

OSNOVNE TEORIJSKE POSTAVKE IZMJENIČNIH I ISTOSMJERNIH PRIJENOSNIH VODOVA

Mr. sc. Filip Mandarić, Split

UDK 621.311.1:621.3.51.024/025
STRUČNI ČLANAK

U radu je prikazan naponski i strujni doprinos prijenosu izmjeničnim i istosmjernim vodovima iz teoretskih postavki prijenosa. Istaknuto je polazište ka tehničko-ekonomskim usporedbama snage prijenosa. Dan je primjer usporedbe s grafičkim prikazom.

Ključne riječi: prijenos električne energije, prijenos istosmjernom strujom, prijenos izmjeničnom strujom.

1. UVOD

U literaturi [1] između ostalog su navedeni osnovni pojmovi usporedbi izmjeničnog i istosmjernog prijenosa glede teorijskog promatranja s osnovnim postavkama prijenosa. Korak dalje ka rješavanju ove složene problematike usporedbi izvodimo teorijskim promatranjem idealiziranih prijenosa sa svrhom približenja realnim prijenosima. Tako je potrebno izdvajanje strujnih i naponskih doprinosa ukupnoj snazi prijenosa. Konačno se navodi primjer kao potvrda pretpostavki naponsko-strujnog doprinosa samo teoretskim postavkama što daje uvid i polazište za konkretne prijenose.

2. ELEMENTARNE USPOREDBE IZMJENIČNOG I ISTOSMJERNOG PRIJENOSA

2.1. Polazne pretpostavke rješavanja snage prijenosa

Eksploataciji osnovne ideje istosmjernog prijenosa omogućenoj elektroničkim energetskim komponentama je potrebno pristupiti iz osnovnih odnosa snage prijenosa prijenosnim vodovima. Promatranja provodimo uporedo s izmjeničnim prijenosom zbog uvida ekonomičnosti prijenosa. Osnovu promatranja ograničavamo na idealne prilike prijenosa s uključenim djelatnim gubicima snage. Također se pretpostavljaju prijenosi s prilagodbom, zanemarivim odvodima, gubicima korone i drugo, a uz čisti djelatni prijenos snage. Tako ćemo doći do polaznog odnosa izmjenično-istosmjerne snage prijenosa. Slična promatranja su provedena u literaturi [1] a ovdje se izdvajaju ključna

polazišta daljnjim usporedbama, odnosno ekonomici prijenosa. Prema zaključcima iz iste literature, točka 7., izvodimo konstataciju:

1. Prijenos snage uz zanemarene gubitke zagrijavanja je veći 1,5 puta kod prijenosa istosmjernom strujom, pri prijenosu istim vodovima.
2. Prijenos istosmjernom strujom vodovima istosmjerne struje je veći $\sqrt{3}$ puta od prijenosa ekvivalentnim vodovima izmjenične struje.
3. Uz jednake relativne gubitke zagrijavanja moguć je prijenos 2,25 puta veće snage istosmjernom strujom.

Konstatacija 1. i 3. se odnose na iste vodove odnosno za slučaj kada iste vodove upotrijebimo za izmjenični prijenos, a zatim za istosmjerni prijenos što je izvedeno u literaturi [1]. Posebno se promatraju slučajevi zanemarenih gubitaka kao i jednakih relativnih gubitaka zagrijavanja.

Prilike prijenosa približavamo elementarnim izrazima izmjeničnog i istosmjernog prijenosa snage ekvivalentnim vodovima,

$$P_{ac} = 3VI, \quad P_{dc} = 2V_d I_d \quad (1)$$

U izrazu (1) indeksima ac i dc označavamo izmjeničnu i istosmjernu snagu, d istosmjerni napon i struju dok sa V i I označavamo napon i struju prijenosa. Za istosmjerni prijenos se tako dopušta $V_{d+} = \sqrt{2}V$ i $V_{d-} = \sqrt{2}V$, dakle naponi različitog polariteta, pa će za bipolarni prijenos vrijediti $V_d = V_{d+} + V_{d-} = 2\sqrt{2}V$. Iznos napon V je napon jedne faze izmjeničnog prijenosa. Pod ekvivalentnim vodovima ovdje podrazumijevamo jednak presjek prijenosnog voda, $3r_{1v}^2\pi = 2r_{1d}^2\pi$. Odnos

polumjera vodiča voda je tada $\frac{r_{1d}}{r_{1v}} = \sqrt{\frac{3}{2}}$. Zbog povećanog polumjera istosmjernog voda se dopušta prema izrazu (2) povećanje napona istosmjernog prijenosa $\sqrt{\frac{3}{2}}$ puta. Za odnos električnog polja pri istom naponu na vodičima različitog promjera imamo

$$E_{1v} = E_{1d} \frac{r_{1d}}{r_{1v}} = E_{1d} \sqrt{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

Iz relacije (2) povećani napon istosmjernog vodiča zbog povećanja polumjera će biti $V_{1d} = \sqrt{\frac{3}{2}}V$, koji uvršten u vrijednost istosmjernog napona daju konačno uvažavanjem i tjemene vrijednosti povećanja istosmjernog napona.

