

OPREMA I ANALIZA KARAKTERISTIČNIH REŽIMA 35kV NADZEMNOG VODA KOPA DRMNO

M. Stanković, PD TE-KO „PK Kostolac“, Kostolac, Srbija
R. Cvejić, PD TE-KO „TE Kostolac“, Kostolac, Srbija
K. Zorić, PD TE-KO „PK Kostolac“, Kostolac, Srbija

UVOD

Razvojem kopa „Drmno“ do 2014. godine predviđeno je povećanje proizvodnje uglja sa 6,5 na 9 miliona tona, čime je povećan bilans snaga elektroenergetskog opterećenja kopa. Optimalno rešenje za zadovoljenje porasta ovog opterećenja bila je izgradnja novog izvora na 35 kV naponu, koji je sa potrebnim brojem mobilnih trafostanica 35/6 kV odgovarajuće snage, koje su locirane bliže potrošačima. Zbog toga je izvršena rekonstrukcija u okviru trafostanice 35/6 kV „Rudnik“. Rekonstrukcijom je omogućeno ukidanje privremenog 35kV razvodnog postrojenja. Nastavljeni su kablovski vodovi, koji su bili priključeni na privremeno 35 kV razvodno postrojenje a dolaze iz trafostanice „Drobilica“ i TE „Kostolac“, i produženi do trafostanice „Rudnik“. Napajanje površinskog kopa „Drmno“ iz trafostanice 35/6 kV „Rudnik“ omogućeno je izgradnjom 35 kV kablovsko–nadzemnog voda. Prva deonica nadzemnog voda je dužine 4 km i završava se na granici površinskog kopa, ne ulazeći u zonu kopa. Druga deonica se premešta u saglasnosti sa napredovanjem površinskog kopa, odnosno kako se pomera mobilna trafostanica 35/6 kV koja napaja potrošače površinskog kopa. Mobilna trafostanica 35/6 kV je na sankama i locirana je kod krajnjeg stuba nadzemnog voda.

1. OSNOVNE KARAKTEISTIKE OPREME NADZEMNOG VODA

Napajanje dodatnih potrošača na objektima odvodnjavanja i otkrivke uglja kopa „Drmno“ izvedeno je putem prenosne 35kV mreže i transformacije 35/6/0.4kV, Gledović (1). Mreža je izvedena nadzemnim vodom 35kV sa provodnicima $A \ell / \check{c}$ 3 x 95/15mm². Vod je urađen bez zaštitnog užeta, jer se kablovski priključuje na trafostanice, na oba kraja. Prečnik faznih provodnika iznosi 13.6 mm. Trasa voda od stuba br. 1 do stuba br.18 je pored transportne trake za ugalj na udaljenosti od 15 m. Odstupanje je samo na ukrštanju sa dva dalekovoda 110 kV, gde je trasa više udaljena od trake i postavljena je blizu stubova dalekovoda 110 kV. Izgled dela trase 35 kV nadzemnog voda prikazan je na slici 1.

Posle podvlačenja ispod dva 400 kV dalekovoda i dva 110 kV dalekovoda, trasa prelazi preko transportne trake i ide, sada sa njene druge strane, do stuba br.28. Od ovog stuba trasa ponovo prelazi transportnu traku i ulazi u zonu površinskog kopa „Drmno“. Od stuba br.30 do stuba br.41, će se po potrebi premeštati, kako napreduje površinski kop. Zbog toga je predviđeno, da stub br.30 ima mogućnost da primi opterećenje kao krajnji stub. Sledećih 10 stubova su bez temelja (ukopavaju se 2.4m) kako bi se

Milutin Stanković, Rosica Cvejić, Kosta Zorić, „PD TE-KO Kostolac“ 12 208 Kostolac
milutin.stankovic@te-ko.rs; rosica.cvejic@te-ko.rs; kosta.zoric@te-ko.rs

mogli premeštati. Krajnji stub br.41 je lociran kod mobilne trafostanice 35/6 kV (MO1). Izgled krajnjeg stuba i kablovskog priključka na 35kV nadzemni vod dat je na slici 2.

