*Fakultet elektrotehnike i računarstva*

*Zavod za visoki napon i energetiku*

Prijenos i razdjela električne energije

**Rješenja prve domaće zadaće**

Student: **alkohola\_kralj**

JMBAG: **0036alkohol**

1. **Podaci**

Zadan je trofazni vod s podatcima:  
  
  
      FREKVENCIJA.....................50  Hz  
      MATERIJAL VODIČA................alučel  
      PRESJEK VODIČA..................360/57   mm2  
      BROJ VODIČA U SNOPU.............2  
      RAZMAK VODIČA U SNOPU...........420.0  mm  
      NAJVEĆI PROVJES VODIČA..........25.0  m  
      BROJ TROJKI.....................1  
      IZOLATORSKI LANAC...............21\*K170/280  
      MATERIJAL ZAŠTITNIH UŽETA.......čelik  
      PRESJEK ZASTITNIH UŽETA.........120  mm2  
      BROJ ZAŠTITNIH UŽETA............2  
      NAJVECI PROVJES ZAŠT. UŽETA.....15.0  m  
      VRSTA TLA.......................Suhi krupni šljunak  
  
      KOORDINATE OVJESIŠTA IZOLATORSKIH LANACA  (X,Y  m) :  
      (0.0,33.00)      (14.00,33.00)      (-14.00,33.00)  
  
      KOORDINATE PRIČVRŠĆENJA ZAŠTITNIH UŽETA  (X,Y  m) :  
      (9.00,37.00)      (-9.00,37.00)

1. **Podaci za vodič**

* Vanjski radijus: r1= 13.30 mm (PRILOG I – TABLICA 1.)
* Stvarni presjek vodiča (bez jezgre): Aal=360.215 mm2  (PRILOG I – TABLICA 1.)
* Radijus čelične jezgre (računamo ga iz broja čeličnih žica i njihovog promjera, poznavajući pravilo da se u svakom slijedećem sloju homogenog užeta broj žica poveća za 6, a zatim u drugom sloju za 12 ): r2=4.90 mm

1. **Podaci za zaštitno uže**

* Vanjski radijus: rg=7.0 mm (PRILOG I – TABLICA 2.)
* Broj žica: 19 (PRILOG I – TABLICA 2.)
* Stvarni presjek vodiča: Ače=116.993 mm2 (PRILOG I – TABLICA 2.)

1. **Otpor**

* Otpor voda kod istosmjerne struje: R0= 0,0802 Ω/km
* Otpor zaštitnoga užeta: Rg=1,2137 Ω/km
* Djelatni otpor kod izmjenične struje:

Ω/km

Budući da je ovo djelatni otpor za jedan vodič, ako se faza trojke sastoji od više vodiča u snopu, onda računamo djelatni otpor po fazi za čitav vod dijeljenjem otpora sa brojem vodiča u snopu.

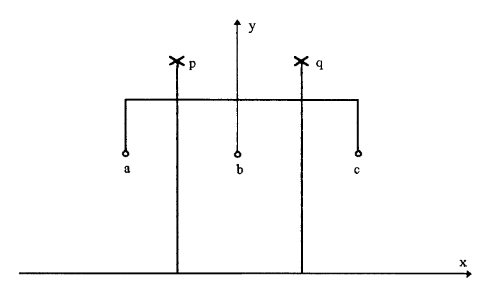
Ω/km

1. **Raspored vodiča**

* **Izgled**

Pomoću dobivenih koordinata ovjesišta izolatorskih lanaca i koordinata zaštitnih užeta, možemo napraviti skicu rasporeda vodiča, odnosno „glave“ stupa. Na osnovu slika u Prilogu IV možemo odrediti tip zadanog stupa. U ovom slučaju radi se o jednostrukom vodu tipa „portal“ s dva dozemna užeta.