$$V_{d+} = V_{d-} = \sqrt{2}V_{d1} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{3}{2}}V = \sqrt{3}V \quad (3)$$

Primijetimo da ekvivalentnim vodom razumijevamo pored jednakog presjeka voda i jednak utrošak izolatora. Izolatorski lanac na vodu istosmjerne struje smije biti s 3/2 puta više izolatora, da se ostvari jednak utrošak izolatora na jednako dugoj trasi. Naponsko naprezanje izolatorskog lanca na trofaznom vodu izmjenične struje je $\sqrt{2}V/d$, ako je d duljina izolatorskog lanca. Naponsko naprezanje je 1,5 duljeg izolatorskog lanca na vodu istosmjerne struje bilo bi $\sqrt{3}V/1,5d$, dakle bilo bi manje za $\sqrt{2}/1,1547 = 1,225$ od naprezanja lanca na vodu izmjenične struje. I u pogledu izolatorskog lanca ekvivalentnog voda je prednost istosmjernog voda.

Izraz za snagu prijenosa sa svrhom njihove usporedbe možemo konstatirati,

$$P_{dc} = 2(\sqrt{3}V) \cdot \left(\frac{3}{2}I\right) = 3\sqrt{3}VI = \sqrt{3}P_{ac} \quad (4)$$

te potvrditi raniju konstataciju pod 2. Napomenimo da odnos snaga prijenosa vrijedi pored navedenih pretpostavki i uz jednake gubitke prijenosa što je izraženo ekvivalentnošću voda i jednakom gustoćom struje vodiča. Potrebno je zapaziti da jednakost gubitaka prijenosa nije i jednakost relativnih gubitaka prijenosa.

Činjenicu povećanog prijenosa snage možemo razlučiti na doprinos napona i doprinos povećanja struje ukupnoj snazi prijenosa.

a) Doprinos povećanog istosmjernog napona.

$$V_{d+} = \sqrt{3}V, \\ P_{dc} = 2(\sqrt{3}V) \cdot I = 2\sqrt{3}VI = \frac{2}{\sqrt{3}}P_{ac} \quad (5)$$

Posebno, dozvoljeno povećanje napona će omogućiti povećanje snage $2/\sqrt{3}$ puta.

b) Doprinos povećane istosmjerne struje.

Daljnje dopušteno povećanje zbog odnosa presjeka vodiča će prema tome povećati snagu prijenosa još 3/2 puta.

Također produkt pojedinih povećanja snage daje ukupno povećanje prijenosa $(2/\sqrt{3}) \cdot (3/2) = \sqrt{3}$. To su polazne pretpostavke daljnjem optimalnom rješavanju strujnih i naponskih vrijednosti prijenosnih vodova. Nameću se pitanja međusobnih razmaka i presjeka vodiča kao i naponskog nivoa prijenosa. Pretpostavimo za oba sustava prijenosa iste duljine, iste mase vodiča, istu izolaciju prema zemlji kao i iste gubitke zagrijavanja.

Primijetimo da vodovi izmjeničnog prijenosa imaju $\sqrt{2}V$ izolaciju prema zemlji dok povećanje napona istosmjernih vodova iznosi $\sqrt{3}V$ odnosno povećano naprezanje prema zemlji u slučaju ekvivalentnih vodova. Stoga je potrebno uvažiti tu činjenicu glede veće visine voda odnosno uvažiti gubitke odvoda voda ukoliko izolacija voda zadovoljava.

Prema slici 1. snaga trofaznog sustava je 3 VI s odgovarajućim relativnim gubicima.

$$\frac{3I^2R}{3VI} = \frac{IR}{V} \quad (6)$$

Snaga pak istosmjernog sustava na slici b) je $2(\sqrt{3}V)I_d$. Analogno imamo relativne gubitke

$$\frac{2 \cdot I_d^2 \frac{2}{3}R}{2\sqrt{3}VI_d} = \frac{2I_dR}{3\sqrt{3}V} \quad (7)$$

