

PLANIRANJE RAZVOJA PRENOSNE MREŽE

4. Optimizacija prenosa između dve
tačke

4. Optimizacija prenosa između dve tačke

4.1. Metodologija

- Problem koji treba rešiti je određivanje optimalnih karakteristika prenosnog voda nominalne prenosne snage:

$$P_n \approx S_n = \sqrt{3}U_n I_n$$

i poznatog godišnjeg vremena iskorištenja te snage (T_M^g), koja teče između dve tačke. (Pretpostavka je $I_M = I_n$, pa je i $P_M = P_n$)

- Ovaj optimizacioni problem matematički zahteva minimizaciju funkcije aktualizovanih godišnjih troškova prenosnog voda (14) po tri promenljive U_n , q_v i I_n .
- U tu svrhu obično se koristi Lagranžov metod.
- Proširena Lagranžova funkcija za razmatrani problem je:

$$L = C_{Va}^g + \lambda(P_n - \sqrt{3}U_n I_n) = A + BU_n + Cq_v + j_\Delta \frac{I_n^2}{q_v} + \lambda(P_n - \sqrt{3}U_n I_n) \quad (20)$$

4. Optimizacija prenosa između dve tačke

4.1. Metodologija

- Potrebni uslovi za minimum su:

$$\frac{\partial L}{\partial U_n} = B - \lambda\sqrt{3}I_{n0} = 0 \Rightarrow B = \lambda\sqrt{3}I_{n0} \quad (21a)$$

$$\frac{\partial L}{\partial q_v} = C - j_\Delta \frac{I_{n0}^2}{q_{v0}^2} = 0 \Rightarrow C = j_\Delta \frac{I_{n0}^2}{q_{v0}^2} \quad (21b)$$

$$\frac{\partial L}{\partial I_n} = 2j_\Delta \frac{I_{n0}}{q_{v0}} - \lambda\sqrt{3}U_{n0} = 0 \Rightarrow \lambda\sqrt{3}U_{n0} = 2j_\Delta \frac{I_{n0}}{q_{v0}} \quad (21c)$$

gde su U_{n0} , q_{v0} i I_{n0} vrednosti promenljivih U_n , q_v i I_n , respektivno, koje odgovaraju optimalnom rešenju, a λ je Lagranžov multiplikator.

- U suštini moguća je optimizacija samo dve promenljive prenosnog voda (napon i poprečni presek) jer se prenosna snaga P_n ili nominalna struja I_n obično unapred zadaje.

4. Optimizacija prenosa između dve tačke

4.2. Optimizacija poprečnog preseka

- U optimizacionoj jednačini (21b) nema Lagranžovog multiplikatora λ . Iz te jednačine dobija se izraz za optimalni poprečni presek q_{v0} , koji zavisi samo od optimalne nominalne struje I_{n0} :

$$q_{v0} = \sqrt{\frac{j_{\Delta}}{C}} I_{n0} = \sqrt{\frac{j_{\Delta}}{C}} I_M \text{ [mm}^2\text{]} \quad (22)$$

- Za ovako izabrani optimalni poprečni presek, optimalni (minimalni) aktualizovani godišnji troškovi prenosnog voda (14) za $I_M = I_{n0}$, iznose:

$$\begin{aligned} C_{Vam}^g &= C_{Vao}^g = A + BU_{n0} + C \sqrt{\frac{j_{\Delta}}{C}} I_{n0} + j_{\Delta} \frac{I_{n0}^2}{I_{n0}} \sqrt{\frac{C}{j_{\Delta}}} = \\ &= A + BU_{n0} + \sqrt{Cj_{\Delta}} I_{n0} + \sqrt{Cj_{\Delta}} I_{n0} = \\ &= A + BU_{n0} + 2\sqrt{Cj_{\Delta}} I_{n0} \end{aligned} \quad (23)$$

4. Optimizacija prenosa između dve tačke

4.2. Optimizacija poprečnog preseka

- Odavde se vidi da su pri optimumu članovi koji zavise od poprečnog preseka i gubitaka jednaki.
- Gornji zaključak poznat je pod imenom osnovno Kelvinovo pravilo koje glasi:

“Pri optimalnom poprečnom preseku provodnika prenosnog voda, izjednačavaju se godišnji troškovi srazmerni poprečnom preseku provodnika i troškovi gubitaka aktualizovani na ceo životni vek prenosnog voda”
- Izraz (22) često se koristi u alternativnoj formi, pri čemu se uvodi pojam optimalne gustine struje provodnika prenosnog voda:

$$J_0 = \frac{I_{n0}}{q_{v0}} = \sqrt{\frac{C}{j_{\Delta}}} \text{ [A/mm}^2\text{]} \quad (24)$$

4. Optimizacija prenosa između dve tačke

4.2. Optimizacija poprečnog preseka

- Iz prethodnog izraza se vidi da optimalna gustina struje ne zavisi od prenosne snage i naponskog nivoa voda.
- U ovu veličinu su uključene karakteristike provodnika (ρ) i vreme godišnjeg iskorišćenja maksimalne snage prenosa preko vremena trajanja gubitaka pri maksimalnom godišnjem opterećenju (τ_g^g).
- Optimalna gustina struje ne zavisi od količnika B/λ (21a), koji približno daje odnos cena materijala provodnika i izgubljene električne energije u prenosnom vodu.
- Primera radi za francuske podatke iz 70-ih godina, dobija se:

$$J_{0(v)} = \sqrt{\frac{C}{j_{\Delta}}} = \sqrt{\frac{75}{200}} = 0.6 \text{ A/mm}^2$$

$$J_{0(k)} = \sqrt{\frac{C}{j_{\Delta}}} = \sqrt{\frac{250}{250}} = 1 \text{ A/mm}^2$$

4. Optimizacija prenosa između dve tačke

4.2. Optimizacija poprečnog preseka

- Praktične vrednosti optimalnih gustina trajnih struja vazdušnih vodova su između 0.5 i 1.0 A/mm^2 (za kablove 1.0 A/mm^2).
- Pri termičkim granicama opterećenja za Al provodnike vazdušnih vodova te gustine struje su između 1.5 i 2.5 A/mm^2 .
- Pojam ekonomske (optimalne) gustine struje prenosnog voda dobijen je minimizacijom aktualizovanih godišnjih troškova prenosnog voda.
- Numeričke vrednosti tih gustina struja za pojedine slučajeve, znatno su niže od odgovarajućih maksimalno dozvoljenih gustina struja provodnika.
- Razlog je sledeći: prve se računaju za normalne i trajne pogonske uslove, a druge za režime preopterećenja.
- Drugim rečima, kriterijum za prve vrednosti su gubici, a za druge, maksimalno dozvoljena temperatura zagrevanja provodnika.

4. Optimizacija prenosa između dve tačke

4.2. Optimizacija poprečnog preseka

- U procesu planiranja moraju se u obzir uzeti različiti zahtevi rada sistema u normalnim i poremećenim režimima.
- To znači da se izbor parametara svih prenosnih vodova mora sprovesti, kako sa aspekta gubitaka energije (ili troškova goriva) u normalnom režimu, tako i sa aspekta šteta i gubitaka usled neisporučene el. energije u poremećenim režimima.
- Treba istaći da je za jednu složenu prenosnu mrežu naročito važno da se smanji broj standardnih poprečnih preseka vodova jer se smanjuju troškovi proizvodnje i održavanja.
- U Srbiji se za svaki naponski nivo koriste samo jedan ili dva standardna preseka.

4. Optimizacija prenosa između dve tačke

4.3. Optimizacija izbora prenosnog napona

- Analiziraće se optimizacija bez uvažavanja troškova transformatora.
- Ponovo se polazi od opšte jednačine troškova svedenih na jedinicu dužine (14) i potrebnih uslova za minimizaciju tih troškova (21).
- Transformacijom uslova (21c), pri optimumu, dobija se izraz:

$$\frac{2j_{\Delta}I_{n0}}{q_{v0}} = \frac{2j_{\Delta}I_{n0}}{\sqrt{\frac{j_{\Delta}}{C}I_{n0}}} = 2\sqrt{Cj_{\Delta}} = \lambda\sqrt{3}U_{n0} \quad (25)$$

odakle je za $\lambda = B/\sqrt{3}I_{n0}$ i $P_n = \sqrt{3}U_{n0}I_{n0}$

$$U_{n0} = \frac{2\sqrt{Cj_{\Delta}}}{\lambda\sqrt{3}} = \frac{2\sqrt{Cj_{\Delta}}}{B} I_{n0} = \frac{2\sqrt{Cj_{\Delta}}}{B} \frac{P_n}{\sqrt{3}U_{n0}} \quad (26)$$

odnosno

$$U_{n0} = \sqrt{\frac{2\sqrt{Cj_{\Delta}}}{B\sqrt{3}}} \sqrt{P_n} = \left(\frac{Cj_{\Delta}}{3}\right)^{1/4} \left(\frac{2P_n}{B}\right)^{1/2} \text{ [V]} \quad (27)$$