Stubovi nadzemnog voda su metalni, cilindrično konusni, pocinkovani, propisno uzemljeni, sa gornjom jednostranom konzolom za jedan provodnik i dvostrukom donjom konzolom za dva provodnika što je prikazano na slici 3. Visina stabla, dimenzije glave stuba i sile kojima su stubovi opterećeni (zatezanje u provodnicima) određeni su prema uslovima na trasi. Za svaki tip stuba sračunate su sile u tačkama vešenja provodnika za koje su uzeti podaci najnepovoljnije opterećenog stuba tog tipa, i sračunate vršne sile. Na osnovu toga je izvršen izbor stabala i opremanje stubova i određeni uslovi za temeljenje, transport i ugradnju stubova. Visine stubova su od 16 do 30 m. Ugaono-zatezni stubovi imaju betonske temelje a noseći linijski stubovi su samo ukopani.

Za nošenje provodnika korišćeni su štapni jednostruki i dvostruki izolatori. Za osnovnu izolaciju na dalekovodu izabran je izolatorski lanac sastavljen od jedinice štapnog izolatora tip L70 BE 310. Za električno pojačanu izolaciju usvojen je izolatorski lanac sa štapnim izolatorom tip L70 BE 380, a za mehanički pojačanu izolaciju dvostruki izolatorski lanac. Provodnici su na nosećim izolatorima, pričvršćeni pomoću nosećih stezaljki, a na zateznim izolatorima pomoću klinastih stezaljki za aluminijum-čelično užje. Izolatori su učvršćeni za konzole stuba preko nosača zastavice.

Na ukrštanju dalekovoda sa dva 400 kV dalekovoda i sa dva 110 kV dalekovoda, u ukrštajnim rasponima urađen je horizontalan raspored provodnika, tako što se gornji provodnik zateže preko konzole za opštu namenu, koja se, sa strane ukrštajnog raspona, postavlja na stablo stuba, u nivou donje konzole. Sa druge strane sva ta četiri stuba, takođe je postavljena konzola za opštu namenu, na stablo stuba, u nivou gornje konzole. Strujni most gornje (srednje) faze prevodi se preko nosećeg izolatorskog lanca, koji se montira na gornju konzolu.



Slika 1. Izgled dela trase 35 kV nadzemnog voda

Milutin Stanković, Rosica Cvejić, Kosta Zorić, „PD TE-KO Kostolac“ 12 208 Kostolac
milutin.stankovic@te-ko.rs; rosica.cvejic@te-ko.rs; kosta.zoric@te-ko.rs



Slika 2: Izgled krajnjeg stuba i kablovskog priključka na 35kV nadzemni vod



Slika 3. Izgled stuba 35 kV nadzemnog voda

2. KORONA

Korona, odnosno jonizacija vazduha u okolini faznih provodnika nadzemnog voda, se pojavljuje u slučajevima kada električno polje na površini faznog provodnika postane veće od kritičnog električnog polja za vazduh. Korona kao pojava je stabilna, jer jonizovani vazduh u okolini postaje provodan i time u elektrostatičkom smislu povećava prečnik provodnika čime se električno polje na površini takvog provodnika smanjuje i dalja jonizacija vazduha prestaje. Kako korona izaziva štetne posledice, jer povećava gubitke aktivne snage i izaziva radio smetnje treba je u nominalnom režimu rada mreže sprečiti. Da bi se sprečila pojava korone na 35 kV vodu, u nominalnom režimu rada, minimalni prečnik faznog provodnika mora da iznosi, Đurić (2):

$$d(cm) = \frac{U_{kr}(kV)}{90}$$

gde je:

$d(cm)$ – minimalni prečnik faznog provodnika,

U_{kr} - kritična vrednost međufaznog napona 35 kV voda sa aspekta korone.

Na osnovu prethodnog izraza minimalna vrednost prečnika faznog provodnika iznosi $d = 0.422cm$. Kako je prečnik provodnika, izabranog preseka provodnika, napojne 35 kV mreže kopa „Drmno“ $13.6 > 4.22$ mm, osnovni uslov sprečavanje pojave korone je ispoštovan, pa će mreža u nominalnom režimu da radi bez pojave korone.

Koronu nemožemo izbeći u uslovima pojave munje. U tom slučaju korona kao pojava ima pozitivan efekat, jer prigušuje energiju udarnog naponskog talasa i smanjuje mu amplitudu.

3. KARAKTERISTIČNI REŽIMI 35 kV VODA

Za sagledavanje prilika na nadzemnom 35 kV vodu kopa „Drmno“ dovoljno je posmatrati nekoliko karakterističnih režima. Pretpostavićemo idealizovani vod modelovan sa raspodeljenim parametrima. Vod idealizujemo i pri tom dobijamo dovoljno tačne podatke, jer pri kružnoj učestanosti ω , parametri 35 kV voda, prečutno, zadovoljavaju uslov:

$$R \ll \omega L ; G \ll \omega C$$

gde su:

R - podužna otpornost voda,

ωL - podužna reaktansa voda,

G - podužna odvodnost voda, zavisna od korone i zaprljanosti izolatora napojne mreže,

ωC - podužna kapacitivna provodnost voda.

Dosta tačniji rezultati za tretiranje voda kao idealizovani dobijaju se za vodove višeg naponskog nivoa, međutim i za naponski nivo 35 kV dobijamo dovoljno tačne rezultate za sagledavanje prilika na vodu.

3.1. Režim praznog hoda

Za režim praznog hoda važe sledeće relacije:

$$U_1 = U_2 \cdot \cos \lambda$$
$$I_1 = j \frac{U_2}{Z_c} \cdot \sin \lambda$$

Gde su:

U_1 - napon na početku voda, postrojenje 35/6kV „Rudnik“ Kostolac,

U_2 - napon na kraju voda, mobilna trafostanica 35/6kV na kopu „Drmno“,

I_1 - struja na početku voda,

Z_c - karakteristična impedansa voda. Za posmatrani idealizovani vod ona je čisto aktivna komponenta i

iznosi $Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}}$, gde je L - induktivnost voda, a C - kapacitivnost posmatranog voda,

λ - električna ugaona dužina voda, i iznosi $\lambda = \beta \cdot \ell = 0.24$, gde je $\beta = 0.06 (^{\circ}/km)$ - fazna konstanta idealizovanog voda, a $\ell = 4km$, dužina voda.

Ako napon na kraju voda izaberemo za referentni, odnosno sa početnom fazom jednakom nuli, tada sledi:

$$U_2 = \frac{U_1}{\cos \lambda}$$

što znači da je napon na kraju voda veći od napona na početku voda. Ova pojava poznata je kao Ferantijev efekat. Posledica povećanja napona u režimu praznog hoda je postojanje reaktivne snage, zbog kapacitivnog karaktera voda:

$$S_1 = U_1 \cdot I_1^* = -j \frac{U_1^2}{Z_c} \cdot \operatorname{tg} \lambda = -jQ$$

gde su:

S_1 - prividna snaga na početku voda,

I_1^* - konjugovana vrednost struje na početku voda,

$Q = \frac{U_1^2}{Z_c} \cdot \text{tg} \lambda$ - je kapacitivna reaktivna snaga punjenja voda u praznom hodu koja kod dužih vodova može imati znatne vrednosti.

Kako se u našem slučaju radi o veoma kratkom vodu, napon na kraju voda je, u posmatranom režimu praznog hoda, neznatno veći od napona na početku voda i iznosi, $U_2 = 1,001 \cdot U_1$ što obezbeđuje pouzdan rad opreme u postrojenju mobilne trafo stanice 35/6kV na kopu „Drmno“.

3.2. Režim prenosa prirodne snage nadzemnim vodom

Režim voda u kome je njegova krajnja tačka zatvorena karakterističnom impedansom naziva se još i režimom prenosa prirodne snage. Kada je vod na svom kraju zatvoren karakterističnom impedansom važi odnos: $I_2 = U_2/Z_c$, gde je I_2 struja na kraju voda pa se za napon i struju na početku voda, uz usvajanje fazora U_2 za referentni, dobijaju sledeći izrazi:

$$U_1 = I_2 \cdot Z_c (\cos \lambda + j \sin \lambda) = I_2 \cdot Z_c \cdot e^{j\lambda}$$

$$I_1 = \frac{U_2}{Z_c} (\cos \lambda + j \sin \lambda) = \frac{U_2}{Z_c} \cdot e^{j\lambda}$$

U režimu prenosa prirodne snage, prividna snaga na početku voda jednaka je:

$$S_1 = U_1 \cdot I_1^* = I_2 \cdot Z_c \cdot e^{j\lambda} \cdot \frac{U_2}{Z_c} \cdot e^{-j\lambda} = I_2 \cdot U_2 = P_{nat}$$

gde je P_{nat} - prirodna snaga.

U režimu prenosa prirodne snage kod idealizovanog voda moduli napona i struja duž voda se ne menjaju jer je slabljenje jednako nuli. Javlja se samo fazni pomeraj između istoimenih veličina u različitim tačkama voda koji je jednak električnoj ugaonoj dužini deonice voda definisane posmatranim tačkama. Struja i napon u svakoj tački voda su u fazi. Kod idealizovanog voda prividne snage u svim tačkama su jednake prirodnoj snazi koja je po prirodi aktivna i jednaka:

$$S_1 = P_{nat} = \frac{U_1^2}{Z_c} = \frac{U_x^2}{Z_c} = \frac{U_2^2}{Z_c}$$

gde je U_x - napon u bilo kojoj tački voda.

Kod realnih vodova prirodna snaga je kompleksna (sa malom reaktivnom komponentom) ali se u praktičnim razmatranjima smatra da je aktivna. Vrednost prirodne snage za posmatrani 35 kV vod iznosi 3.06 MW (karakteristična impedansa 35 kV voda iznosi 400 Ω).

Naime, ukoliko bi impedansa potrošača kopa bila jednaka karakterističnoj impedansi voda (400 Ω), vodom bi se prenosila snaga bez gubitaka maksimalne vrednosti od 3.06 MW (propusna moć dalekovoda je caa 20 MW).

3.3 Prenos aktivne snage idealizovanim vodom

Pri prenosu aktivne snage vod je zatvoren aktivnom otpornošću R , te je $I_2 = U_2/R$, ako se usvoji da je fazor U_2 referentni. Relacije za izračunavanje napona i struje na početku voda u ovom slučaju su:

$$U_1 = U_2 \left(\cos \lambda + j \frac{Z_c}{R} \sin \lambda \right)$$

$$I_1 = I_2 \left(\cos \lambda + j \frac{R}{Z_c} \sin \lambda \right)$$

odakle sledi prividna snaga na početku voda:

$$S_1 = U_1 \cdot I_1^* = P_2 + j \frac{P_2}{2} \left[\frac{Z_c}{R} - \frac{R}{Z_c} \right] \cdot \sin 2\lambda = P_1 + jQ_1$$

Aktivna snaga jednaka je na oba kraja jer nema gubitaka aktivne snage duž idealizovanog voda. Reaktivna snaga na početku voda zavisi od aktivne snage koja se prenosi vodom. Kod posmatranog 35 kV voda, $\sin 2\lambda > 0$ pa, znak reaktivne snage Q_1 zavisi od odnosa R/Z_c . Ako je $R = Z_c$ sledi $P_2 = P_{nat}$ i $Q_1 = 0$, što znači da bi vodom prenosili čisto aktivnu snagu bez gubitaka. Pri $R > Z_c$ je $P_2 < P_{nat}$ i $Q_1 < 0$, odnosno reaktivna snaga na početku voda je kapacitivnog karaktera te se vod ponaša kao izvor kapacitivne reaktivne snage Q_1 . Ako je $R < Z_c$ tada su $P_2 > P_{nat}$ i $Q_1 > 0$, odnosno reaktivna snaga Q_1 je induktivnog karaktera te se vod ponaša kao pretežno induktivni potrošač za izvor napona U_1 . Maksimalna aktivna snaga koja se može preneti kroz idealizovani vod pri $U_1 = \text{const}$ je:

$$P_{2\max} = \frac{U_1^2}{Z_c \cdot \sin 2\lambda}$$

i u našem slučaju iznosi 365 MW, odnosno maksimalna preneti aktivna snaga vodom bila bi ograničena sa prapušnom moći dalekovoda, odnosno sa postojećom snagom u trafostanici „Rudnik“ 35/6 kV.

3.4. Prenos reaktivne snage idealizovanim vodom

U ovom slučaju vod je zatvoren induktivnom ili kapacitivnom reaktansom x (induktivna reaktansa je pozitivna $x > 0$) a kapacitivna je negativna $x < 0$, te je struja I_2 jednaka:

$$I_2 = \frac{U_2}{jX} = -j \frac{U_2}{X}$$

Relacije za izračunavanje napona i struje za slučaj kada je vod zatvoren induktivnom reaktansom sada daju sledeće izraze:

$$U_1 = U_2 \left(\cos \lambda + \frac{Z_c}{X} \sin \lambda \right)$$

$$I_1 = I_2 \left(\cos \lambda - \frac{X}{Z_c} \sin \lambda \right)$$

odakle sledi prividna snaga na početku voda:

$$S_1 = U_1 I_1^* = j \frac{U_2^2}{X} \left[\cos 2\lambda + \frac{\sin 2\lambda}{2} \left(\frac{Z_c}{X} - \frac{X}{Z_c} \right) \right] = jQ_1$$

$$Q_1 = Q_2 \left[\cos 2\lambda + \frac{\sin 2\lambda}{2} \left(\frac{Z_c}{X} - \frac{X}{Z_c} \right) \right]$$

Ulazna reaktivna snaga voda Q_1 može biti istog ili suprotnog znaka u odnosu na izlaznu reaktivnu snagu Q_2 i jednaka je nuli ako je ispunjen uslov $X = Z_c/\operatorname{tg}\lambda$. Maksimalna induktivna snaga koja se može preneti kroz nadzemni vod pri $U_1 = \text{const}$ je:

$$Q_{2\max} = \frac{U_1^2}{Z_c \cdot 2 \cdot \sin 2\lambda}$$

Vidi se da prenosna moć idealizovanih vodova po reaktivnoj snazi nikad nije manja od $P_{\text{nat}}/2$. Odnosno, kada bi to propusna moć dalekovoda dozvoljavala, vodom bi bilo moguće maksimalno preneti reaktivnu snagu induktivnog karaktera u iznosu od 128,5 MVAR-a.

ZAKLJUČAK

Na osnovu sagledavanja prilika na nadzemnom 35 kV vodu, za napajanje dodatnih potrošača na objektima odvodnjavanja i otkrivke uglja kopa „Drmno“, konstatovano je pre svega da je ispoštovan uslov za sprečavanje pojave korone u nominalnim uslovima rada voda. Ovo je veoma bitno, jer korona stvara nepotrebne gubitke aktivne snage u prenosu, a i izaziva radio smetnje.

Razmatranjem karakterističnih režima na vodu proverene su naponske prilike i tokovi snage na vodu. U režimu praznog hoda, zbog veoma male dužine voda, napon na kraju voda se neznatno povećava (0.1%) u odnosu na napon na početku voda, što omogućava pouzdan rad opreme u mobilnom postrojenju 35/6 kV kopa „Drmno“.

Kada su tokovi snaga u pitanju pokazano je, što je značajno, da bi se 35 kV vodom prenosila aktivna snaga bez gubitaka za slučaj jednakih vrednosti impedanse potošača i karakteristične impedanse voda. Analizom tokova aktivne i reaktivne snage pokazano je i to, da se izvedenim 35 kV vodom mogu preneti zahtevane aktivne i reaktivne snage za napajanje rudarskih objekata na kopu „Drmno“.

LITERATURA

1. Gledović I, 2006, „Projekat izvedenog objekta DV 35 kV od TS „Rudnik“ do TS „MO1“, Kopovi Kostolac, Kostolac“,
2. Đurić M, 1995, „Elementi elektroenergetskog postrojenja“, ETF Beograd, Beograd
3. Harrison J. A, 1996, „The essence of Electric Power Systems“, University of Liverpool

Ključne reči: nadzemni vod, cilindrično-konusni stub, karakteristični režimi voda, korona, prirodna snaga.