Izjednačavanjem gubitaka dobivamo $I_d = \frac{3}{2}\sqrt{3}I$, odnosno

$$\frac{IR}{V} = \frac{2I_dR}{3\sqrt{3}V} \quad (8)$$

Sada istosmjerni sustav ima snagu

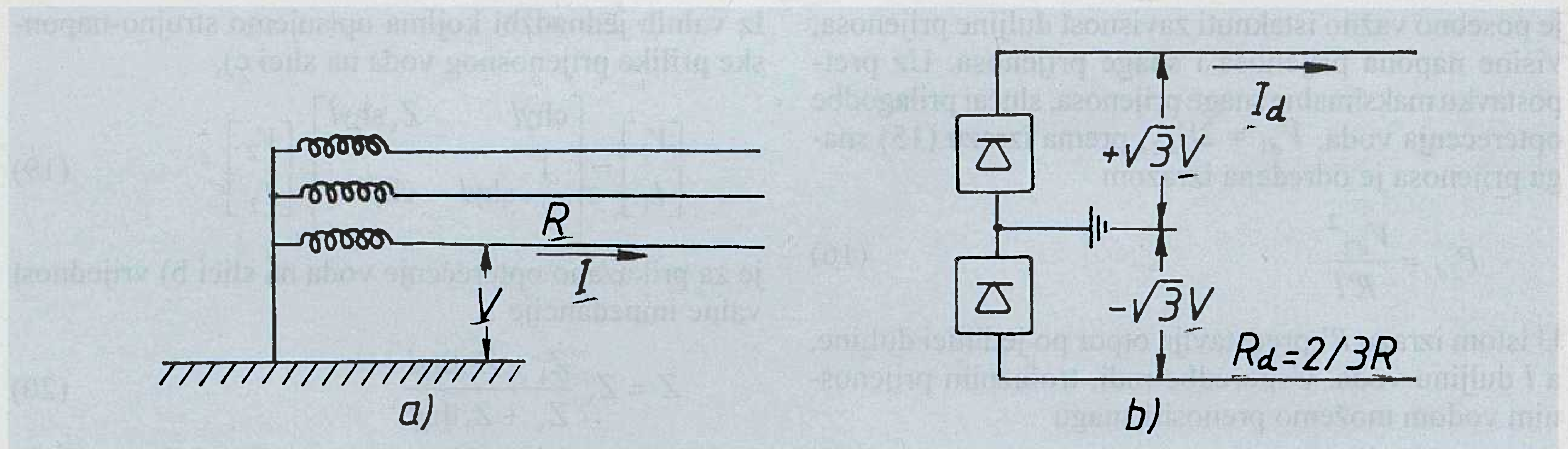
$$2(\sqrt{3}V)I_d = 2(\sqrt{3}V)\frac{3}{2}\sqrt{3}I = 3P_{ac}, \quad (9)$$

dakle trostruko veću od izmjeničnog sustava prijenosa.

Takav rezultat je posljedica izraženog povećanja strujnog opterećenja istosmjernog prijenosa. Međutim, zbog dopuštene jednake gustoće struje prijenosnog voda, za njegovo dimenzioniranje su mjerodavni jednaki iznosi stvarnih gubitaka, tako je $I_d = \frac{3}{2}I$, odnosno

$$2(\sqrt{3}V)\frac{3}{2}I = \sqrt{3}P_{ac} \quad (10)$$

što potvrđuje izvedenu konstataciju (4). Elementarna osnova isticanja prednosti istosmjernog nad izmjeničnim prijenosom je time određen. Prestaju detaljna približenja stvarnih prilika prijenosa, njihovih kvantitativnih vrijednosti kao i proporcionalnosti njihovog utjecaja. Posebno, u prilog već navedenoj usporedbi su vrlo slikovite usporedbe trofaznog voda i istosmjer-



Slika 1. Usporedbene veličine izmjeničnog i istosmjernog prijenosa: a) izmjenične i b) istosmjerne vrijednosti parametara ekvivalentnih prijenosa

nog prijenosa istim ili sličnim vodom. Valjane usporedbe će se tako temeljiti na iskustvima visokonaponske tehnike prijenosa, njenog karaktera kao i kriterija gubitaka prijenosa.

2.2. Idealan istosmjerni prijenos

Zbog jasnije slike rada istosmjernog prijenosa u sustavu, odnosno veze dvaju sustava za sustav jednadžbi snage prijenosa uvažavamo kut upravljanja usmjerivačkim stanicama. Pritom je red veličina snage takav da možemo pisati $\cos \varphi \approx \cos \alpha$. Dakle, faktor snage izjednačavamo s kutom upravljanja usmjerivačem. Time smo zanemarivali padove napona samog usmjerivača. Djelatna i jalova snaga na izmjeničnim sabirnicama prema slici 2. se može prikazati kako slijedi.

Djelatna snaga na izmjeničnim sabirnicama ispravljajača:

$$P_1 = k_1 V_1 \cos \varphi_1 \frac{k_1 V_1 \cos \varphi_1 - k_2 V_2 \cos \varphi_2}{R} \quad (11)$$

Jalova snaga na izmjeničnim sabirnicama ispravljajača:

$$Q_1 = k_1 V_1 \sin \varphi_1 \frac{k_1 V_1 \cos \varphi_1 - k_2 V_2 \cos \varphi_2}{R} \quad (12)$$

Djelatna snaga na izmjeničnim sabirnicama izmjenjivača:

$$P_2 = k_2 V_2 \cos \varphi_2 \frac{k_1 V_1 \cos \varphi_1 - k_2 V_2 \cos \varphi_2}{R} \quad (13)$$