*Slika 1. Raspored vodiča*



* **Proračun**

Prosječne visine vodiča jedne trojke iznad tla računamo prema slijedećoj formuli:

h = H – 0,7\*fmax

Ne smije zanemariti niti duljinu izolatora i nosača vodova. U zadatku je zadano broj članaka i tip izolatora : 21\*K170/280

U ovom slučaju ćemo koristiti ovjesne kapaste izolatore. Duljinu izolatora ćemo izračunati znajući dimenzije jednog članka. Za ovjesni kapasti izolator tipa visina jednog članka iznosi 0,17 m.

Na taj način izračunavamo prosječne visine vodiča jedne trojke iznad tla :

ha = ya – (0,7\*fmax + 21\*0,17 + 0,3) = 11,63 m

hb= yb – (0,7\*fmax + 21\*0,17 + 0,3) = 11,63 m

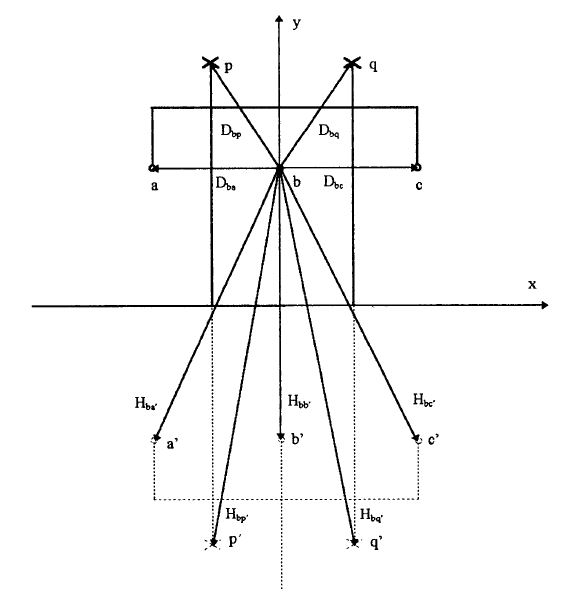
hc = yc – (0,7\*fmax + 21\*0,17 + 0,3) = 11,63 m

hp= yp – (0,7\*fgmax + 0,3) =26,2 m

hq= yq – (0,7\*fgmax + 0,3) =26,2 m

Na osnovu podataka rasporeda i prosječnih visina vodiča odredit ćemo koordinate zrcalnih slika vodiča i zaštitnih užeta u zemlji:

*Slika 2. Međusobne udaljenosti vodiča i zaštitnih vodiča u proračunu induktiviteta i kapaciteta*



*Tablica 1. Određivanje koordinata zrcalnih slika vodiča jedne trojke*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Vodič** | **X-koordinata [m]** | **Y-koordinata [m]** |
| Faza A | -14.00 | 11.63 |
| Faza B | 0.00 | 11.63 |
| Faza C | 14.00 | 11.63 |
| Faza A' | -14.00 | -11.63 |
| Faza B' | 0.00 | -11.63 |
| Faza C' | 14.00 | -11.63 |

*Tablica 2. Određivanje koordinata zrcalnih slika zaštitnog užeta*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Zaštitno uže** | **X-koordinata [m]** | **Y-koordinata [m]** |
| Faza P | -9.00 | 26.20 |
| Faza Q | 9.00 | 26.20 |
| Faza P' | -9.00 | -26.20 |
| Faza Q' | 9.00 | -26.20 |

***Faza A***

***Faza B***

***Faza C***

***Faza P***

***Faza Q***

1. **Induktivitet**

* **Matrica združenih vjerojatnosti**

Otpor predstavlja otpor vodiča uvećan za otpor zemlje : .

Otpor predstavlja unutrašnju reaktanciju vodiča uvećanu za vanjsku reaktanciju petlje vodič – zemlja:

(kvadrat ekvivalentne visine po Carsonu)

(vlastita SGU vodiča pri čemu je konstantno ovisna o broju žica vodiča)

[] - djelatni otpor vodiča pri 20 °C

Za magnetske materijale iz kojih se izvode vodiči i zaštitna užad µ= 4π∙ – magnetska permeabilnost vakuuma.

Ako to uzmemo u obzir, kao i vrijednost za frekvenciju , vrijedi ( - specifični otpor vodiča)

Time i izraz za vlastitu impedanciju vodiča s utjecajem zemlje prelazi u oblik

Izraz za vlastitu impedanciju jednog zaštitnog užeta s utjecajem zemlje prelazi u oblik:

- vlastita SGU zaštitnog užeta [m]

- djelatni otpor zaštitnog užeta pri 20°C []

Međusobna impedancija dviju petlji vodič-zemlja:

- udaljenost između vodiča odnosno zaštitnog užeta „i“ i vodiča odnosno zaštitnog užeta „j“ (vodič i zaštitno uže su ravnopravno tretirani) [m]

* **Metoda SGU**

U proračunu induktiviteta okruglog homogenog vodiča vlastita SGU vodiča je funkcija radijusa vodiča i permeabiliteta vodiča. Za relativni permeabilitet vodiča izlazi da je vlastita SGU vodiča :

Veličinu nazivamo reducirani radijus. Uz istu struju I formirat će se u slučaju punog homogenog vodiča radijusa isti obuhvatni tok, kao u slučaju šupljeg vodiča beskonačno tanke stijenke, ali radijusa . Izračunamo vlastitu SGU samo jednog vodiča prema izrazu: ,

gdje je vanjski radijus vodiča, a faktor ćemo izvaditi iz (Prilog II – tablica 1). Za homogene vodiče dan je taj faktor u ovisnosti o broju žica u vodiču, pa imamo u ovom slučaju za zaštitno uže:

Broj žica : 19 =>

i na kraju za vlastitu SGU jednog vodiča zaštitnog užeta (reducirani radijus) dobivamo :

Za vodiče od alučela se računa dovoljno točno ako se koristimo grafom za određivanje vlastite SGU za šuplje vodiče u obliku cijevi, a prikazan je u obliku (Prilog 2 – tablica 2). Graf predstavlja funkciju , dakle vrijedi posve općenito ( i su vanjski i unutarnji radijus šuplje cijevi). Alučel se može prikazivati kao šuplja cijev uz pretpostavku da sva struje teče aluminijskim plaštom. Unutarnji radijus cijevi odgovara radijusu čelične jezgre : vanjski radijus i unutarnji radijus =>

(PRILOG II – TABLICA 2) => 10.942 mm

* **Redukcija vodiča u snopu**

Potrebo je izračunati vlastitu SGU vodiča. Vodiče snopa razmještene na međusobnoj udaljenosti možemo zamjeniti jednim vodičem. Reducirana vlastita SGU za tipične snopove dana je u (Prilog III).

U ovom slučaju imamo dva vodiča u snopu pa se vlastiti SGU vodiča (reducirani radijus snopa vodiča) računa po izrazu :

Podaci koji će nam trebati prilikom računanja su: ( je prosječni specifični otpor tla, u ovoj zadaći konkretno suhi krupni šljunak, te iz Priloga III. očitamo vrijednost):

* **Simetrične komponente**

Matrica simetričnih komponenata izlazi iz matrice ekvivalentnih faznih vodiča primjenom linearnih transformacija. Matrica ekvivalentnih faznih vodiča je simetrična. Kod prepletenog voda treba matricu ekvivalentnih faznih vodiča simetrirat. Matrica se simetrira na taj način da se uzme sretnja vrijednost vandijagonalnih elemenata (podijeljene u skupine, sve zavisi koliko ima zaštitnih užadi), umjesto da se računa posebna matrica za svaku dionicu preplitanja, isto tako se računa aritmetička sredina dijagonalnih elemenata.

Budući da možemo uzeti matricu impedancija ekvivalentnih faznih vodiča, koja je simetrična, dobivamo da je:

Dobivanje aritmetičke sredine za vlastite i međusobne impedancije:

Matrica ekvivalentnih faznih vodiča za prepletni vod glasi:

Matrice transformacije za jednostruke vodove:

Pri čemu je:

Matricu transformiramo u simetrične komponente:

gdje je:

- nulta impedacija

- pogonska (direktna) impedacija

Za nultu impedanciju jedne faze dobivamo slijedeći izraz (za po vodiču množimo sa brojem vodiča u snopu):

/*km*

/*km*

Direktna i inverzna impedancija:

1. **Kapacitet**

* **Simetrične komponente**

Matrica napona i naboja vodiča može se izraziti jednadžom koja definira matricu potencijalnih koeficijenata :

[V]= [P]∙[Q]

[V] - vektor napona na vodičima  
[P] - matrica potencijalnih koeficjenata  
[Q] - vektor naboja na vodičima

Dijagonalni članovi matrice potencijalnih koeficijenata za vodiče određuju se iz izraza :

Za zaštitno uže vrijedi formula:

Izvandijagonalni članovi matrice potencijalnih koeficjenata oređujemo prema formuli:

- udaljenost vodiča ili zaštitnog užeta od svoje slike koja se zrcali [m]

- udaljenost vodiča ( zaštitnog užeta) „i“ („j“)od zrcalne slike vodiča [m]

Tvorba matrice potencijalnih koeficijenata podliježe svim pravilima kao i matrice impendancija. Kod određivanja vlastite SGU vodiča za proračun kapaciteta (reducirani radijus snopa) računamo na isti način kao kod induktiviteta, samo što umjesto vlastite SGU vodiča „ “ uzmemo u proračun vanjski radijus vodiča . Na taj način izračunamo vlastitu SGU vodiča:

Komponente matrice :

Matrica kapacitivnih susceptancija :

Matricu simetričnih komponenata za sustav ekvivalentnih faznih susceptancija vodiča dobivamo na isti način kao i matricu simetričnih komponenata za sustav ekvivalentnih faznih impedancija :

Matrica ekvivalentnih faznih susceptancija prepletenog voda :

Za nulti kapacitet po vodiču dobivamo :

Direknti i inverzni kapacitet po fazi dobivamo :

1. **Najveća struja jedne faze u normalnom pogonu**

Najveća struja zbog jednog vodiča ograničena je sa granično temperaturom zagrijavanja u normalnom pogonu :

()

( )

Aal=360.215 mm2

r1= 13.30 mm

Najveća struja jedne faze :

1. **Nazivni napon voda**

Nazivni napon voda se očita iz broja članaka izolatorskog lanca :

1. **Najveća snaga u normalnom pogonu**
2. **Jakost električnog polja na površini vodiča**

Korona nastaje kada jakost električnog polja na površini vodiča prekorači električnu čvrstoću zraka. Jakost električnog polja kontroliramo na površini vodiča jer je tamo jakost polja najveća. Za trofazni vod sa više vodiča u snopu, izraz za maksimalnu vrijednost polja je :

1. **Kritični napon**

Kritični napon je onaj pogonski napon kod kojega jakost električnog polja na površini vodiča taman dosegne vrijednost električne čvrstoće. Pogonski napon je manji od kritičnog te neće doći do pojave korone. Ako je pogonski napon veći od kritičnog dolazi do pojave korone.

Izraz za kritični napon je izveden uz pretpostavku da je jakost električnog polja na površini vodiča jednaka električnoj čvrstoći zraka koja u normalnim prilikama iznosi . Dobivamo linijski napon iz jednadžbe:

1. **Rješenja**

|  |  |
| --- | --- |
| Imax [A] | **1419.488** |
| Un [kV] | **400** |
| Smax [MVA] | **983.450** |
| E [kV/cm] | **19.680** |
| Ukritično [kV] | **508.443** |
| R1 po fazi [Ω/km] | **0.0414** |
| X1 po fazi [Ω/km] | **0.3494** |
| B1 po fazi [S/km] |  |
| L1 po fazi [H/km] | **0.00111217** |
| C1 po fazi [F/km] |  |
| R0 po vodiču [Ω/km] | **0.7578** |
| X0 po vodiču [Ω/km] | **2.0038** |
| B0 po vodiču [S/km] | **5.4814∙** |
| L0 po vodiču [H/km] | **0.0063783** |
| C0 po vodiču [F/km] |  |