)^(1/3);
fprintf('Srednja geometrijska udaljenost vodiča prema zemlji je: \n%5.2f',hSR);
%Izračun srednje geometrijske udaljenosti između faznih vodiča i likova dobivenih metodom
zrcaljenja
%Unesi međusobne udaljenosti faznih vodiča i likova
input('\n');
D122=input('Unesi udaljenost između vodiča 1 i vodiča 2 dobivenog zrcaljenjem (u metrima): ');
D133=input('Unesi udaljenost između vodiča 1 i vodiča 3 dobivenog zrcaljenjem (u metrima): ');
D233=input('Unesi udaljenost između vodiča 2 i vodiča 3 dobivenog zrcaljenjem (u metrima): ');
Xsr=(D122*D133*D233)^(1/3);
fprintf('Srednja geometrijska udaljenost vodiča prema zrcaljenim likovima je: \n%5.2f',Xsr);
%Izračun srednjeg geometrijskog radijusa vodiča
input('\n');
n=input('Unesi broj vodiča u snopu:  ');
input('\n');
r=input('Unesi polumjer jednog vodiča (u metrima):  ');
if n==1
   SGR=r;
else
input('\n');
as=input('Unesite razmak u metrima između vodiča:  ');
   SGR=sqrt(r*as);
end
```

```
fprintf('Srednji geomtrijski radijus je: \n%6.4f',SGR);
X=Xsr*SGR;
B=MSGU*2*hSR;
A= B/X;
Z=log(A);
L=0.0556/Z;
input('\n');
fprintf('Induktivitet nadzmenog voda iznosi: \nL=%7.4H milimetara/km',L);
pause
return
```

ŽIVOTOPIS

Vedran Jesenović rođen je 3. listopada 1994. godine u Osijeku. Osnovnu školu pohađao je u Osnovnoj školi Čeminac te je završio svih osam razreda s odličnim uspjehom. Nakon završene osnovne škole upisuje se u Prvu srednju školu Beli Manastir, smjer elektrotehničar. Poslije završene srednje škole upisuje Elektrotehnički fakultet u Osijeku, sadašnji Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija. Posjeduje osnovna znanja u engleskom jeziku kao i informatičku pismenost. U slobodno vrijeme bavi se nogometom.