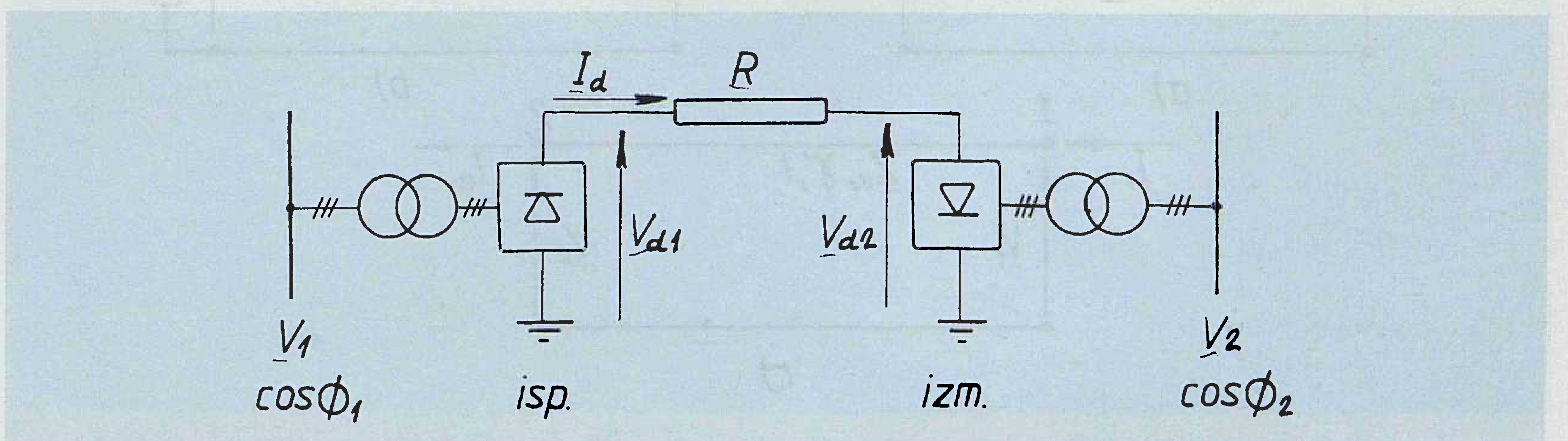
Jalova snaga na izmjeničnim sabirnicama izmjenjivača:

$$Q_2 = k_2 V_2 \sin \varphi_2 \frac{k_1 V_1 \cos \varphi_1 - k_2 V_2 \cos \varphi_2}{R} \quad (14)$$

U gore navedenim izrazima je $k = \frac{3\sqrt{2}}{\pi}$ konstanta proporcionalnosti, odnosno $k_1 = k \cdot s_1 \cdot m_1$ a $k_2 = k \cdot s_2 \cdot m_2$ gdje su s broj šest pulsni mosnih pretvarača spojenih u seriju na istosmjernoj strani, a m prijenosni odnos transformatora, s indeksima 1 početka i 2 kraja prijenosa. Snaga prijenosa ilustriranog na slici 2. se može prikazati izrazom

$$P = \frac{V_{d1}^2 - V_{d2}^2}{2R} \pm \frac{(V_{d1} - V_{d2})^2}{2R} \quad (15)$$

Prvi član jednadžbe je snaga u sredini voda prijenosa dok drugi predstavlja polovinu gubitaka prijenosnog voda. Predznak (+) daje isporučenu snagu, a (-) primljenu snagu na krajevima prijenosa. Uvažavanjem otpora prijenosnog voda primljena snaga je manja od isporučene. Gubici se također javljaju u pretvaračkim stanicama. U skladu s težnjom prijenosa velikih snaga ekstra i ultra visokim naponima na velike udaljenosti



Slika 2. Jednopolna shema veze izmjeničnih sustava istosmjernom prijenosnom vezom

je posebno važno istaknuti zavisnost duljine prijenosa, visine napona prijenosa i snage prijenosa. Uz pretpostavku maksimalne snage prijenosa, slučaj prilagodbe opterećenja voda, $V_{d1} = 2V_{d2}$, prema izrazu (15) snaga prijenosa je određena izrazom

$$P_{2d} = \frac{V_{d2}^2}{R'l} \quad (16)$$

U istom izrazu R' predstavlja otpor po jedinici duljine, a l duljinu voda. Usporedbe radi, trofaznim prijenosnim vodom možemo prenositi snagu

$$P_{2d} = 3 \frac{V_{d2}^2}{R'l} \quad (17)$$

To je, dakako, uvjetan izraz. Potrebno je odrediti granice strujnog opterećenja, područje nazivnog napona u skladu s padom napona duž voda, kao i kompromis između navedenih veličina i duljine prijenosnog voda. Za potpuniju ocjenu ili pak realizaciju prijenosa treba još odrediti vrijednosti gubitaka. Slična promatranja možemo provesti za prijenos maksimalne snage izmjeničnim naponom i idealiziranim prilikama.

2.3. Idealan izmjenični prijenos

Nešto složenije prilike prijenosa nastupaju teorijskim prikazom izmjeničnog prijenosa. Promatrana duljina voda zahtijeva valni opis strujno-naponskih prilika na prijenosnim vodovima. Također se promatra slučaj prijenosa maksimalne snage. Stoga je potrebno izvršiti takva valna promatranja prema slici 3.

