

КОМПЕНЗАЦИЈА НА РЕАКТИВНА МОЌНОСТ

- Сите потрошувачи за својата работа ангажираат активна моќност, а некои од нив и реактивна моќност
 - во ЕЕС извори на реактивната моќност се
 - генераторите,
 - синхроните компензатори,
 - синхроните мотори,
 - кондензаторските батерии и
 - капацитетите на електричните водови
- Во еден ЕЕС сумата на генерираните реактивни моќности во секој момент е еднаква на сумата на реактивните моќности на потрошувачите, зголемена за сумата на загубите на реактивната моќност во елементите на системот
 - за обезбедување на балансот на реактивните моќности можат да се користат сите видови извори на таа моќност
 - задачата на инженерите е да проучат
 - кои извори да се користат,
 - со какви моќности тие да бидат,
 - на кои локации да се инсталираат и
 - каков да им биде режимот на работата
 - треба да се настојува помеѓу решенијата што ги задоволуваат техничките барања да се изнајде решение што е економски најповолно

КОМПЕНЗАЦИЈА НА РЕАКТИВНА МОЌНОСТ

- Пренесувањето на реактивна моќност ја зголемува ефективната вредност на струјата, што предизвикува дополнителни загуби на активната моќност во елементите на системот и до дополнителни загуби на напонот
- Двата наведени вида дополнителни загуби можат да се намалат (па дури и да се елиминираат) доколку за производство на потребната реактивна моќност се искористи некој од изворите на таа моќност што е инсталиран електрично блиску до локацијата на потрошувачите
 - **компензација на реактивната моќност**
- Со компензација на реактивната моќност може да се намали ефективната вредност на струјата во елементите, со што се постигнува:
 - намалување на загубите на напонот;
 - намалување на загубите на активната и реактивната моќност;
 - намалување на привидното оптоварување на генераторите, трансформаторите и водовите
- со што се обезбедува поефикасно користење на елементите од ЕЕС
 - се создаваат услови да не дојде до нивното преоптоварување, или
 - се обезбедува резерва за дополнително зголемување на активното оптоварување

ЗАГУБА НА РЕАКТИВНА МОЌНОСТ ВО ВОД

- Трифазен урамнотежен вод
 - има подолжна реактанција X
 - погонски капацитет C
 - ефективната вредност на напонот нека е U
 - ефективната вредност на струјата во водот нека е I
- Во тој случај загубата на реактивната моќност во водот е

$$\Delta Q_{\text{вод}} = 3 \cdot X \cdot I^2 - \omega \cdot C \cdot U^2$$

- Три вода со номинален напон 10 kV
 - НКВ напречен пресек 50/8 mm²/mm²
 - $x = 0.36 \Omega/\text{km}$; $b = \omega \cdot c = 3.04 \mu\text{S}/\text{km}$; ТДС = 170 А
 - кабелски вод е IPO 13 А 3x50 6/10 kV
 - $x = 0.094 \Omega/\text{km}$, $b = \omega \cdot c = 103,7 \mu\text{S}/\text{km}$ ($c = 0.33 \mu\text{F}/\text{km}$) и ТДС ≈ 140 А
 - кабелски вод IPO 13 3x240 6/10 kV
 - $x = 0.076 \Omega/\text{km}$, $b = \omega \cdot c = 194.8 \mu\text{S}/\text{km}$ ($c = 0.62 \mu\text{F}/\text{km}$) и ТДС = 420 А

ЗАГУБА НА РЕАКТИВНА МОЌНОСТ ВО ВОД

- Водовите се оптоварени со **80% од ТДС**

$$\Delta Q_{\text{вод}(1)} = 3 \cdot 0.36 \cdot (0.8 \cdot 170)^2 \cdot 10^{-3} - 3.04 \cdot 10^{-6} \cdot 10^2 \cdot 10^{-3} = 19.976 - 0.304 \approx 19.7 \text{ kvar/km}$$

$$\Delta Q_{\text{вод}(2)} = 3 \cdot 0.094 \cdot (0.8 \cdot 140)^2 \cdot 10^{-3} - 103.7 \cdot 10^{-6} \cdot 10^2 \cdot 10^{-3} = 3.537 - 10.938 \approx -3.5 \text{ kvar/km}$$

$$\Delta Q_{\text{вод}(3)} = 3 \cdot 0.076 \cdot (0.8 \cdot 420)^2 \cdot 10^{-3} - 194.8 \cdot 10^{-6} \cdot 10^2 \cdot 10^{-3} = 25.740 - 19.440 \approx 6.3 \text{ kvar/km}$$

- Водовите се оптоварени со **20% од ТДС**

$$\Delta Q_{\text{вод}(1)} = 3 \cdot 0.36 \cdot (0.2 \cdot 170)^2 \cdot 10^{-3} - 3.04 \cdot 10^{-6} \cdot 10^2 \cdot 10^{-6} = 1.248 - 0.304 \approx 0.95 \text{ kvar/km}$$

$$\Delta Q_{\text{вод}(2)} = 3 \cdot 0.094 \cdot (0.2 \cdot 140)^2 \cdot 10^{-3} - 103.7 \cdot 10^{-6} \cdot 10^2 \cdot 10^{-3} = 0.221 - 10.938 \approx -10.7 \text{ kvar/km}$$

$$\Delta Q_{\text{вод}(3)} = 3 \cdot 0.076 \cdot (0.2 \cdot 420)^2 \cdot 10^{-3} - 194.8 \cdot 10^{-6} \cdot 10^2 \cdot 10^{-3} = 1.609 - 19.440 \approx -17.8 \text{ kvar/km}$$

ЗАГУБА НА РЕАКТИВНА МОЌНОСТ ВО ТРАНСФОРМАТОР

- Двомотен трансформатор со
 - номинална моќност $S_{\text{НОМ.}}$
 - процентуален напон на куса врска u_k
 - номинален напон на примарната страна $U_{\text{НОМ.}}$
 - струја на празен од i_0
- Загубата на реактивна моќност во трансформаторот е

$$\Delta Q_{\text{трансф.}} = 3 \cdot X \cdot I^2 + \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ.}} \cdot I_0 \quad X \approx \frac{u_k \cdot U_{\text{НОМ.}}^2}{100 \cdot S_{\text{НОМ.}}} \quad i_0 = \frac{100 \cdot I_0}{I_{\text{НОМ.}}} \quad \beta = \frac{S}{S_{\text{НОМ.}}}$$

$$\Delta Q_{\text{трансф.}} = (u_k \cdot \beta^2 + i_0) \cdot \frac{S_{\text{НОМ.}}}{100}$$

$$\beta = 0 \Rightarrow \Delta Q_{\text{трансф.}} = i_0 \cdot \frac{S_{\text{НОМ.}}}{100} = 1.8 \cdot \frac{250}{100} = 4.5 \text{ kvar}$$

$$\beta = 0 \Rightarrow \Delta Q_{\text{трансф.}} = i_0 \cdot \frac{S_{\text{НОМ.}}}{100} = 1.3 \cdot \frac{630}{100} = 8.2 \text{ kvar}$$

$$\beta = \frac{50}{160} \Rightarrow \Delta Q_{\text{трансф.}} = \left(4 \cdot \left(\frac{50}{160} \right)^2 + 2 \right) \cdot \frac{160}{100} = 3.8 \text{ kvar}$$

$$\beta = \frac{50}{250} \Rightarrow \Delta Q_{\text{трансф.}} = (4 \cdot 0.2^2 + 1.8) \cdot \frac{250}{100} = 4.9 \text{ kvar}$$

$$\beta = \frac{50}{630} \Rightarrow \Delta Q_{\text{трансф.}} = \left(4 \cdot \left(\frac{50}{630} \right)^2 + 1.3 \right) \cdot \frac{630}{100} = 8.3 \text{ kvar}$$

ЗАГУБА НА РЕАКТИВНА МОЌНОСТ ВО ТРАНСФОРМАТОР

- Тринамотен трансформатор

$$\Delta Q_{\text{трансф.}} = (u_{k1} \cdot \beta_1^2 + u_{k2} \cdot \beta_2^2 + u_{k3} \cdot \beta_3^2 + i_0) \cdot \frac{S_{\text{НОМ.}}}{100}$$

$$u_{k1} = \frac{u_{k12} + u_{k13} - u_{k23}}{2}$$

$$u_{k2} = \frac{u_{k12} + u_{k23} - u_{k13}}{2}$$

$$u_{k3} = \frac{u_{k13} + u_{k23} - u_{k12}}{2}$$

ЗАГУБА НА РЕАКТИВНА МОЌНОСТ ВО АСИНХРОН МОТОР

- Асинхрон мотор
 - номинална моќност $P_{\text{НОМ.}}$
 - коефициент на полезно дејство $\eta_{\text{НОМ.}}$
 - фактор на моќност $\cos\varphi_{\text{НОМ.}}$
- Загубата на реактивна моќност во моторот е

$$Q_{\text{НОМ.}} = \frac{P_{\text{НОМ.}}}{\eta_{\text{НОМ.}}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{НОМ.}} \quad Q_0 \approx \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ.}} \cdot I_0 \quad Q_0 \approx (60\% - 70\%) \cdot Q_{\text{НОМ.}}$$

$$k = \frac{P}{P_{\text{НОМ.}}} \quad \Delta Q_{\text{НОМ.}} = Q_{\text{НОМ.}} - Q_0$$

$$Q_k = Q_0 + k^2 \cdot \Delta Q_{\text{НОМ.}}$$

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{\frac{k \cdot P_{\text{НОМ.}}}{\eta}}{\sqrt{\left(\frac{k \cdot P_{\text{НОМ.}}}{\eta}\right)^2 + (Q_0 + k^2 \cdot \Delta Q_{\text{НОМ.}})^2}}$$

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \eta^2 \cdot \left(\frac{Q_0}{k \cdot P_{\text{НОМ.}}} + \frac{k \cdot \Delta Q_{\text{НОМ.}}}{P_{\text{НОМ.}}}\right)^2}}$$

ЗАГУБА НА РЕАКТИВНА МОЌНОСТ ВО АСИНХРОН МОТОР

- Асинхрон мотор

- $P_{\text{НОМ.}} = 100 \text{ kW}$, $U_{\text{НОМ.}} = 380 \text{ V}$, $I_0 = 57 \text{ A}$, $\eta_{\text{НОМ.}} = 0,92$ и $\cos\varphi_{\text{НОМ.}} = 0,89$
- два случаја: $k = 30\%$ и $k = 50\%$

$$Q_{\text{НОМ.}} = \frac{P_{\text{НОМ.}}}{\eta_{\text{НОМ.}}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{НОМ.}} = \frac{100}{0,92} \cdot \text{tg}(\arccos 0,89) = 55,7 \text{ kvar}$$

$$Q_0 = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 57 = 37,5 \text{ kvar}$$

$$\Delta Q_{\text{НОМ.}} = Q_{\text{НОМ.}} - Q_0 = 55,7 - 37,5 = 18,2 \text{ kvar}$$

$$Q_k = Q_0 + k^2 \cdot \Delta Q_{\text{НОМ.}}$$

$$Q_{0,5} = 37,5 + 0,5^2 \cdot 18,2 = 42,1 \text{ kvar}$$

$$Q_{0,3} = 37,5 + 0,3^2 \cdot 18,2 = 39,1 \text{ kvar}$$

$$\cos\varphi_{k=0,5} = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,92^2 \cdot \left(\frac{37,5}{0,5 \cdot 100} + \frac{0,5 \cdot 18,2}{100} \right)^2}} = 0,791$$

$$\cos\varphi_{\text{НОМ.}} = 0,89$$

$$\cos\varphi_{k=0,3} = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,92^2 \cdot \left(\frac{37,5}{0,3 \cdot 100} + \frac{0,3 \cdot 18,2}{100} \right)^2}} = 0,648.$$

ЗАГУБА НА РЕАКТИВНА МОЌНОСТ ВО АСИНХРОН МОТОР

- Замена со асинхрон мотор

- $P_{\text{НОМ.}} = 55 \text{ kW}$, $U_{\text{НОМ.}} = 380 \text{ V}$, $I_0 = 31.8 \text{ A}$, $\eta_{\text{НОМ.}} = 0,905$ и $\cos\varphi_{\text{НОМ.}} = 0,88$

- два случаја: $k = 30 \text{ kW}$ и $k = 50 \text{ kW}$

$$Q_{\text{НОМ.}} = \frac{P_{\text{НОМ.}}}{\eta_{\text{НОМ.}}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{НОМ.}} = \frac{55}{0.905} \cdot \text{tg}(\arccos 0.88) = 32.8 \text{ kvar}$$

$$Q_0 = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 31.8 = 20.9 \text{ kvar}$$

$$\Delta Q_{\text{НОМ.}} = Q_{\text{НОМ.}} - Q_0 = 11.9 \text{ kvar}$$

$$k = \frac{P}{P_{\text{НОМ}}} = \frac{50}{55} = 0.909$$

$$\cos\varphi_{\text{НОМ.}} = 0.88$$

$$Q_{k=0.909} = 20.9 + 0.909^2 \cdot 11.9 = 30.7 \text{ kvar}$$

$$\cos\varphi_{k=50/55} = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,905^2 \cdot \left(\frac{20,9}{50} + \frac{50 \cdot 11,9}{55^2} \right)^2}} = 0,874$$

- $P_{\text{НОМ.}} = 100 \text{ kW}$

$$\cos\varphi_{k=0,5} = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,92^2 \cdot \left(\frac{37,5}{0,5 \cdot 100} + \frac{0,5 \cdot 18,2}{100} \right)^2}} = 0,791$$

$$Q_{k=0.5} = 37.5 + 0.5^2 \cdot 18.2 = 42.1 \text{ kvar}$$

МЕРКИ ЗА НАМАЛУВАЊЕ НА РЕАКТИВНАТА МОЌНОСТ

- Мерките за намалување на ангажираната реактивна моќност, кои не бараат значителни инвестициони средства
 - снижување на погонскиот напон кај асинхроните мотори чие оптоварување постојано е значително помало од номиналното
 - примена на соодветни уреди за автоматска контрола на напонот
- ограничување на времетраењето на празниот од на асинхроните мотори
- замена на слабо оптоварени енергетски трансформатори или нивното исклучување;
- замена на слабо оптоварените асинхрони мотори со соодветни со помала номинална моќност

МЕРКИ ЗА НАМАЛУВАЊЕ НА РЕАКТИВНАТА МОЌНОСТ

- Снижување на погонскиот напон на асинхроните мотори
 - намалувањето на погонскиот напон до најмалата дозволена вредност доведува
 - намалување на реактивната моќност на моторите
 - се зголемува факторот на моќноста
 - се намалува загубата на активната моќност во моторот (намалена струја)
 - зголемување на неговиот коефициент на полезното дејство
 - Може ефикасно се спроведува ако преку напојниот трансформатор нема други потрошувачи за кои не е дозволено снижување на напонот
- Преврзување на статорските намотки на асинхроните мотори
 - намотките од триаголник се врзуваат во ѕвезда
 - позитивниот ефект од оваа мерка е поизразен доколку моторот е со понизок фактор на моќност и доколку работи со понизок коефициент на оптоварување.
 - на пример, ако асинхрон мотор со фактор на моќност 0,78, е оптоварен само 20%, со преврзувањето факторот на моќност ќе се зголеми за 80%, а коефициентот на полезно дејство ќе се зголеми за 10%.
 - негативен ефект – се намалува вртливиот момент за $2/3$
 - оваа мерка се препорачува ако оптоварувањето на моторот е помало од 50%

МЕРКИ ЗА НАМАЛУВАЊЕ НА РЕАКТИВНАТА МОЌНОСТ

- Локална регулација на напонот кај асинхроните мотори
 - се изведува со електронски уреди со кои едновремено може да се регулира напонот во зависност од оптоварувањето и да се менува брзината на вртење
 - се ангажира најмала реактивна моќност од мрежата
 - при користење на овие уреди треба да се води сметка дека тие можат да бидат извор на виши хармоници на напонот (доколку не се опремени со соодветни филтри)
 - можат да бидат и економски неприфатливи ако со нив се постигнува релативно мала заштеда
 - последното е поверојатно ако моторот е со помала номинална моќност и ако работи со коефициент на оптоварување што ретко е значително помало од 100%
- Менување на режимот на работа на асинхроните мотори
 - за мотори што не се континуирано оптоварени, т.е. постојат периоди кога тие се во празен од и ако времетраењето на празниот од е доволно долго, се препорачува да се смени режимот на работа со исклучување на моторите за тоа време
 - на тој начин се можни заштеди и на активна и на реактивна енергија

МЕРКИ ЗА НАМАЛУВАЊЕ НА РЕАКТИВНАТА МОЌНОСТ

- Намалување на реактивната моќност на трансформаторите
 - Слабо оптоварените трансформатори можат да бидат причина за поголема побарувачка на реактивната моќност
 - трансформатор моќност 630 kVA оптоварен со 50 kVA има околу 5 до 7 kvar поголема загуба отколку трансформатор со моќност 160 kVA
 - Ако два трансформатора работат паралелно, при што оптоварувањето е доволно мало, со исклучување на едниот од нив може да дојде до намалување на вкупната загуба на реактивната моќност
 - за два еднакви двомотни трансформатора со струја на празен од i_0 и напон на куса врска u_k

$$\Delta Q_{\text{трансф.}} = (u_k \cdot \beta^2 + i_0) \cdot \frac{S_{\text{НОМ.}}}{100} < 2 \cdot \left(u_k \cdot \frac{\beta^2}{4} + i_0 \right) \cdot \frac{S_{\text{НОМ.}}}{100}$$

- претходното неравенство ќе биде задоволено (треба да се исклучи вториот трансформатор) ако

$$\beta < \sqrt{2 \cdot \frac{i_0}{u_k}}$$

- оваа мерка може да даде резултат само кај трансформаторите со напон 35 kV и повисок, бидејќи кај нив односот i_0/u_k е значително помал од 0.5
 - за типичен трансформатор среден/низок напон со моќност 400 kVA се добива $\beta < 0.97$, додека за трансформатор висок/среден напон со моќност 63 MVA се добива $\beta < 0.30$
- исклучувањето на еден од трансформаторите ќе ја намали доверливоста!

КОМПЕНЗАЦИЈА НА РЕАКТИВНА МОЌНОСТ

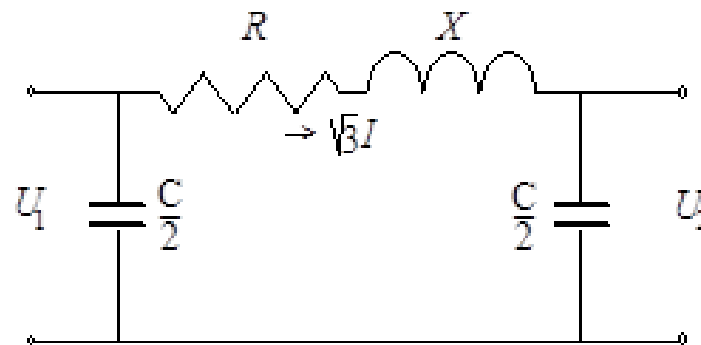
- Во случаите кога не е можно да се намали ангажираната реактивна моќност на потрошувачите (вклучувајќи ги и загубите во елементите) се пристапува кон компензација
- Компензација на вод што е оптоварен само на крајот со $P_2 + jQ_2$; напонот на крајот е U_2
- Реактивната моќност во редната гранка е

$$Q = Q_2 - \frac{1}{2} \cdot \omega \cdot C \cdot U_2^2 \quad I^2 = \frac{P_2^2 + Q^2}{3 \cdot U_2^2}$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot (R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi) \quad I_a = I \cdot \cos \varphi$$

$$I_r = I \cdot \sin \varphi$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot (R \cdot I_a + X \cdot I_r)$$



- Ако на крајот од водот се постави кондензаторска батерија со $I_{\text{КОМП.}}$

$$\Delta U' = \sqrt{3} \cdot [R \cdot I_a + X \cdot (I_r - I_{\text{КОМП.}})]$$

$$\Delta U - \Delta U' = \sqrt{3} \cdot X \cdot I_{\text{КОМП.}}$$

$$Q_{\text{КОМП.}} = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_{\text{КОМП.}}$$

$$\Delta U - \Delta U' = X \cdot \frac{Q_{\text{КОМП.}}}{U_2}$$

КОМПЕНЗАЦИЈА НА РЕАКТИВНА МОЌНОСТ

- Вод оптоварен само на крајот
 - активната компонента на струјата во водот, практично, не се менува со компензацијата

$$\Delta P = 3 \cdot R \cdot I^2 = 3 \cdot R \cdot (I_a^2 + I_r^2) = \frac{3 \cdot R \cdot I_a^2}{\cos^2 \varphi} \qquad \Delta P' = \frac{3 \cdot R \cdot I_a^2}{\cos^2 \varphi'}$$

$$\frac{\Delta P}{\Delta P'} = \frac{\cos^2 \varphi'}{\cos^2 \varphi}$$

$$Q_{\text{комп.}} = P_2 \cdot (\text{tg} \varphi - \text{tg} \varphi')$$

$$\Delta P_r = 3 \cdot R \cdot I_r^2$$

$$\Delta P'_r = 3 \cdot R \cdot (I_r - I_{\text{комп.}})^2$$

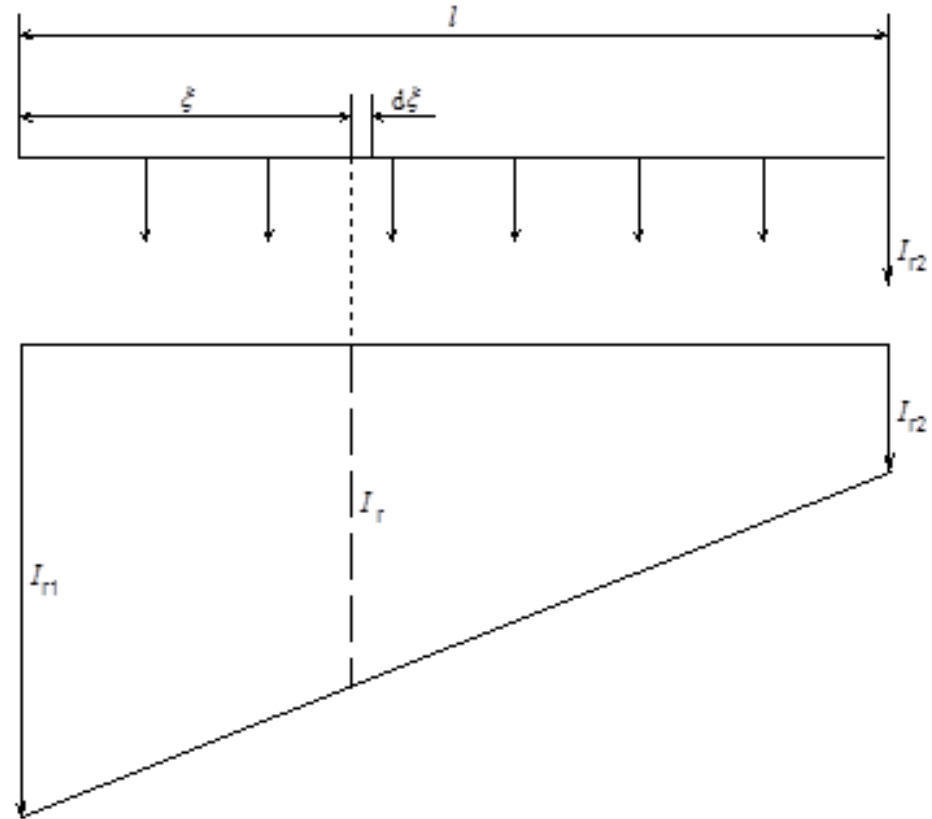
$$\Delta p = \frac{\Delta P_r - \Delta P'_r}{\Delta P_r} = \frac{I_{\text{комп.}}}{I_r} \cdot \left(2 - \frac{I_{\text{комп.}}}{I_r} \right)$$

КОМПЕНЗАЦИЈА НА РЕАКТИВНА МОЌНОСТ

- Вод со рамномерно распределено реактивно оптоварување

$$I_r = I_{r1} - \frac{I_{r1} - I_{r2}}{l} \cdot \xi$$

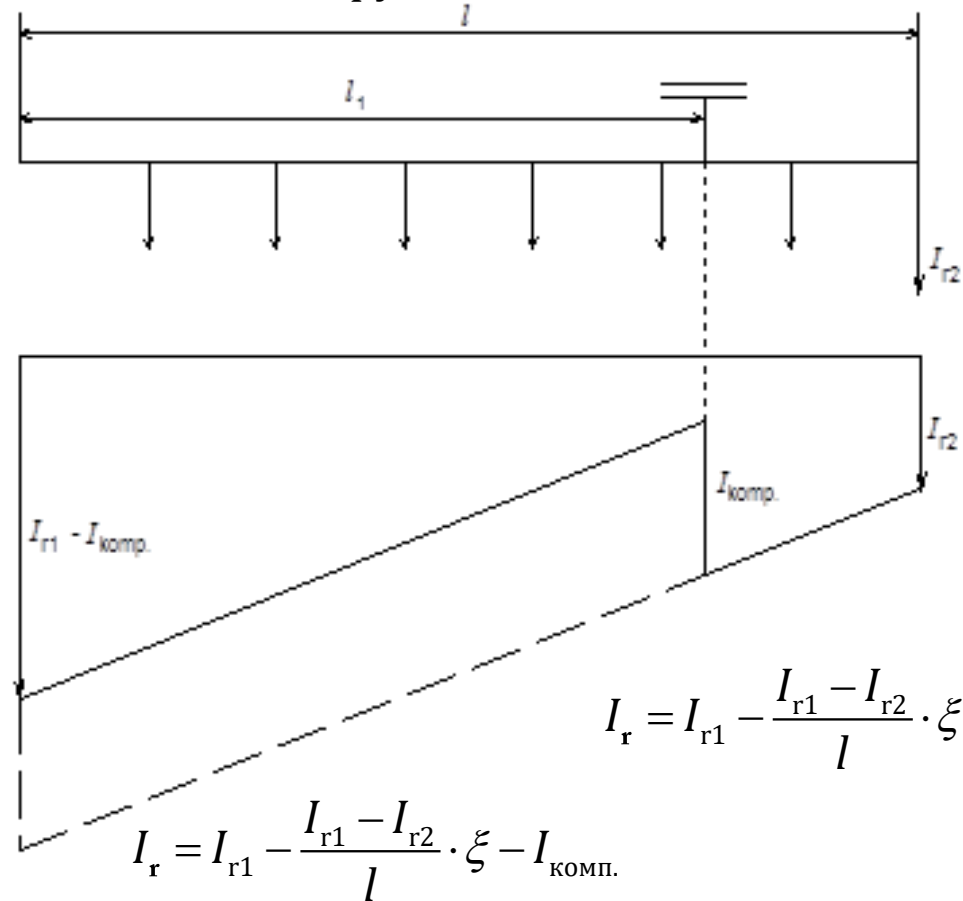
$$d(\Delta P_r) = 3 \cdot \left(I_{r1} - \frac{I_{r1} - I_{r2}}{l} \cdot \xi \right)^2 \cdot r \cdot d\xi$$



$$\Delta P_r = 3 \cdot r \cdot \int_0^l I_r^2 \cdot d\xi = 3 \cdot r \cdot \int_0^l \left(I_{r1} - \frac{I_{r1} - I_{r2}}{l} \cdot \xi \right)^2 \cdot d\xi = R \cdot (I_{r1}^2 + I_{r1} \cdot I_{r2} + I_{r2}^2)$$

КОМПЕНЗАЦИЈА НА РЕАКТИВНА МОЌНОСТ

- Вод со рамномерно распределено реактивно оптоварување



$$I_r = I_{r1} - \frac{I_{r1} - I_{r2}}{l} \cdot \xi - I_{\text{комп.}}, \quad 0 \leq \xi < l_1$$

$$I_r = I_{r1} - \frac{I_{r1} - I_{r2}}{l} \cdot \xi, \quad l_1 \leq \xi \leq l$$

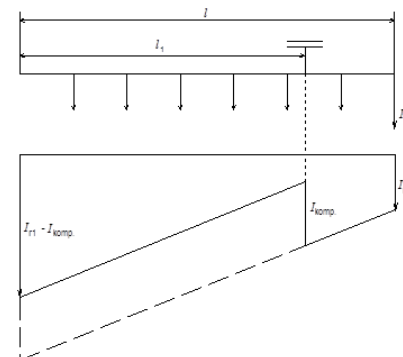
$$I_r = I_{r1} - \frac{I_{r1} - I_{r2}}{l} \cdot \xi$$

$$I_r = I_{r1} - \frac{I_{r1} - I_{r2}}{l} \cdot \xi - I_{\text{комп.}}$$

$$\Delta P'_r = 3 \cdot r \cdot \int_0^{l_1} \left(I_{r1} - \frac{I_{r1} - I_{r2}}{l} \cdot \xi - I_{\text{комп.}} \right)^2 \cdot d\xi + 3 \cdot r \cdot \int_{l_1}^l \left(I_{r1} - \frac{I_{r1} - I_{r2}}{l} \cdot \xi \right)^2 \cdot d\xi$$

КОМПЕНЗАЦИЈА НА РЕАКТИВНА МОЌНОСТ

- Вод со рамномерно распределено реактивно оптоварување



$$\Delta P'_r = 3 \cdot r \cdot \int_0^{l_1} \left(I_{r1} - \frac{I_{r1} - I_{r2}}{l} \cdot \xi - I_{\text{КОМП.}} \right)^2 \cdot d\xi + 3 \cdot r \cdot \int_{l_1}^l \left(I_{r1} - \frac{I_{r1} - I_{r2}}{l} \cdot \xi \right)^2 \cdot d\xi$$

$$\Delta P'_r = 3 \cdot r \cdot \int_0^l \left(I_{r1} - \frac{I_{r1} - I_{r2}}{l} \cdot \xi \right)^2 \cdot d\xi - 3 \cdot r \cdot I_{\text{КОМП.}} \cdot \int_0^{l_1} \left[2 \cdot \left(I_{r1} - \frac{I_{r1} - I_{r2}}{l} \cdot \xi \right) - I_{\text{КОМП.}} \right] \cdot d\xi$$

$$\Delta P'_r = R \left(I_{r1}^2 + I_{r1} \cdot I_{r2} + I_{r2}^2 \right) - 3 \cdot R \cdot \frac{l_1}{l} \cdot I_{\text{КОМП.}} \cdot \left[2 \cdot I_{r1} - I_{\text{КОМП.}} - (I_{r1} - I_{r2}) \cdot \frac{l_1}{l} \right]$$

$$\Delta p = \frac{\Delta P_r - \Delta P'_r}{\Delta P_r} = \frac{3 \cdot \frac{l_1}{l} \cdot I_{\text{КОМП.}} \cdot \left[2 \cdot I_{r1} - I_{\text{КОМП.}} - (I_{r1} - I_{r2}) \cdot \frac{l_1}{l} \right]}{I_{r1}^2 + I_{r1} \cdot I_{r2} + I_{r2}^2}$$

$$d_1 = \frac{l_1}{l} \quad c = \frac{I_{\text{КОМП.}}}{I_{r1}} \quad k = \frac{I_{r2}}{I_{r1}} \quad a = \frac{1}{1 + k + k^2}$$

$$\Delta p = 3 \cdot a \cdot c \cdot d_1 \cdot \left[2 - c - (1 - k) \cdot d_1 \right]$$

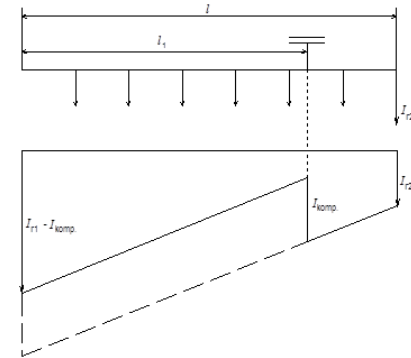
КОМПЕНЗАЦИЈА НА РЕАКТИВНА МОЌНОСТ

- Вод со рамномерно распределено реактивно оптоварување

$$\Delta p = 3 \cdot a \cdot c \cdot d_1 \cdot [2 - c - (1 - k) \cdot d_1]$$

- колкава батерија и каде да се постави за да се добие

$$\max(\Delta p)$$



$$\frac{d}{dd_1} \Delta p = 0 \quad \frac{d}{dd_1} (\Delta p) = 3 \cdot a \cdot c \cdot [2 - c - 2 \cdot (1 - k) \cdot d_1] \quad 3 \cdot a \cdot c \cdot [2 - c - 2 \cdot (1 - k) \cdot d_1] = 0$$

$$\frac{d}{dc} \Delta p = 0 \quad \frac{d}{dc} (\Delta p) = 3 \cdot a \cdot d_1 \cdot [2 - 2 \cdot c - (1 - k) \cdot d_1] \quad 3 \cdot a \cdot d_1 \cdot [2 - 2 \cdot c - (1 - k) \cdot d_1] = 0$$

$$c > 0 \Rightarrow 2 - c - 2 \cdot (1 - k) \cdot d_1 = 0$$

$$d_1 > 0 \Rightarrow 2 - 2 \cdot c - (1 - k) \cdot d_1 = 0$$

$$c = \frac{2}{3}$$

$$d_1 = \frac{2}{3 \cdot (1 - k)}$$

КОМПЕНЗАЦИЈА НА РЕАКТИВНА МОЌНОСТ

- Вод со рамномерно распределено реактивно оптоварување компензиран со 2 еднакви кондензаторски батерии

$$\Delta P'_r = 3 \cdot r \cdot \int_0^{l_2} \left(I_{r1} - \frac{I_{r1} - I_{r2}}{l} \cdot \xi - 2 \cdot I_{\text{КОМП.}} \right)^2 \cdot d\xi$$

$$+ 3 \cdot r \cdot \int_{l_2}^{l_1} \left(I_{r1} - \frac{I_{r1} - I_{r2}}{l} \cdot \xi - I_{\text{КОМП.}} \right)^2 \cdot d\xi$$

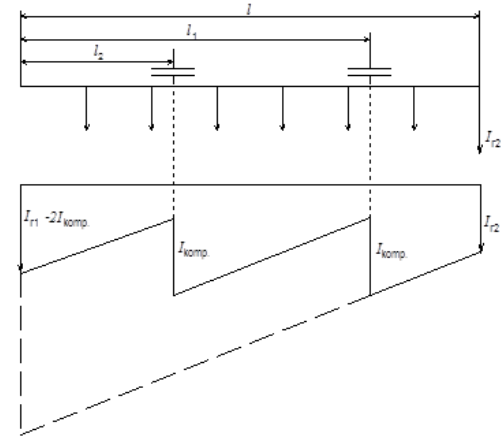
$$+ 3 \cdot r \cdot \int_{l_1}^l \left(I_{r1} - \frac{I_{r1} - I_{r2}}{l} \cdot \xi \right)^2 \cdot d\xi$$

$$\Delta P'_r = R \cdot (I_{r1}^2 + I_{r1} \cdot I_{r2} + I_{r2}^2)$$

$$- 3 \cdot R \cdot \frac{l_1}{l} \cdot I_{\text{КОМП.}} \cdot \left[2 \cdot I_{r1} - I_{\text{КОМП.}} - (I_{r1} - I_{r2}) \cdot \frac{l_1}{l} \right]$$

$$- 3 \cdot R \cdot \frac{l_2}{l} \cdot I_{\text{КОМП.}} \cdot \left[2 \cdot I_{r1} - 3 \cdot I_{\text{КОМП.}} - (I_{r1} - I_{r2}) \cdot \frac{l_2}{l} \right]$$

$$\Delta p = 3 \cdot a \cdot c \cdot d_1 \cdot [2 - c - (1 - k) \cdot d_1] + 3 \cdot a \cdot c \cdot d_2 \cdot [2 - 3 \cdot c - (1 - k) \cdot d_2]$$



КОМПЕНЗАЦИЈА НА РЕАКТИВНА МОЌНОСТ

- Вод со рамномерно распределено реактивно оптоварување компензиран со n еднакви кондензаторски батерии

$$\Delta p = 3 \cdot a \cdot c \cdot \sum_{i=1}^n d_i \cdot [2 - (2 \cdot i - 1) \cdot c - (1 - k) \cdot d_i]$$

$$\frac{d}{dd_i} \Delta p = 0$$

$$3 \cdot a \cdot c \cdot [2 - (2 \cdot i - 1) \cdot c - 2 \cdot (1 - k) \cdot d_i] = 0$$

$$d_i = \frac{2 - (2 \cdot i - 1) \cdot c}{2 \cdot (1 - k)}$$

$$\Delta p = \frac{3 \cdot a \cdot c}{4 \cdot (1 - k)} \cdot \sum_{i=1}^n [2 - (2 \cdot i - 1) \cdot c]^2$$

$$\frac{d}{dc} \left(\frac{3 \cdot a \cdot c}{4 \cdot (1 - k)} \cdot \sum_{i=1}^n [2 - (2 \cdot i - 1) \cdot c]^2 \right) = 0$$

$$\sum_{i=1}^n [2 - (2 \cdot i - 1) \cdot c]^2 - c \cdot \sum_{i=1}^n 2 \cdot (2 \cdot i - 1) [2 - (2 \cdot i - 1) \cdot c] = 0$$

КОМПЕНЗАЦИЈА НА РЕАКТИВНА МОЌНОСТ

- Вод со рамномерно распределено реактивно оптоварување компензиран со n еднакви кондензаторски батерии

$$\sum_{i=1}^n [2 - (2 \cdot i - 1) \cdot c]^2 - c \cdot \sum_{i=1}^n 2 \cdot (2 \cdot i - 1) [2 - (2 \cdot i - 1) \cdot c] = 0$$

$$\sum_{i=1}^n [4 - 4 \cdot c \cdot (2 \cdot i - 1) + c^2 \cdot (2 \cdot i - 1)^2 - 4 \cdot c \cdot (2 \cdot i - 1) + 2 \cdot c^2 \cdot (2 \cdot i - 1)^2] = 0$$

$$3 \cdot c^2 \cdot \sum_{i=1}^n (2 \cdot i - 1)^2 - 8 \cdot c \cdot \sum_{i=1}^n (2 \cdot i - 1) + 4 \cdot n = 0$$

$$\sum_{i=1}^n (2 \cdot i - 1)^2 = \frac{n}{3} \cdot (4 \cdot n^2 - 1) \qquad \sum_{i=1}^n (2 \cdot i - 1) = n^2$$

$$(4 \cdot n^2 - 1) \cdot c^2 - 8 \cdot n \cdot c + 4 = 0$$

$$c_1 = \frac{2}{2 \cdot n - 1}$$

$$c_2 = \frac{2}{2 \cdot n + 1}$$

$$n = 1 \Rightarrow c_1 = 2$$

$$n = 1 \Rightarrow c_2 = \frac{2}{3}$$

КОМПЕНЗАЦИЈА НА РЕАКТИВНА МОЌНОСТ

- Вод рамномерно со распределено реактивно оптоварување компензиран со n еднакви кондензаторски батерии

$$c_1 = \frac{2}{2 \cdot n - 1}$$

$$c_2 = \frac{2}{2 \cdot n + 1}$$

$$n = 1 \Rightarrow c_1 = 2$$

$$n = 1 \Rightarrow c_2 = \frac{2}{3}$$

$$d_i = \frac{2 - (2 \cdot i - 1) \cdot c}{2 \cdot (1 - k)}$$

$$d_i = 2 \cdot \frac{n + 1 - i}{(1 - k) \cdot (2 \cdot n + 1)}$$

$$\Delta p = \frac{4 \cdot a \cdot n \cdot (n + 1)}{(1 - k) \cdot (2 \cdot n + 1)^2}$$