

Dr. TOMISLAV MLINARIĆ
Dr. MARIJANA GJUMBIR
Fakultet prometnih znanosti
Zagreb

Sigurnost prometa
Prethodno priopćenje
UDK: 656.2.012.8:681.5
Primljeno: 28.09.1989.
Prihvaćeno: 12.12.1989.

KORELACIJE DULJINE IZOLIRANOG ODSJEKA I FREKVENCije NAPONA NAPAJANJA

SAŽETAK

Na osnovi teorije izoliranih odsjeka i matematičkog modela homogenih izoliranih odsjeka predložena je prikladna metoda za izračunavanje parametara, u ovom slučaju duljine izoliranog odsjeka, koji se iz odgovarajućega matematičkog modela ne mogu predstaviti u eksplicitnom obliku. Kod kompleksnijih funkcija izračunavanje takvih vrijednosti predstavlja vrlo mukotrpan i dug proces. Značenje ovog rada upravo je u tome što prezentira jednu od najpogodnijih metoda za rješavanje ovog i njemu sličnih problema.

1. UVOD

Jedan od triju sigurnosno najbitnijih vanjskih elemenata suvremenih željezničkih signalnosigurnosnih uređaja jesu tzv. izolirani odsjeci. Oni su u biti točno definirani dijelovi kolosijeka ili kolosiječnoga skretničkog sklopa, koji zajedno s odgovarajućim relejnim dijelom i uređajem za napajanje predstavljaju kolosiječni strujni krug.

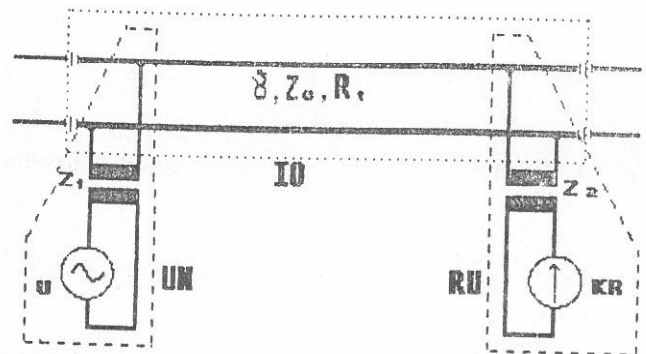
Primarni zadatak kolosiječnoga strujnog kruga je u tome da permanentno kontrolira odgovarajući kolosiječni odsjek i pouzdano javlja njegovu slobodnost odnosno zauzetost. Pouzdano i sigurno funkcioniranje kolosiječnoga strujnog kruga ovisi o razini pouzdanosti svih njegovih sastavnih dijelova.

Osnovna su tri dijela (sl. 1) toga kruga:

- izolirani odsjek (IO),
- uređaj za napajanje (UN) i
- relejni uređaj (RU).

Uređaji za napajanje (UN) i relejni uređaji (RU) dijelovi su kolosiječnoga strujnog kruga, koji se mogu konstruktivno načiniti i prilagoditi potrebama i uvjetima funkcionalnih zahtjeva. Međutim kod izoliranog odsjeka (IO) to je sasvim nešto drugo. Naime, izolirani odsjek je dio kolosijeka ili skretnički sklop ugrađen na području željezničke stanice ili u međustaničnom području, izgrađen po točno definiranoj tehnologiji i od točno određenog materijala, kao što je tucanik, pijesak, čelične tračnice, te drveni ili betonski pragovi.

Iz toga proistječe da odgovarajuće električne parametre izoliranog odsjeka diktira materijal geometrijske veličine, kao i vremenski meteorološki uvjeti te uvjeti tla. Upravo stoga pri proučavanju kolosiječnih strujnih krugova posebnu pažnju i poseban tretman zaslužuje



Slika 1.

izolirani odsjek (IO), za koji je potrebno utvrditi što egzaktniji matematički model s pomoću kojega je moguće analizirati kompleksno ponašanje kolosiječnih strujnih krugova i pronalaziti rješenja najbliža optimumu za sigurnost i pouzdanost funkcioniranja željezničkoga prometnog sustava.