Prema slici a) uz ispunjenje uvjeta maksimalnog prijenosa snage je snaga na kraju voda jedne faze određena izrazom prema literaturi [2],

$$P_2 = \frac{V_1 V_2}{Z} \quad (18)$$

Iz valnih jednadžbi kojima opisujemo strujno-naponske prilike prijenosnog voda na slici c),

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{ch}\gamma l & Z_v \text{sh}\gamma l \\ \frac{1}{Z_v} \text{sh}\gamma l & \text{ch}\gamma l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (19)$$

je za prikazano opterećenje voda na slici b) vrijednost valne impedancije

$$Z = Z_v \frac{Z_1 + Z_v \text{th}\gamma l}{Z_v + Z_1 \text{th}\gamma l} \quad (20)$$

U izrazima (19) i (20) γ predstavlja poznatu konstantu valnog rasprostiranja obično u $[\text{km}^{-1}]$ a Z_v valnu impedanciju voda u $[\Omega]$. Zanimarimo li pak konstantu gušenja prijenosa α , primjenom transformacije

$$\text{th}\gamma l = \frac{\text{th}\alpha l + j \text{tg}\beta l}{1 + j \text{th}\alpha l \cdot \text{tg}\beta l},$$

je normirana impedancija prijenosnog voda određena izrazom

$$\frac{Z}{Z_v} = \frac{Z_1 + j Z_v \text{tg}\beta l}{Z_v + j Z_1 \text{tg}\beta l} \quad (21)$$

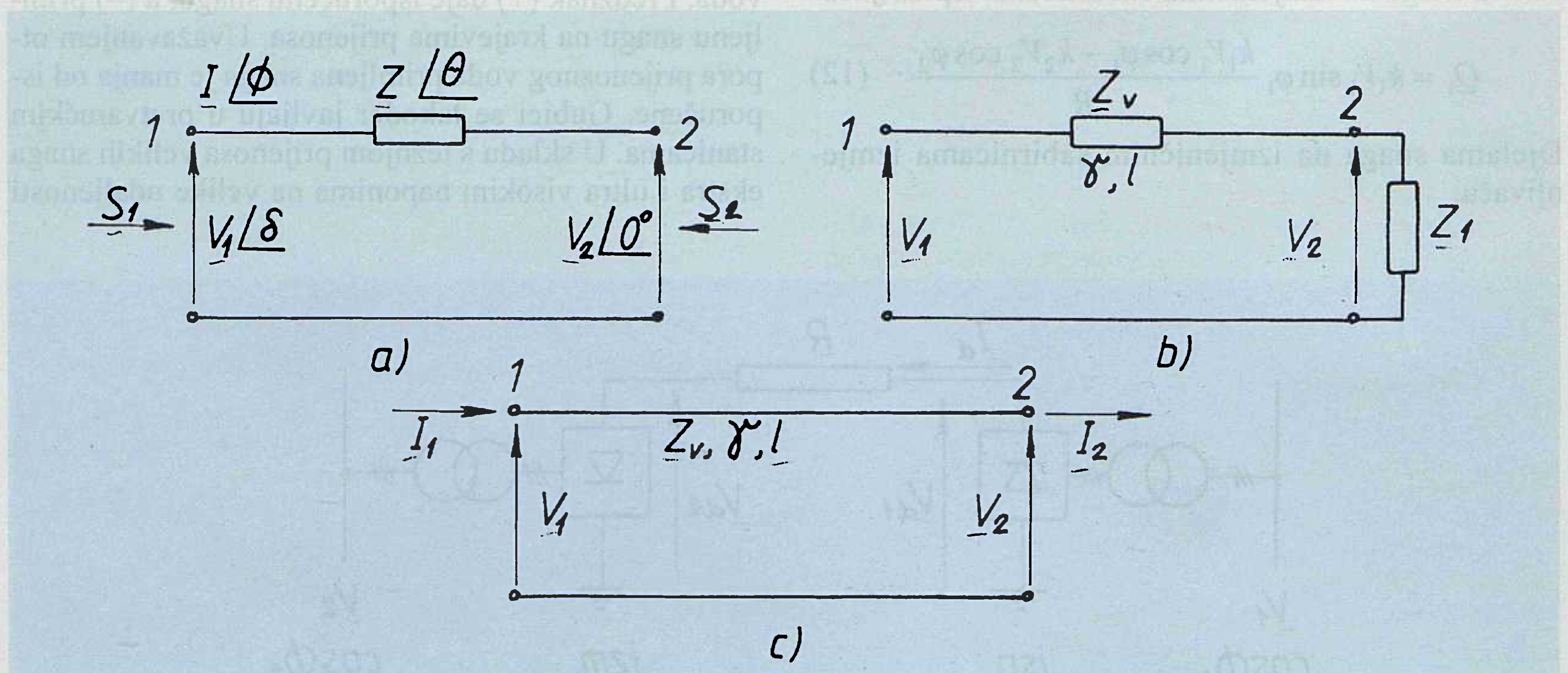
gdje je β poznata fazna konstanta u $[\text{km}^{-1}]$. Dakako da je $\gamma = \alpha + j\beta$. Naponsku jednadžbu voda pomnoženu s naponom na kraju voda izražavamo produktom napona uz uvažavanje $Z = Z_v$ za idealan vod

$$V_1 V_2 = V_2^2 \text{ch}\gamma l + Z V_2 I_2 \text{sh}\gamma l \quad (22)$$

Prema izrazu (18) snagu prijenosa prikazujemo u obliku

$$P_2 = \frac{V_1 V_2}{Z} = \frac{V_2^2}{Z} \text{ch}\gamma l + V_2 I_2 \text{sh}\gamma l \quad (23)$$