4. Optimizacija prenosa između dve tačke

4.3. Optimizacija izbora prenosnog napona

- Iz izraza se vidi da je optimalni linijski napon srazmeran kvadratnom korenu iz nominalne (maksimalne) prenosne snage voda P_n .
- Izraz (27) može se posmatrati i obrnuto, uzimajući da je poznat napon i da treba pronaći optimalnu ekonomsku prenosnu snagu voda uz poznati napon U_n . Ona se dobija preko formule:

$$P_{eV} = \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \frac{B}{\sqrt{Cj_{\Delta}}} \right) U_n^2 \text{ [W]} \quad (28)$$

- Ako se pretpostavi da prenosni vod radi pod svojim optimalnim naponom U_{n0} , optimalna struja voda I_{n0} i optimalni poprečni presek provodnika q_{v0} mogu se izraziti u funkciji od prenosne snage P_n :

$$I_{n0} = \frac{P_n}{\sqrt{3}U_{n0}} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \left(\frac{Cj_{\Delta}}{3} \right)^{1/4} \left(\frac{2P_n}{B} \right)^{1/2}} = \frac{B^{1/2}}{(3Cj_{\Delta})^{1/4}} \left(\frac{P_n}{2} \right)^{1/2} \quad (29)$$

4. Optimizacija prenosa između dve tačke

4.3. Optimizacija izbora prenosnog napona

$$q_{v0} = \sqrt{\frac{j_{\Delta}}{C}} I_{n0} = \left(\frac{j_{\Delta}}{C}\right)^{1/2} \frac{B^{1/2}}{(3Cj_{\Delta})^{1/4}} \left(\frac{P_n}{2}\right)^{1/2} = \frac{B^{1/2} j_{\Delta}^{1/4}}{C^{3/4} 3^{1/4}} \left(\frac{P_n}{2}\right)^{1/2} \quad (30)$$

- Za odnos q_{v0} i U_{n0} posle sređivanja se dobija:

$$\frac{q_{v0}}{U_{n0}} = \frac{B}{2C} \quad (31)$$

- Ovaj odnos se može lako odrediti kada su poznate konstante B i C iz (14).
- Optimalne vrednosti struje i poprečnog preseka takođe se mogu pronaći u zavisnosti od optimalnog linijskog napona U_{n0} , preko izraza:

$$I_{n0} = \frac{B}{2\sqrt{Cj_{\Delta}}} U_{n0} \quad (32)$$

$$q_{v0} = \frac{B}{2C} U_{n0} \quad (33)$$

4. Optimizacija prenosa između dve tačke

4.3. Optimizacija izbora prenosnog napona

- Kako je odnos praktičnih vrednosti C i B iz (14) oko 375, dobija se da je optimalni poprečni presek (izražen u mm^2) oko $1.3 U_{n0}$, gde je U_{n0} izražen u [kV].
- Ako se relacije (32) i (33) zamene u odgovarajuće članove u (14) koji zavise od poprečnog preseka, dobiće se izraz:

$$C_{qv0} = \frac{j_{\Delta}}{q_{v0}} I_{n0}^2 = \frac{B}{2} U_{n0} \quad (34)$$

- Tada optimalni aktualizovani godišnji troškovi prenosnog voda po jedinici dužine postaju:

$$C_{Va0}^g = A + BU_{n0} + \frac{B}{2} U_{n0} + \frac{B}{2} U_{n0} = A + 2BU_{n0} \text{ [NJ/(km} \cdot \text{god)]} \quad (35)$$

4. Optimizacija prenosa između dve tačke

4.4. Ekonomska impedansa opterećenja prenosnog voda

- Ako se realcija (26) napiše u formi:

$$\frac{U_{n0}}{\sqrt{3}} = Z_{eV} I_{n0} \quad (36)$$

uvažavajući relaciju (32) za I_{n0} , može se definisati tzv. “ekonomska impedansa opterećenja prenosnog voda”, kao:

$$Z_{eV} = \frac{U_{n0}}{\sqrt{3} I_{n0}} = \frac{2\sqrt{Cj_{\Delta}}}{\sqrt{3} B} [\Omega] \quad (37)$$

tako da se ekonomska prenosna snaga voda (28) može izraziti kao:

$$P_{eV} = \frac{U_{n0}^2}{Z_{eV}} [\text{W}] \quad (38)$$

- Impedansa (37) ne zavisi od prenosne snage i napona. Za nadzemne vodove ona je reda 500-700 Ω , a za kablovske 140 Ω .
- Ona je nešto veća u poređenju sa karakterističnom impedansom vazdušnih vodova (300-400 Ω) i kablova (50 Ω).
- Ekonomski gledano vodove bi trebalo opteretiti ispod prirodne snage. U praksi to nije tako zbog ostalih troškova (npr. priključna postrojenja)