

## VEŽBA BR. 3

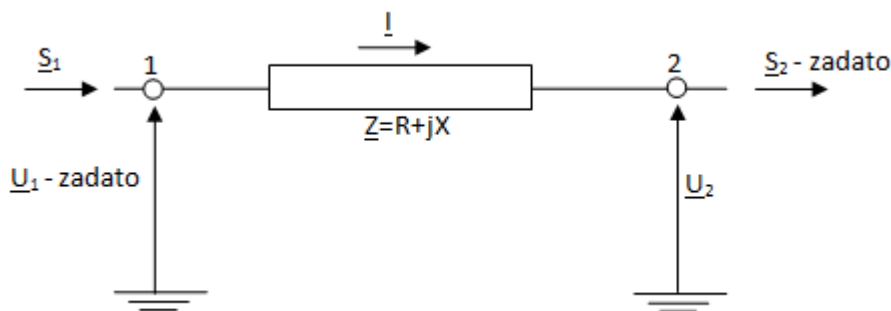
### Prenos maksimalne snage kroz vod

U vežbi će biti dat osvrt na proračun maksimalne snage koja se može preneti duž voda. Biće diskutovane razlike prenosa aktivne i reaktivne snage kroz reaktansu i rezistansu, odnosno kakav uticaj na maksimalnu snagu ima postojanje rezistanse u rednoj grani voda.

#### Teorijski uvod

Za svaki čvor (tačku) elektroenergetskog sistema definiše se napon i snaga koja ulazi u čvor odnosno izlazi iz čvora. Cilj svakog proračuna jeste da se, na osnovu poznatih veličina, ustanovi kolike su vrednosti preostalih veličina, odnosno da se izračunaju nepoznati napon i snaga.

Na Slici 2.1 prikazan je model voda sa primerom unakrsnog zadavanja napona i snage na krajevima voda.



Slika 2.1: Ukršteno zadavanje napona i snage

Ako su zadati napon  $\underline{U}_1$  i snaga  $\underline{S}_2$  potrebno je odrediti napon  $\underline{U}_2$ . Polazeći od izraza  $\underline{U}_1 = \underline{U}_2 + \underline{Z}\underline{I}$  i ako se za referentni napon izabere napon  $\underline{U}_1 = U_1$ , a napon  $\underline{U}_2$  napiše kao kompleksan broj:  $\underline{U}_2 = a_2 + jb_2$ , sledi:

$$U_1 - \underline{U}_2 = U_1 - a_2 - jb_2 = \underline{Z} \frac{\underline{S}_2^*}{\underline{U}_2^*} = (R + jX) \frac{P_2 - jQ_2}{a_2 - jb_2} \quad (2.1)$$

Razdvajanjem realnog i imaginarnog dela dobijaju se izrazi:

$$b_2 = \frac{RQ_2 - XP_2}{U_1} \quad (2.2)$$

$$U_1 a_2 - a_2^2 - b_2^2 - RP_2 - XQ_2 = 0 \quad (2.3)$$

Jednoznačno je određen imaginarni deo, dok realan deo nema eksplicitnu formu. Zamenom (2.3) u (2.2) dobija se kvadratna jednačina po realnoj komponenti napona  $\underline{U}_2$ , čijim se rešavanjem dobija:

$$a_2 = \frac{U_1}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{U_1}{2}\right)^2 - \left(\frac{RQ_2 - XP_2}{U_1}\right)^2 - RP_2 - XQ_2} \quad (2.4)$$

Postavljeni problem nije jednoznačno rešiv jer realna komponenta napona  $\underline{U}_2$  ima dve vrednosti pri jednoj vrednosti prividne snage  $\underline{S}_2$ . Problem je nelinearan jer je snaga proizvod napona i struje. Najmanja vrednost potkorene veličine u (2.4) jeste nula.

$$\left(\frac{U_1}{2}\right)^2 - \left(\frac{RQ_2 - XP_2}{U_1}\right)^2 - RP_2 - XQ_2 = 0 \quad (2.5)$$

Iz (2.5) se pri  $U_1 = \text{const.}$  mogu odrediti maksimalne vrednosti za  $P_2$  i  $Q_2$  (ako je poznat njihov odnos) koje se mogu preneti kroz vod. Skup rešenja je beskonačan jer se za svaki odnos  $P_2/Q_2$  dobijaju druge vrednosti za  $U_2$ . Znak ispred korena u izrazu (2.4) zavisi od impedanse kojom je vod zatvoren na svom desnom kraju. U režimima koji su bliski normalnim radnim režimima treba uzimati znak (+) jer se sa znakom (-) dobijaju niski naponi koji odgovaraju poremećenim radnim režimima i kratkim spojevima.