S obzirom na promatranu maksimalnu snagu prijenosa bez prijenosa jalove snage možemo pisati; $P_2 = V_2 I_2$.



Slika 3. Analiza prijenosa prijenosnim vodom: a) određivanje maksimalne snage prijenosa, b) ukupna impedancija prijenosa i c) prijenos snage vodom i njegov valni karakter

Konačan izraz poprima oblik

$$P_2 = \frac{V_2^2}{Z_v} \cdot \frac{\operatorname{ch} \gamma l}{1 - \operatorname{sh} \gamma l} \quad (24)$$

Iz pretpostavke o idealnom kompenzioniranom vodu, literatura [1], njegovim kutevima gubitaka $\delta = \varepsilon$, odnosno uz konstataciju

$$Z_v = \sqrt{\frac{L'}{C'}}, \beta = \omega \sqrt{L'C'},$$

$$\alpha = R' \sqrt{\frac{C'}{L'}} = G' \sqrt{\frac{L'}{C'}} \approx 0 \quad (25)$$

je snaga prijenosa

$$P_2 = \frac{V_2^2}{Z_v} \cdot \frac{\cos \beta l}{1 - j \sin \beta l} \quad (26)$$

Izražavanjem istog izraza u eksponencijalnom obliku i njegovom transformacijom u trigonometrijski oblik izraz ima oblik

$$P_2 = \frac{V_2^2}{Z_v} \cdot \frac{\cos \beta l}{\sqrt{1 + \sin^2 \beta l}} \cdot \cos[\operatorname{arctg}(\sin \beta l)] \quad (27)$$

Nakon provedbe supstitucije (25) isti izraz ima primjenjiviji oblik, a uz nazivni napon V_n predstavlja snagu trofaznog prijenosa,

$$P_2 = \frac{V_n^2}{\sqrt{\frac{L'}{C'}}} \cdot \frac{\cos \omega \sqrt{L'C'} l}{\sqrt{1 + \sin^2 \omega \sqrt{L'C'} l}} \cdot \cos[\operatorname{arctg}(\sin \omega \sqrt{L'C'} l)] \quad (28)$$

Potrebno je dodati da je takva snaga, maksimalna djelatna snaga prijenosa. Izraz omogućava promatranje snage prijenosa zavisne o konstantama voda i njegovoj duljini. Time je ujedno dan odgovor o potrebnim kompenzacijama duž dugog prijenosnog voda. Zanimljivo je zbog daljnjih usporedbi istaknuti i frekventnu zavisnost, što je također u svezi s potrebnim kompenzacijama. Takav problem je istaknut primjenom u idućoj točki.

2.4. Primjer usporedbe izmjeničnog i istosmjernog prijenosa

Zbog dobrog uvida odnosa snaga prijenosa istim trofaznim vodom promatramo prijenosne veličine snage, napona i duljine voda za izmjeničnu i istosmjernu struju. Neka zadani vod ima parametre:

- linijski izmjenični napon 735 kV
- induktivna reaktancija pri 60 Hz, $\omega L' = 0,3697 \text{ } \Omega/\text{km}$
- kapacitivna reaktancija pri 60 Hz, $1/\omega C' = 0,20326 \text{ M}\Omega\text{km}$
- valna impedancija $276,4 \text{ } \Omega$
- prirodno opterećenje 1844 MVA
- istosmjerni otpor voda pri 25°C , $0,0400 \text{ } \Omega/\text{km}$

- izmjenični otpor voda pri 50°C i 50 Hz, $0,0452 \text{ } \Omega/\text{km}$

S obzirom na pretpostavljene uvjete idealnog voda bez gubitaka, otpor izmjeničnog voda iščezava u izrazu za snagu prijenosa. On će se pak s druge strane odraziti na pad napona pa tako i na snagu prijenosa što se posebno ne promatra. Za usporedna promatranja frekvencija 60 i 50 Hz vrijednosti konstanta promatranog voda su kako slijedi:

$$L' = 0,9807 \cdot 10^3 \text{ H/km}; \quad C' = 0,01305 \cdot 10^{-6} \text{ F/km};$$

$$R'_{ac} = 0,0452 \text{ } \dot{\text{U}}/\text{km}; \quad R'_{dc} = 0,0400 \text{ } \dot{\text{U}}/\text{km};$$

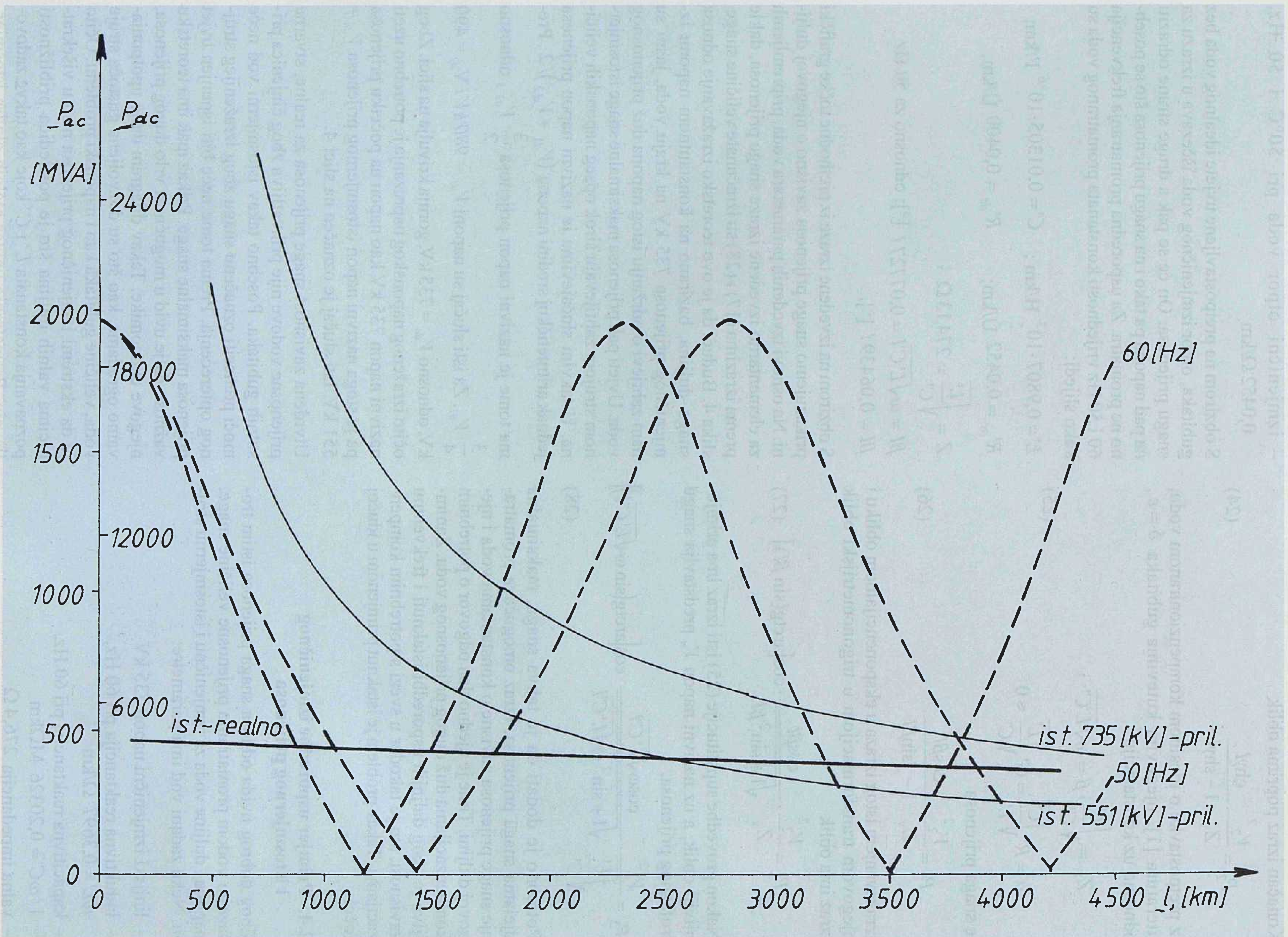
$$Z = \sqrt{\frac{L'}{C'}} = 274,13 \text{ } \Omega;$$

$$\beta l = \omega \sqrt{L'C'} l = 0,07727 l \text{ } [^\circ]; \text{ odnosno za 50 Hz}$$

$$\beta l = 0,06439 l \text{ } [^\circ].$$

S obzirom na izvedene izraze iz prethodne točke grafički prikazujemo snage prijenosa zavisno o njegovoj duljini. Na osnovi izvedenih parametara voda, pripremljenih za elementarno izvedene izraze snage prijenosa, dakle prema izrazima (17) i (28) su izračunate veličine snage, slika 4. Budući da je ovo teoretsko izražavanje odnosa snaga–duljina, bazirano na konstantnom naponu izmjeničnog prijenosa 735 kV na kraju voda, jasni su nam zahtjevi o održanju istog napona duž prijenosnog voda. Uvjeti pak prijenosa maksimalne snage istosmjernom strujom zahtijevaju širok opseg naponskih veličina. U takvim slučajevima je nazivni napon prijenosa jednak aritmetičkoj sredini napona $(V_{d1} + V_{d2})/2$. Prema tome je nazivni napon prijenosa $\frac{3}{2} V_{d2}$, odnosno $\frac{3}{4} V_{d1}$. Za isti slučaj su naponi $V_{d1} = 980 \text{ kV}$ i $V_{d2} = 490 \text{ kV}$, odnosno $V_{dn} = 735 \text{ kV}$, gornja krivulja na slici. Zbog očito izraženog naponskog napreznja je potrebno uzeti nazivni napon 735 kV kao napon na početku prijenosa pa je stoga nazivni napon istosmjernog prijenosa $V_{dn} = 551 \text{ kV}$. Isti slučaj je označen na slici 4.

Utvrđena zavisnost snage prijenosa za realne, stvarne prijenosne vodove nije prihvatljiva zbog činjenica prisutnih gubitaka. Posebno takav istosmjerni vod neće moći prenositi označenu snagu zbog izraženijeg strujnog opterećenja. Prema tome neće biti ispunjen uvjet prijenosa maksimalne snage. Prikaz ipak ima teoretsku važnost, dalje uvid u mogućnost vrlo dugog prijenosa, njegove ekonomike. Takav dijagram dalje upotrijebimo ogradama, kao što su dozvoljena gustoća struje voda, veličine gubitaka kao i naponski problemi. Očito je da ekstremi izmjeničnog prijenosa nisu u višekratnicima valnih duljina što je posljedica približnosti poznavanja konstanta L' i C' koje kao takve zadovoljavaju. Promatranje unutar realnih okvira istosmjernog prijenosa s povećanim naponom $\sqrt{2}V_n$ u odnosu na izmjenični napon daje povećanje snage prijenosa



Slika 4. Zavisnost snage prijenaosa o duljini trostrukog voda za prijenos izmjeničnom i istosmjernom strujom

vidljivo usporedbom omjera istosmjerne i izmjenične snage

$$\frac{3V_d I}{\sqrt{3}V_n I} = \frac{3\sqrt{2}V_n I}{\sqrt{3}V_n I} = \sqrt{6}. \quad (29)$$

Tu se radi o primjeni usporedbe istosmjernog prijenosa vodovima izmjeničnog prijenosa te je snaga istosmjernog prijenosa uzeta za tri vodiča prijenosnog voda, dakle $3V_d I$, kod homopolarnog prijenosa.

Poznavanjem struje izmjeničnog prijenosa koja je jednaka struji istosmjernog prijenosa, konačnu snagu prijenosa računamo prema izrazu (15) i grafički prikazujemo na slici 4. Niti ovakav rezultat se ne postiže u praksi. Obično se prema literaturi [3] izvodi preraspodjela vodiča i voda u kombinaciji s polovima istosmjernog prijenosa, dok je proračun izveden za istovrsne polove po faznim vodičima trofaznog voda.

3. ZAKLJUČAK

Raznovrsnost primjene istosmjernog prijenosa iziskuje poznavanje temeljnih načela prvenstveno u usporedbama s izmjeničnim prijenosom. Očito prednosti istosmjernog prijenosa su dakle veća snaga što upućuje na neizostavno ekonomiziranje, a prikaz daje polazišta usporedbama. Slični primjeri su lako rješivi, dok konačne usporedbe zahtijevaju kompenzacija snage izmjeničnih vodova uz izraženu problematiku stabilnosti njihovog pogona.

LITERATURA:

- [1] F. MANDARIĆ: "Istosmjerne prijenosne veze u sklopu elektroenergetskog sistema", magistarski rad ETF-Zagreb, 1988.
- [2] B. M. WEEDY: "Electric Power Systems", John Wiley & Sons, New York, 1983.

[3] F. G. DONALD, H. W. BEATY: "Standard Handbook for Electrical Engineers", 12th Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 1987.

[4] H. G. UNGER: "Elektromagnetische Wellen auf Leitungen", 2. Auflage, Hüthig, Heidelberg, 1986.

BASIC THEORETICAL FACTS ON A.C. AND D.C. TRANSMISSION LINES

In the paper, voltage and current contribution to transmission by a.c. and d.c. lines is given from the theoretical assumption of transmission. Technical-economic comparison of transmission power is stressed. Comparison is given using graphical illustration.

THEORETISCHE GRUNDSÄTZE DER ENERGIEÜBERTRAGUNG MITTELS WECHSEL- UND GLEICHSTROMLEITUNGEN

Aus den theoretischen Grundsätzen wurde der Spannungs- und Strombeitrag der Energieübertragung mittels Wechsel- und Gleichstromleitungen veranschaulicht. Dies ist als Ausgangspunkt zu den technisch-wirtschaftlichen Vergleichen der Kraftübertragung hervorgehoben worden. Der Vergleich mit der graphischen Darstellung ist als Beispiel dargereicht.

Naslov pisca:

**Mr. sc. Filip Mandarić, dipl. ing.
Kukočeva 4, 21000 Split, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:

2002 – 06 – 27.