2. IZOLIRANI ODSJEK

Prema izvedbi kolosiječnoga strujnog kruga, shematski prikazanog na slici 1, vidljivo je da izolirani odsjek (IO) predstavlja odgovarajući prijenosni vod, sastavljen od tračnica kao vodiča te pragova i zastora kao dielektrika, preko kojega se električna energija prenosi od mjesta napajanja (UN) do mjesta relejnog uređaja (RU) na drugoj strani izoliranog odsjeka. Ova usporedba izoliranog odsjeka s električnim prijenosnim vodom bila bi vrlo jednostavna kad tračnice koje predstavljaju vodiče ne bi bile u izravnom dodiru s pragovima i pružnim zastorom, što uzrokuje velike gubitke zbog vrlo niskog izolacijskog otpora među tračnicama. Prema tome problem je vrlo sličan dvožilnom vodu s vrlo niskom međusobnom izolacijom.

Svi električni parametri izoliranog odsjeka su linearni, što znači da se u strujnom krugu pokoravaju Ohmovom zakonu i neovisni su o struji i frekvenciji. Osnovni električni parametri izoliranog odsjeka jesu:

- otpor tračnica (R_t),
- induktivitet tračnica (L_t),
- vodljivost između tračnica, odnosno zastora (G_z) i
- međutračnički kapacitet (C_t).

Zbog razmjerno velikog razmaka među tračnicama i njihove relativno male površine među-

tračnički kapacitet je zanemarljiv i nije ga potrebno pri analizi uzimati u obzir, tako da u matematičkoj analizi izoliranog odsjeka moramo operirati samo s prva tri parametra, koje zbog naravi problematike preračunavamo na jedinicu duljine. Tako dobivamo sljedeće veličine:

- $R'_t = R_t / l$ (Ω/km), otpor tračnica na dužinski kilometar,
- $L'_t = L_t / l$ (mH/km), induktivitet tračnica na dužinski kilometar,
- $G'_t = G_t / l$ (S/km), vodljivost zastora na dužinski kilometar.

Posljednji od tih parametara, odnosno vodljivost zastora, može se predstaviti i kao otpor, naime:

$$G'_t = G_t / l \quad (1)$$

gdje G_t možemo prikazati izrazom $G_t = 1/\rho_t$, odnosno $G'_t = 1/\rho'_t$. Simbolom ρ označen je otpor zastora, a s ρ'_t otpor jednoga kilometra zastora. Uvrštenjem toga u izraz (1) dobiva se:

$$\rho'_t = \rho_t l \text{ (}\Omega \text{ km)}$$

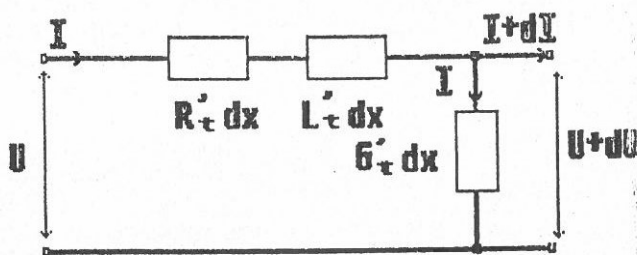
3. MATEMATIČKA ANALIZA IZOLIRANOG ODSJEKA

Da bi se mogla provesti egzaktna matematička analiza izoliranog odsjeka, potrebno je u prvom redu pretpostaviti da je izolirani odsjek električni homogen vod, odnosno da nema naglih skokova u vrijednosti električnih parametara promatranog izoliranog odsjeka.

Razmatranje polazi od matematičke analize infinitezimalne duljine izoliranog odsjeka dx , prikazane na slici 2. Na slici 2. predložene su infinitezimalne vrijednosti odgovarajućih parametara, kao i odgovarajućih napona i struja. Za napone i struju na lijevim stezaljkama promatranog infinitezimalnog odsjeka izoliranog odsjeka imamo sljedeće izraze:

$$U = I (R'_t + j \omega L'_t) dx + (U + dU) \quad (2)$$

$$I = I + dI + (U + dU) G'_t dx \quad (3)$$



Slika 2.

Sređivanjem tih dviju jednadžbi i uz poznatu činjenicu da se umnožak beskonačno mali veličina može zanemariti, dobivaju se sljedeće diferencijalne jednadžbe:

$$\frac{dU}{dx} = - (R'_t + j \omega L'_t) I \quad (4)$$

$$\frac{dI}{dx} = - G'_t U \quad (5)$$

Iz tih dviju jednadžbi moguće je eliminirati struju deriviranjem (4) po x i u dobiveni izraz uvrštavanjem izraza (5). Tako dobivamo sljedeću diferencijalnu jednadžbu:

$$\frac{d^2 U}{dx^2} = G'_t (R'_t + j \omega L'_t) U \quad (6)$$

To je homogena linearna diferencijalna jednadžba drugog reda, s konstantnim koeficijentima, oblika:

$$\frac{d^2 U}{dx^2} - \gamma^2 U = 0 \quad (7)$$

gdje je:

$$\gamma = \pm \sqrt{G'_t (R'_t + j \omega L'_t)} \quad (8)$$

Veličina γ predstavlja "karakterističnu konstantu izoliranog odsjeka". Opće rješenje diferencijalne jednadžbe (7) je:

$$U(x) = A_1 e^{-\gamma x} + A_2 e^{\gamma x} \quad (9)$$

Analogno se može dobiti i vrijednost za struju, koristeći jednadžbu (4) i izraz (9):

$$\begin{aligned} I &= - \frac{1}{R'_t + j \omega L'_t} \frac{dU}{dx} = \\ &= \frac{\gamma}{R'_t + j \omega L'_t} (A_1 e^{-\gamma x} - A_2 e^{\gamma x}) \end{aligned}$$

ili

$$I(x) = \frac{1}{Z_0} (A_1 e^{-\gamma x} - A_2 e^{\gamma x}) \quad (10)$$

ako se označi s

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R'_t + j \omega L'_t}{G'_t}} \quad (11)$$

Pritom je Z_0 "karakteristična impedancija izoliranog odsjeka".

Nepoznate (kompleksne) konstante A_1 i A_2 mogu se odrediti iz rubnih uvjeta. Uvodeći oznake:

$$\text{za } x = 0 : I = I_1, U = U_1$$

$$\text{za } x = l : I = I_2, U = U_2$$

iz relacija (9) i (10) dobiva se:

$$U_1 = A_1 + A_2$$

$$I_1 = \frac{1}{Z_0} (A_1 - A_2)$$

odnosno

$$U_2 = A_1 e^{-\gamma l} + A_2 e^{\gamma l}$$

$$I_2 = \frac{1}{Z_0} (A_1 e^{-\gamma l} - A_2 e^{\gamma l})$$

Iz posljednjih dviju jednadžbi moguće je odrediti A_1 i A_2 :

$$A_1 = \frac{U_2 + Z_0 I_2}{2} e^{-\gamma l}$$

$$A_2 = \frac{U_2 - Z_0 I_2}{2} e^{-\gamma l}$$

pa se nakon supstitucije u prve dvije relacije i sređivanja one mogu pisati u obliku:

$$U_1 = U_2 \frac{e^{\gamma l} + e^{-\gamma l}}{2} + Z_0 I_2 \frac{e^{\gamma l} - e^{-\gamma l}}{2}$$

$$I_1 = \frac{U_2}{Z_0} \frac{e^{\gamma l} - e^{-\gamma l}}{2} + I_2 \frac{e^{\gamma l} + e^{-\gamma l}}{2}$$

ili

$$U_1 = U_2 \operatorname{ch} \gamma l + I_2 Z_0 \operatorname{sh} \gamma l \quad (12)$$

$$I_1 = \frac{U_2}{Z_0} \operatorname{sh} \gamma l + I_2 \operatorname{ch} \gamma l \quad (13)$$

To su osnovne jednadžbe četveropola, a kraće bi se zapisale matricno:

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (14)$$

gdje je:

$$A = \operatorname{ch} \gamma l$$

$$B = Z_0 \operatorname{sh} \gamma l$$

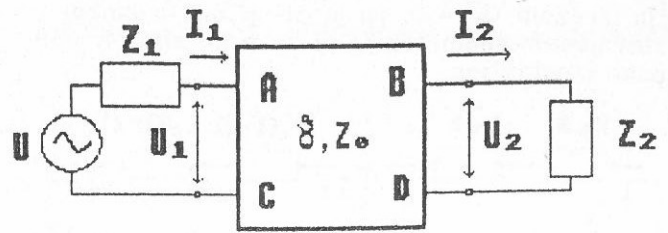
$$C = \frac{1}{Z_0} \operatorname{sh} \gamma l$$

$$D = \operatorname{ch} \gamma l \quad (15)$$

U proučavanju kolosiječnih strujnih krugova posebno je važan odnos ulaznog napona izvora - U i struje na izlazu koja teče kroz relej - I_2 . Taj se omjer naziva poprečnom impedancijom i označava sa Z_{21} .

Iz slike 3. očigledno je da je:

$$Z_{21} = \frac{U}{I_2} = \frac{U_1 + Z_1 I_1}{I_2}$$



Slika 3.

a primjenom izraza (14) može se napisati:

$$Z_{21} = \frac{AU_2 + BI_2 + Z_1(CU_2 + DI_2)}{I_2}$$

ili

$$Z_{21} = AZ_2 + B + Z_1(CZ_2 + D)$$

odnosno

$$Z_{21} = (Z_1 + Z_2) \operatorname{ch} \gamma l + \left(Z_0 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_0} \operatorname{sh} \gamma l \right) \quad (16)$$

Stoga se stvarna struja I_2 koja teče kroz kolosiječni relej može predstaviti izrazom:

$$I_2 = \frac{U}{AZ_2 + B + Z_1(CZ_2 + D)} \quad (17)$$

ili ako se u izraz (17) uvrste vrijednosti koeficijenata A, B, C i D iz izraza (15) može se pisati u sljedećem obliku:

$$I_2 = \frac{U}{(Z_1 + Z_2) \operatorname{ch} \gamma l + \left(Z_0 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_0} \operatorname{sh} \gamma l \right)} \quad (18)$$

Ova jednadžba omogućuje određivanje struje koja teče kroz kolosiječni relej pri određenom naponu U i poznatim parametrima kolosiječnoga strujnog kruga R_t', G_t', L_t', Z_1 i Z_2 , pa će se jednadžbe (16) i (18) koristiti pri razmatranju stanja zauzetosti izoliranog odsjeka kad kolosiječni relej mora pouzdano otpustiti.

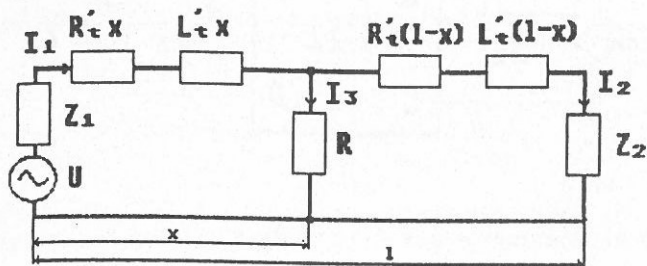
4. REŽIM KRATKOG SPOJA

Stanje zauzetosti kolosijeka uzima se kao "režim kratkog spoja", jer tada pružno vozilo svojom osovinom načini kratki spoj među tračnicama, što neizbježno mora uzrokovati otpuštanje kolosiječnog releja koji javlja zauzetost kolosijeka.

Pouzdanost i sigurno odvijanje suvremenoga željezničkoga prometnog procesa zasniva se dobrim dijelom na pouzdanom i sigurnom funkcioniranju kolosiječnoga strujnog kruga, a to znači da kolosiječni relej pri zauzetosti kolosijeka pouzdano otpušta i pri najnepovoljnijim uvjetima, a to je visoki otpor zastora ρ_t' i maksimalni napon napajanja izoliranog odsjeka.

Budući da je po definiciji $G_t' = 1/\rho_t'$, to se

pri maksimalno nepovoljnim uvjetima predstavlja izrazom $G'_t = 0$, pa je zbog toga u pojednostavljenoj shematskom prikazu na slici 4. potpuno izostavljen.



Slika 4.

Određenim oznakama na slici 4. predstavljene su odgovarajuće veličine i to:

- l - duljina izoliranog odsjeka
- x - udaljenost mjesta kratkog spoja kolosijeka od početka izoliranog odsjeka
- R - otpor kratkog spoja

Izrazi u (15) zbog $G'_t = 0$ postaju znatno jednostavniji:

$$\begin{aligned} A &= D = 1 \\ C &= 0 \\ B &= Z_o \gamma l \end{aligned}$$

te se poprečna impedancija predstavlja izrazom:

$$Z_{21}' = Z_2 + Z_o \gamma l + Z_1 \quad (19)$$

Za strujne krugove iz slike 4. vrijede sljedeće jednačbe:

$$U = (Z_1 + R'_t x + j\omega L'_t x) I_1 + R I_3$$

$$R I_3 = [R'_t (1-x) + j\omega L'_t (1-x) + Z_2] I_2$$

$$I_1 = I_2 + I_3$$

Pri izračunavanju omjera napona U i struje kroz relej I_2 prvo se eliminira struja I_1 iz prve jednačbe pa se dobiva:

$$U = (Z_1 + R'_t x + j\omega L'_t x) (I_2 + I_3) + R I_3$$

a zatim se eliminira struja I_3 te dobiva:

$$U = (Z_1 + Z_o \gamma x) \left[1 + \frac{Z_o \gamma (1-x) + Z_2}{R} \right] I_2 + [Z_o \gamma (1-x) + Z_2] I_2$$

iz čega se dijeljenjem obje strane jednačbe strujom I_2 dobiva traženi omjer:

$$\begin{aligned} Z_{21}' &= \frac{U}{I_2} = Z_1 + Z_o \gamma l + Z_2 + \\ &+ \frac{(Z_1 + Z_o \gamma x) [Z_2 + Z_o \gamma (1-x)]}{R} \end{aligned} \quad (20)$$

Izraz (20) predstavlja vrijednost poprečne impedancije u režimu kratkog spoja. Prema tome izraz (20) predstavlja poprečnu impedanciju zauzetog, a izraz (19) slobodnoga kolosijeka.

U jednačbi (20) najbitniji je otpor kratkog spoja R, koji definira gornju granicu prespojnog otpora kolosijeka, pri kojemu još kolosiječni relej pouzdano otpušta. Očita je ovisnost tog otpora kratkog spoja R o parametrima tračnica R'_t , L'_t odnosno γ i Z_o , te o ulaznim impedancijama Z_1 i Z_2 , kao i o mjestu osovinskog presjeka X i duljini izoliranog odsjeka l, a također je zbog izraza:

$$Z_o \gamma = R'_t + j\omega L'_t$$

ovisan i o frekvenciji napona napajanja.

Otpor kratkog spoja R može se iz izraza (20) prikazati kao funkcija mjesta osovinskog prespoja X u sljedećem obliku:

$$R(x) = \frac{(Z_1 + Z_o \gamma x) (Z_o \gamma l - Z_o \gamma x + Z_2)}{U/I_o - Z_1 - Z_o \gamma l - Z_2} \quad (21)$$

Ekstremna vrijednost ove funkcije određuje se iz poznatog uvjeta:

$$\frac{dR}{dX} = 0$$

pa dobivamo za apscisu ekstrema vrijednost:

$$X = \frac{1}{2} + \frac{Z_2 - Z_1}{2 Z_o \gamma} \quad (22)$$

Lako je provjeriti da u toj točki X funkcija R(x) poprima maksimalnu vrijednost.

Za otpuštanje kolosiječnog releja kritična vrijednost otpora kratkog spoja R na bližem ($X = 0$) i na daljem ($X = 1$) kraju izoliranog odsjeka bila bi:

$$\text{za } X = 0$$

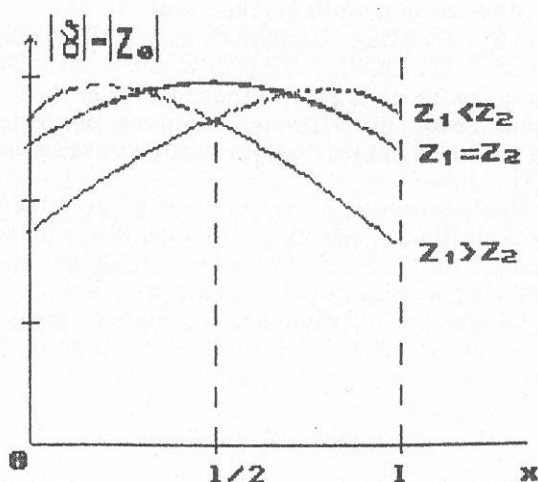
$$R(0) = \frac{Z_1 (Z_o \gamma l + Z_2)}{U/I_o - Z_1 - Z_o \gamma l - Z_2} \quad (23)$$

$$\text{a za } X = 1$$

$$R(1) = \frac{Z_2 (Z_o \gamma l + Z_1)}{U/I_o - Z_1 - Z_o \gamma l - Z_2}$$

Kritična vrijednost otpora $R(0)$ i $R(1)$ bit će jednaka onda kad su $Z_1 = Z_2$, a ekstrem je u točki $X = 1/2$, što je grafički prikazano na slici 5, kao i dva slučaja nejednakih veličina ulaznih impedancija Z_1 i Z_2 .

Očito je da će kolosiječni strujni krug najpouzdanije i najsigurnije funkcionirati upravo u slučaju kad je $Z_1 = Z_2$, jer mu je u tom slučaju kritični otpor kratkog spoja $R = R(0) = R(1) = 0,5 \Omega$ na najnepovoljnijim mjestima izoliranog odsjeka. Naime, najveći otpor osovinskog



Slika 5.

skog prespoja izoliranog odsjeka je onda kada pružno vozilo samo svojom jednom osovinom kratko spoji tračnice, a to se događa jedino na bližem ili daljem kraju izoliranog odsjeka. Situacija se pogoršava kad ulazne impedancije Z_1 i Z_2 nisu jednake jer se kritični otpor kratkog spoja snižuje i to na mjestu manje vrijednosti ulazne impedancije. Prema tome zadatak konstruktora kolosiječnih strujnih krugova je uz ostalo i konstruktivna izvedba sa što manje razlike u električnim vrijednostima ulaznih impedancija Z_1 i Z_2 što u krajnjem slučaju nije teško postići. Bilo bi poželjno postizanje uvjeta:

$$Z_1 = Z_2 = Z_0$$

čime bi se postigla optimalna ekonomičnost potrošnje električne energije pri funkcioniranju kolosiječnih strujnih krugova. Međutim, taj uvjet je praktički nemoguće postići zbog velike varijabilnosti karakteristične impedancije izoliranog odsjeka Z_0 , čija vrijednost ovisi o cijelom nizu eksternih činilaca, kojih je utjecaje nemoguće kontrolirati. Odnos Z_{21}/Z'_{21} korištenjem relacija (16) i (20) rezultira izrazom:

$$\frac{Z_{21}}{Z'_{21}} = \frac{(Z_1 + Z_2) \operatorname{ch} \gamma l + (Z_0 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_0}) \operatorname{sh} \gamma l}{Z_1 + Z_2 + Z_0 \gamma l + \frac{(Z_1 + Z_0 \gamma l)(Z_2 + Z_0 \gamma (1-x))}{R}} \quad (24)$$

S druge strane je odnos Z_{21}/Z'_{21} definiran relacijom koja glasi:

$$\frac{Z_{21}}{Z'_{21}} = \frac{U/I_p}{U/I_0} = \frac{I_0}{I_p} = k$$

a predstavlja "koeficijent kvalitete", odnosno "faktor dobrote releja", koji je određen prema definiciji odnosom struje otpuštanja (I_0) prema struji privlačenja (I_p). Koeficijent kvalitete re-

leja mora biti što bliže jedinici, a nikako ispod vrijednosti 0,65.

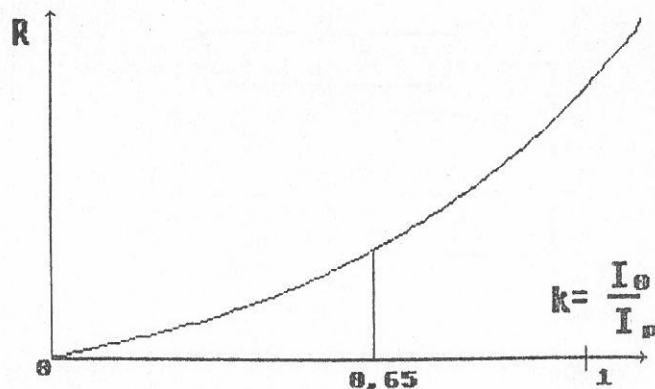
Izraz (24) će za $X = 0$ odnosno za $X = 1$ imati jednaku vrijednost ako su i ulazne impedancije jednake ($Z_1 = Z_2$). Tada izraz (24) prelazi u sljedeći oblik:

$$\frac{Z_{21}}{Z'_{21}} = \frac{2 Z_1 \operatorname{ch} \gamma l + (Z_0 + \frac{Z_1^2}{Z_0}) \operatorname{sh} \gamma l}{2 Z_1 + Z_0 \gamma l + \frac{Z_1^2 + Z_1 Z_0 \gamma l}{R}} \quad (25)$$

Otpor kratkog spoja R prema izrazu (25) moguće je izraziti eksplicitno:

$$R = \frac{k Z_1 (Z_1 + Z_0 \gamma l)}{2 Z_1 \operatorname{ch} \gamma l + (Z_0 + \frac{Z_1^2}{Z_0}) \operatorname{sh} \gamma l - k(2 Z_1 + Z_0 \gamma l)} \quad (26)$$

Uz pretpostavku konstantnih vrijednosti γl , Z_0 , Z_1 , odnosno Z_2 i frekvencije napona napajanja izoliranog odsjeka, otpor kratkog spoja ovisi o koeficijentu dobrote kolosiječnog releja k , odnosno o kvocijentu I_0/I_p što se vidi i iz grafičkog prikaza na slici 6.



Slika 6.

5. DULJINA ISOLIRANOG ODSJEKA KAO FUNKCIJA FREKVENCije NAPONA NAPAJANJA

Iz izraza (26) očita je nemogućnost jednostavnog izračunavanja, pri odgovarajućim unaprijed utvrđenim uvjetima, maksimalne duljine izoliranog odsjeka.

Analiza izraza (26) i ostalih prethodnih izvoda pokazuje da su karakteristične veličine izoliranog odsjeka γ i Z_0 ovisne o frekvenciji signalnog napona napajanja, a kako je duljina izoliranog odsjeka neposredno i posredno vezana za te veličine, to je i duljina l u odgovarajućoj ovisnosti o promatranoj frekvenciji. Također je duljina izoliranog odsjeka l u međuviznom odnosu i s otporom kratkog spoja R preko otpora zastora koji je u funkcionalnoj ovisnosti o duljini izoliranog odsjeka. Naime rastom

duljine izoliranog odsjeka otpor zastora opada pa kolosiječni relej pouzdano otpušta pri sve nižoj vrijednosti otpora kratkog spoja R, što je vrlo opasno za sigurno i pouzdano funkcioniranje kolosiječnog strujnog kruga.

Budući da je ovdje osnovni zadatak određivanje maksimalne vrijednosti duljine izoliranog odsjeka, odmah se uočava kompleksnost matematskog postupka zbog toga što se varijabla 1 pojavljuje i u brojniku koji je predstavljen linearnom funkcijom i u nazivniku koji je eksponentijalna funkcija varijable 1 čija se maksimalna vrijednost traži.

Uz zadanu vrijednost dobrote kolosiječnog releja $k = 0,65$, koja ovisi o konstruktivnim i proizvodnim mogućnostima proizvođača suvremenih željezničkih signalnih uređaja, zatim uz fiksnu vrijednost ulazno-izlazne impedancije Z_1 , te sigurnosne uvjete strogo definirane donje granice otpora kratkog spoja $R = 0,5 \Omega$, određena je i gornja granica duljine izoliranog odsjeka l_{maks} .

Zbog svih razmatranih problema i strogo sigurnosnim razlozima nametnutih uvjeta tu se nelinearnu, transcendentnu jednadžbu predstavljenu do kraja pojednostavnjenim izrazom (26) mora rješavati nekom od mnogobrojnih metoda za numeričko rješavanje nelinearnih jednadžbi.

Kao prikladan postupak može se preporučiti jednostavnija numerička metoda koja ne zahtijeva dodatno izračunavanje derivacija. Takva je nešto manje poznata modifikacija metode pogrešnog položaja, odnosno "Regula falsi" nazvana metodom "Illinois", koja se osim jednostavnošću odlikuje i osiguranom konvergencijom [5].

Pretpostavka je da je prethodno određen interval duljine izoliranog odsjeka kao rješenja nelinearne jednadžbe $f(x) = 0$. Dijagram tako spomenutog postupka prikazan je na slici 7.

Glavni koraci algoritma "Illinois" jesu:

1. Odabrati iz intervala duljine izoliranog odsjeka, kao pretpostavljenog rješenja, dvije početne aproksimacije X_{k-1} i X_k tako da je $f_{k-1} f_k < 0$. Ovdje je f_k kraća oznaka za $f(X_k)$.

2. Izračunati sljedeću aproksimaciju prema formuli:

$$X_{k+1} = X_k - \frac{X_k - X_{k-1}}{f_k - f_{k-1}} f_k$$

3. Izračunati f_{k+1} i provjeriti uvjet prekida postupka $|f_{k+1}| < \epsilon$, gdje ϵ predstavlja traženu točnost. Ako je uvjet zadovoljen, X_{k+1} je rješanje jednadžbe, a ako nije, prelazi se na četvrti korak (4).

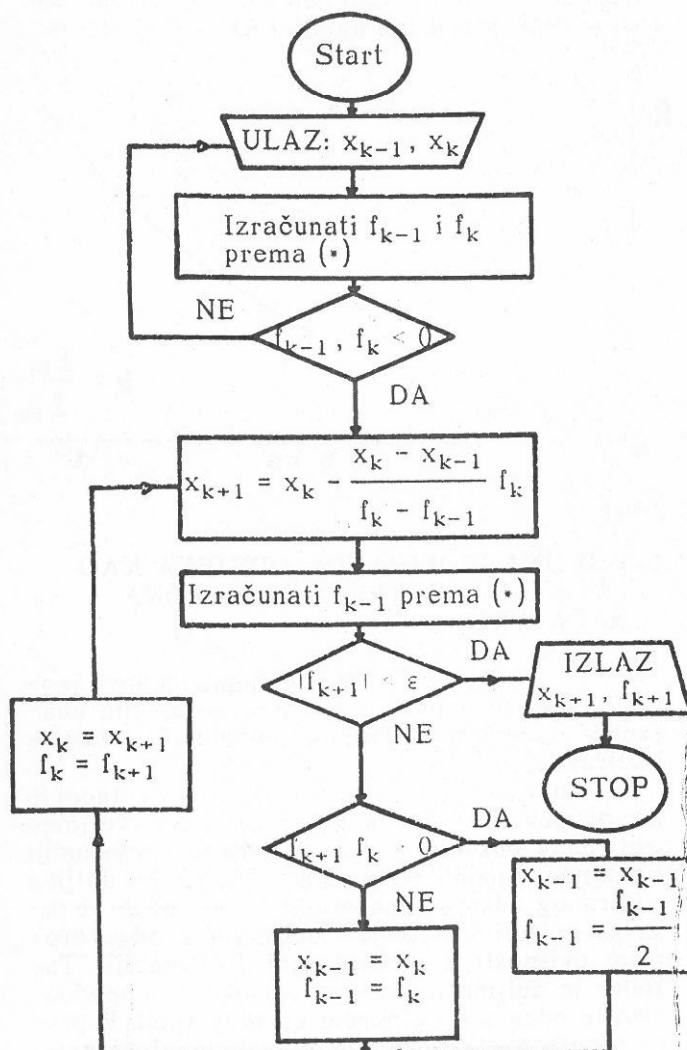
4. Ako je produkt $f_{k+1} f_k < 0$, treba zamijeniti (X_{k-1}, f_{k-1}) s (X_k, f_k) , a u slučaju da je $f_{k+1} f_k > 0$, treba zamijeniti (X_{k-1}, f_{k-1}) s $(X_{k-1}, f_{k-1}/2)$. U oba se slučaja (X_k, f_k) zamjenjuje s (X_{k-1}, f_{k-1}) . Ponovno se prelazi na drugi korak (2).

Lako je uočljivo kako se ova metoda razlikuje od izvorne metode "Regula falsi", i to isključivo u četvrtom koraku (4) kad je $f_{k+1} f_k > 0$. Ali, time je indeks efikasnosti povećan od 1 na 1,44, kao što je pokazano u izvornom radu [5].

Pri rješavanju izraza (26) značenje varijable X preuzima veličina duljine izoliranog odsjeka l .

6. ZAKLJUČAK

Kolosiječni strujni krug, kao jedan od najbitnijih segmenata željezničkih signalnosigurnosnih uređaja, zaslužuje poseban tretman s aspekta sigurnosti i pouzdanosti. Posebno je značajno provjeriti i utvrditi maksimalno moguće duljine izoliranog odsjeka pri kojima je sigurnost i pouzdanost u propisanim granicama. Kako na duljinu izoliranog odsjeka utječu njegovi pojedini parametri, još uvijek nije dovoljno istraženo, pa se u ovom radu pokušalo dobiti neke odgovore. Međutim, kako je težište ove analize posvećeno pronalaženju efikasne metode izračunavanja duljine izoliranog odsjeka u takozvanom "režimu kratkog spoja", utvrđeno je da je modifikacija poznate metode "Regula falsi" u literaturi [5] nazvana "Illinois" vrlo prikladna za, po želji, točan proračun traženih veličina, pa je autori preporučuju uz prezentaciju kompletnog postupka.



Slika 7.

SUMMARY

CORRELATION OF TRACK CIRCUIT SECTION LENGTH AND FEED VOLTAGE FREQUENCY

Based on the theory of the track circuit and mathematical model of homogeneous track circuit section the authors propose a suitable method for calculation of parameters of track circuit section length which cannot be represented in an explicit form. More complex functions of calculation of these values understand a very hard and time consuming process. The significant aspect of this paper rests in its presentation of the most suitable methods for resolutions of this and similar problems.

LITERATURA

- [1] N.F. KOTLJARENKO: Električeskiye reljsovije cepi., Moskva, 1961.
- [2] T. MLINARIĆ: Izolirani sastavi kao elementi sigurnosti u željezničkom prometu. Suvremeni promet, 1984, 5, 243-246.
- [3] T. MLINARIĆ: Rezultati mjerenja utjecaja električne vuče na izbor frekventnog područja rada kolosiječnih strujnih krugova. Jurema 30, 1985, 2, 21-23.
- [4] B. RAVNIKAR: Pružni uređaji, Ljubljana, 1963.
- [5] M. DOWELL, P. JARRATT: A modified Regula falsi method for computing the root of an equation, Bit 11, 1971, 168-174.