Da bi se proučio prenos aktivne snage kroz rednu impedansu u izraz (2.5) treba staviti  $Q_2=0$ , te sledi:

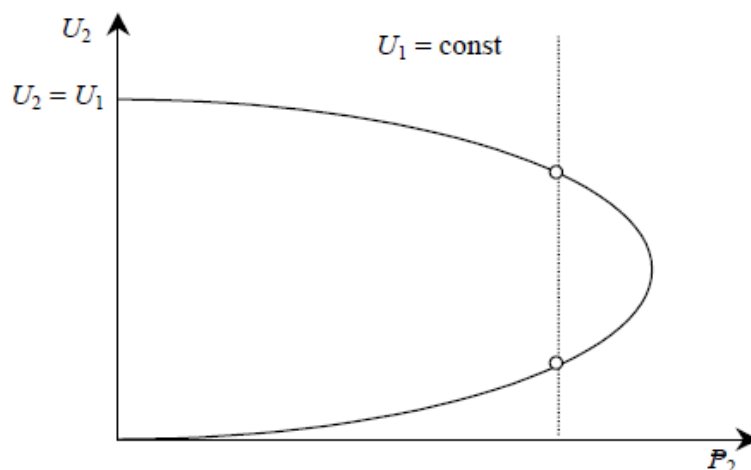
$$P_{2\max} = \frac{U_1^2}{2\left(R + \sqrt{R^2 + X^2}\right)} \quad (2.6)$$

Na sličan način, dolazi se do izraza za maksimalnu reaktivnu snagu, kada je  $P_2=0$ :

$$Q_{2\max} = \frac{U_1^2}{2\left(X + \sqrt{R^2 + X^2}\right)} \quad (2.7)$$

**Kada su impedanse voda i potrošača raznorodne ukupna impedansa kola je vektorski zbir pojedinih impedansi. Kada su impedanse voda i potrošača istorodne, ukupna impedansa kola je skalarni zbir pojedinih impedansi. Skalarni zbir je veći od vektorskog, što daje odgovor na pitanje zašto je kroz pretežno induktivan vod lakše prenositi aktivnu snagu.**

Na Slici 2.2 prikazana je zavisnost modula napona  $U_2$  od snage  $P_2$  kada je  $Q_2=0$ .



Slika 2.2: Zavisnost modula napona  $U_2$  od snage  $P_2$

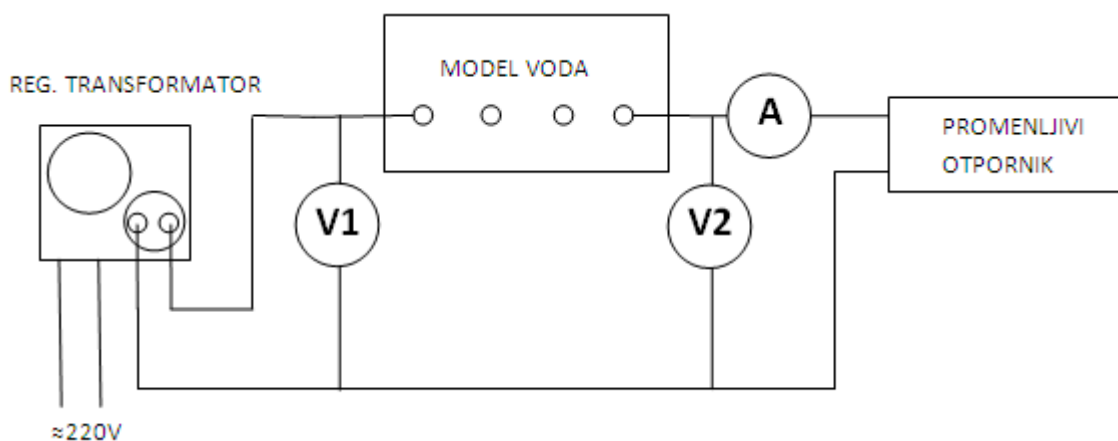
U distributivnim (srednjenaponskim i niskonaponskim) mrežama  $R$  može biti veće od  $X$ , počev od 10 kV pa na niže.

## Šema veza

Na stolu se nalaze sledeći elementi:

- 1) regulacioni transformator,
- 2) model voda,
- 3) promenljivi otpornik ili promenljivi induktivitet
- 4) dva voltmetra i
- 5) ampermetar.

Model voda sastoji se od dva kalema ( $56 \Omega$  i  $60 \Omega$ ) i jednog otpornika ( $100 \Omega$ ). Šema veza prikazana je na Slici 2.3.



Slika 2.3: Šema veza

Gde su:

A - ampermetar

$V_1$  i  $V_2$ -voltmetri 1 i 2 respektivno

## Postupak pri radu

Tokom cele vežbe, napon na izlazu iz regulacionog transformatora treba održavati na konstantnoj vrednosti  $U_1=25$  V. Ovaj napon se direktno očitava na voltmetru  $V_1$ .

U prvom delu vežbe simuliraće se prenos aktivne snage na najvišim naponskim nivoima. Shodno tome, vod je potrebno predstaviti kao pretežno induktivan. Rednom vezom dva kalema ( $56 \Omega$  i  $60 \Omega$ ) dobiće se ukupna impedansa od  $116 \Omega$ . Promenljivim otpornikom regulisati struju kroz vod prema Tabeli 2.1. Zabeležiti vrednosti napona na kraju voda (voltmetar  $V_2$ ) za svaki pojedinačan slučaj.

Postupak ponoviti kada je vod predstavljen kao pretežno rezistivan. Ovim se simulira prenos aktivne snage kroz distributivnu mrežu. Rednom vezom jednog kalema ( $56 \Omega$ ) i otpornika ( $100 \Omega$ ) dobiće se ukupna impedansa od  $114,6 \Omega$ . Rezultate upisati u Tabelu 2.2.

Ponoviti postupak kada je na kraju voda vezan čisto induktivni potrošač. Rezultate upisati u Tabelu 2.3 i Tabelu 2.4.

Nacrtati fazorski dijagram napona na oba kraja voda za sva četiri merenja pri maksimalnim snagama.

## Rezultati

Tabela 2.1

I [mA]	40	60	80	100	120	140	160	180
U [V]								
P [W]								

Tabela 2.2

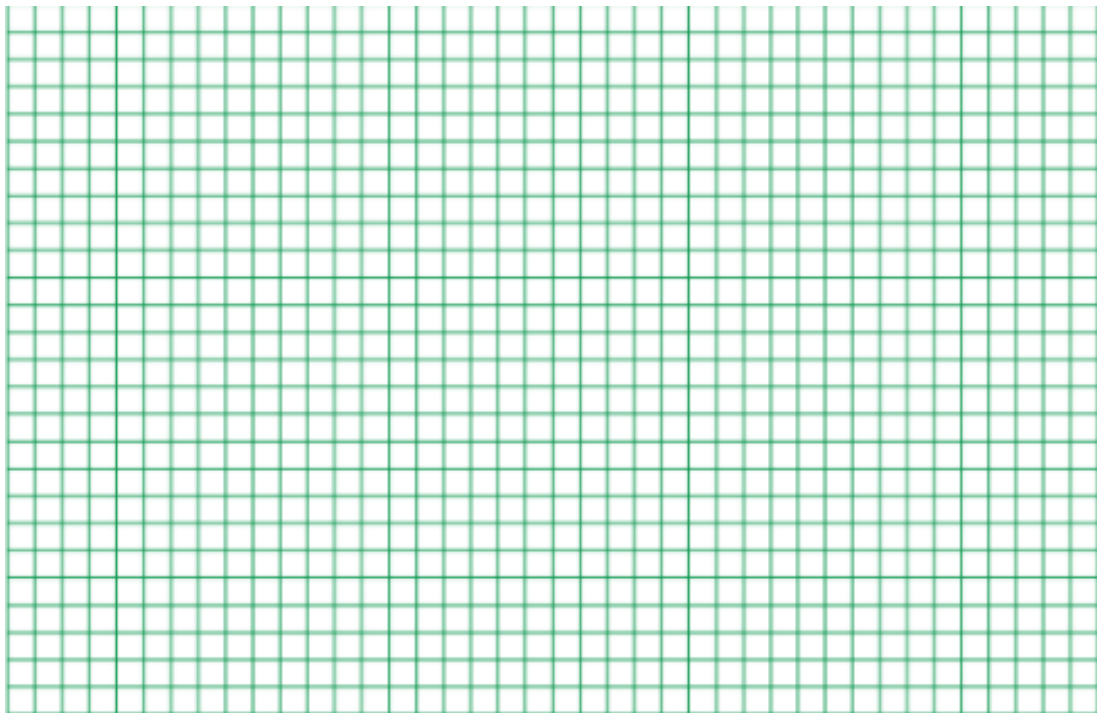
I [mA]	40	60	80	100	120	140	160	180	200
U [V]									
P [W]									

Tabela 2.3

I [mA]	40	60	80	100	120	140	160	180
U [V]								
P [W]								

Tabela 2.4

I [mA]	40	60	80	100	120	140	160	180	200
U [V]									
P [W]									



## **Pitanja i zaključak**

- a) Koliki je otpor podešen pomoću promenljivog otpornika pri prenosu maksimalne snage u oba merenja?
- b) Izvesti izraz za maksimalnu reaktivnu snagu koja se može preneti duž voda (Izraz 2.7).
- c) Moduli impedansi modela voda su u oba slučaja približno jednake. Zašto se onda maksimalna snaga razlikuje pri različitim modelima voda?

U kratkim crtama prokomentarisati maksimalne aktivne i reaktivne snage koje se mogu preneti kroz čistu reaktansu i čistu rezistansu:

