

VEŽBA BR. 1

Snimanje naponske i ugaone karakteristike voda

Zadatak vežbe je da se razmotre različiti režimi na vodu i da se na osnovu toga izračunaju karakteristične veličine voda. Biće diskutovani prenosi prirodne i maksimalne snage kao i prazan hod.

Teorijski uvod

Vodovi predstavljaju jedne od najvažnijih elemenata elektroenergetskog sistema. Oni čine sponu između proizvodnih i potrošačkih jedinica. Bez njih, praktično nema prenosa električne energije do krajnjih potrošača. Nadzemni vodovi se koriste za dugačka rastojanja, dok su skuplji kablovi neizbežni u gradskim sredinama gde nema prostora za postavljanje stubova.

Za idealizovan vod, karakteristična impedansa (Z_c) je čisto rezistivna. Izrazi za napon i struju na početku voda su (jednačine telegrafičara):

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_2 \cdot \cos(\lambda_e) + j \underline{I}_2 \cdot Z_c \cdot \sin(\lambda_e) \quad (1.1)$$

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_2 \cdot \cos(\lambda_e) + j \frac{\underline{U}_2}{Z_c} \cdot \sin(\lambda_e) \quad (1.2)$$

Ukoliko se razmatra **prazan hod**, treba smatrati da je struja na drugom kraju voda jednaka nuli ($\underline{I}_2=0$). Pri takvom stanju, iz izraza (1.1) dobija se sledeće:

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_2 \cdot \cos(\lambda_e) \quad (1.3)$$

Zaključak je da je pri režimu praznog hoda, napon na otvorenom kraju voda veći od napona na početku voda. Ova pojava je poznata kao „Ferantijev efekat”. Efekat je izraženiji za duže deonice vodova.

Drugi karakterističan režim jeste **prenos prirodne snage** vodom. To znači da je vod zatvoren impedansom koja je jednaka njegovoj karakterističnoj impedansi.

$$Z_c = \frac{U_2}{I_2} \quad (1.4)$$

Zamenom izraza (1.4) u (1.1), dobija se konačan izraz za napon na početku voda.

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_2 \cdot \cos(\lambda_e) + j \underline{U}_2 \cdot \sin(\lambda_e) \quad (1.5)$$

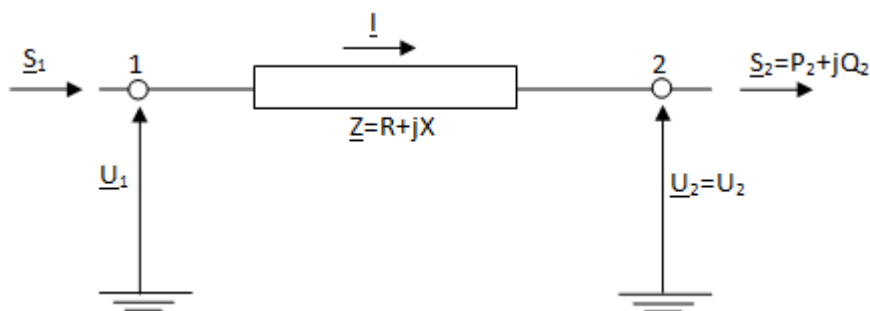
Odnosno:

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_2 \cdot e^{j\lambda_e} \quad (1.6)$$

Jasno je da bi u ovom slučaju naponi na početku i na kraju voda bili iste amplitude, ali fazno pomereni za ugao λ_e (električna ugaona dužina voda).

Poslednji režim koji se razmatra je **prenos maksimalne snage**. Promenom potrošnje na kraju voda, menja se i napon u toj tački.

Na Slici 1.1 prikazan je model voda koji čini samo radna impedansa. Pretpostaviti da se fazor napon \underline{U}_2 poklapa sa realnom osom.



Slika 1.1: Šema sa zadavanja napona i snage na istom kraju voda

Sa slike 1.1, može se jednostavno napisati jednačina za pad napona na rednoj impedansi voda, te izraz za struju na osnovu poznatih veličina u tački 2.

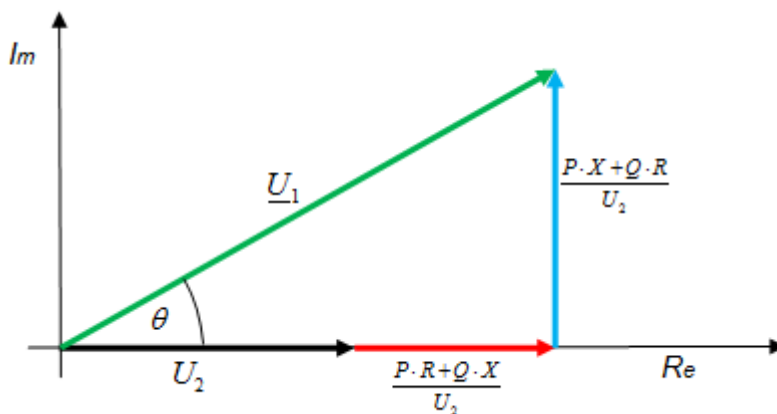
$$\underline{I} = \left(\frac{\underline{S}_2}{\underline{U}_2} \right)^* = \frac{P - jQ}{U_2} \quad (1.7)$$

$$\underline{U}_1 - U_2 = \underline{I} \cdot (R + jX) \quad (1.8)$$

Zamenom izraza (1.7) u (1.8) dobija se izraz za fazor napona u tački 1.

$$\underline{U}_1 = U_2 + \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_2} + j \frac{P \cdot X - Q \cdot R}{U_2} \quad (1.9)$$

Primećuje se da se fazor napona u tački 1, sastoji od zbira tri vektora. Ukoliko se nacrtaju fazorski dijagram ova tri vektora, dobija se stanje kao na Slici 1.2.



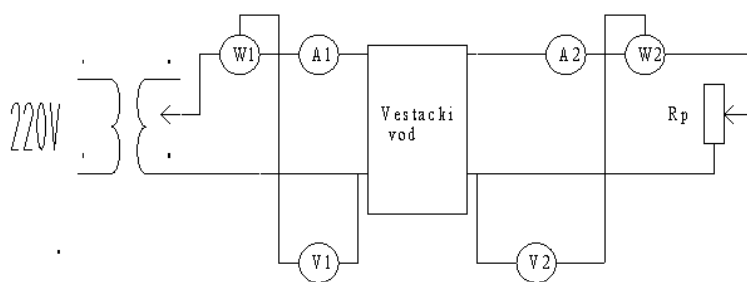
Slika 1.2: Fazorski dijagram napona

Za idealizovane vodove, kakvim se mogu smatrati visokonaponski vodovi, smatra se da je redna rezistansa u grani voda jednaka nuli ($R=0$), odnosno da je mnogo manja od reaktanse X . Zbog toga se članovi u izrazu 1.9 uz R mogu zanemariti. Gledajući Sliku 1.2, uočava se da će fazni stav između napona \underline{U}_1 i \underline{U}_2 prvenstveno zavisi od veličine aktivne snage koja se prenosi vodom. Sa druge strane, moduo napona \underline{U}_1 prvenstveno zavisi od veličine reaktivne snage koja se prenosi duž voda. Zbog toga se usvajaju dve zavisnosti u elektroenergetskom sistemu: $P \sim \theta$ i $Q \sim U$.

Može se zaključiti, pod ovakvim pretpostavkama, da je smer aktivne snage po grani uvek od onog čvora gde fazor napona prednjači. Sa druge strane, smer reaktivne snage po grani je uvek od čvora gde je moduo napona veći.

Šema veza

Veštački model voda se sastoji od redno-paralelne veze induktiviteta i kapaciteta. Formirani model predstavlja jednu fazu voda. Vod se napaja uz pomoć regulacionog transformatora, a sa druge strane nalazi se rezistivni potrošač sa klizačem. Struje, naponi i aktivne snage se mere na početku i na kraju voda. Na Slici 1.3. prikazana je šema veza.



Slika 1.3. Šema veza uređaja za merenje

Elementi na slici

A₁ i A₂-ampermetri 1 i 2 respektivno

V₁ i V₂-voltmetri 1 i 2 respektivno

W₁ i W₂-warmeometri 1 i 2 respektivno

R_p- promenljivi otpornik

Postupak pri radu

Napon na početku voda treba podesiti na vrednost od 25 V.

Prvi zadatak vežbe jeste da se odrede karakteristični parametri voda kao što su električna ugaona dužina voda i karakteristična impedansa voda. Prvi pomenuti parametar se određuje iz karakterističnog režima praznog hoda. Klizni otpornik na kraju voda se isključi i izmere se naponi na početku i na kraju voda. Popuniti Tabelu 1.1.

Do vrednosti za karakterističnu impedansu voda dolazi se pomoću oglada prenosa prirodne snage. Klizni otpornik treba podesiti da ima vrednost jednaku karakterističnoj impedansi voda. Klizač na otporniku treba pomerati sve dok se naponi na početku i na kraju voda ne izjednače po modulu. U takvom stanju potrebno je očitati struju na kraju voda i tako uzračunati karakterističnu impedansu voda. Popuniti Tabelu 1.2.

U poslednjem koraku, potrebno je detektovati prenos maksimalne snage duž datog voda. Pomoću kliznog otpornika menjati otpornost tako da se u svakom koraku uspostavi struja data u Tabeli 1.3.. Takođe, za svako merenje je potrebno odrediti i fazni pomeraj između napona na početku i na kraju voda, pomoću osciloskopa. Popuniti Tabelu 1.3.

Za svako od tri pomenuta stanja treba slikati i priložiti snimak napona na početku i na kraju voda, sa osciloskopa.

Rezultati

Tabela 1.1: Električna ugaona dužina voda λ_e :

U_1 [V]	U_2 [V]	λ_e [°]
25		

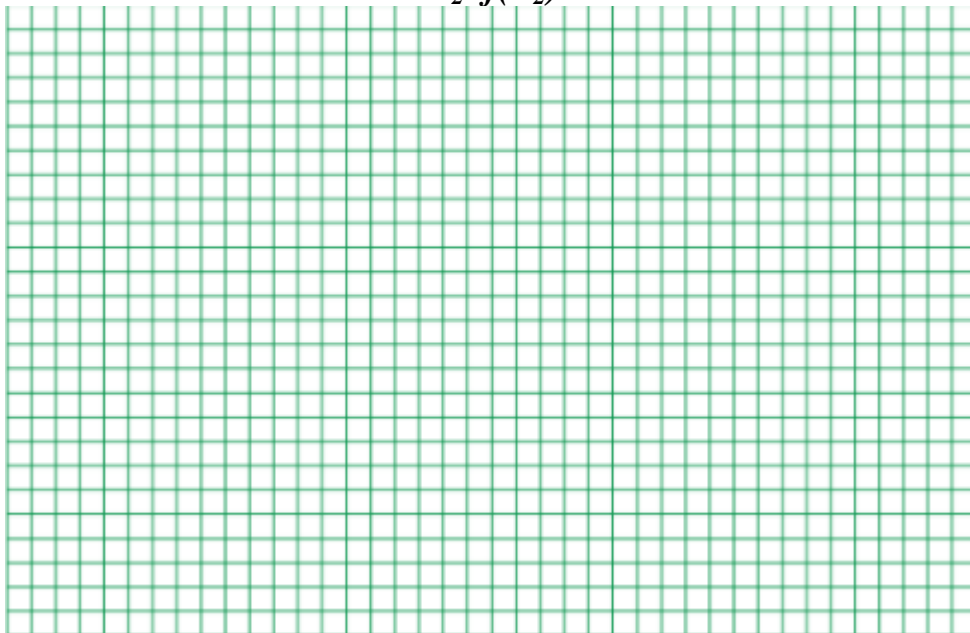
Tabela 1.2: Karakteristična impedansa voda Z_C :

U_2 [V]	I_2 [A]	Z_C [Ω]
25		

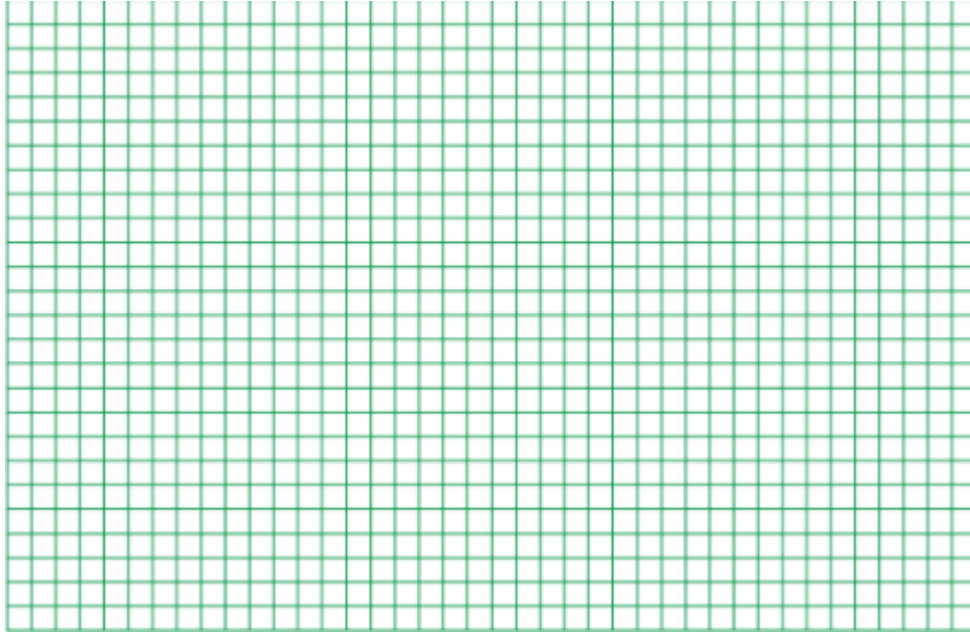
Tabela 1.3: Snimanje karakteristike $U_2=f(P_2)$ i $P_2=f(\theta)$

U_1 [V]	I_2 [A]	U_2 [V]	P_2 [VA]	θ [°]
25	0,28			
25	0,30			
25	0,32			
25	0,34			
25	0,36			
25	0,38			
25	0,4			
25	0,42			
25	0,44			
25	0,46			
25	0,48			
25	0,5			

$$U_2=f(P_2)$$



$$P_2=f(\theta)$$



Pitanja i zaključak

- Šta znači termin „idealizovan vod”? Kakvi su smerovi aktivnih i reaktivnih snaga po takvim vodovima?
- Šta je konstanta prostiranja voda, konstanta slabljenja i fazna konstanta? U opštim brojevima (zavisnost od L , C i ω) izraziti konstantu slabljenja i faznu konstantu za idealizovane vodove.
- Gledajući sliku 1.2, izvesti izraze za aktivnu i reaktivnu snagu na početku i na kraju voda u funkciji od: U_1 , U_2 , R , X i θ . Koliki su gubici aktivne i reaktivne snage na vodu?

(Jedno rešenje: $P_1 - P_2 = R \frac{U_1^2 + U_2^2 - 2U_1U_2 \cos \theta}{Z^2} = RI^2$)

U kratkim crtama prokomentarisati izraze za aktivne i reaktivne snage, izvedene pod stavkom c, za idealizovane vodove: