

Утицај паметних фотонапонских инвертора на напонске прилике у дистрибутивним мрежама са соларним генераторима прикљученим на мрежу

КУРС ОБУКЕ БР.01

Нисконапонски извод са једним соларним генератором је приказан на слици 1.

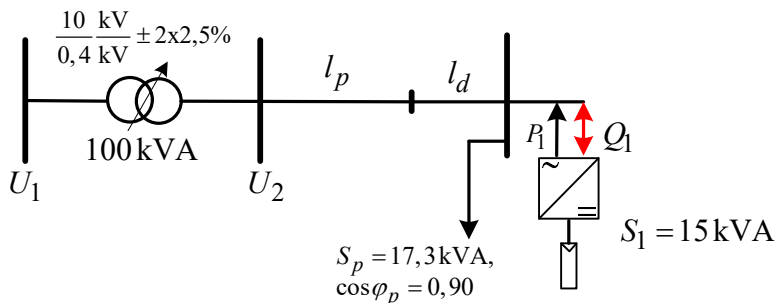
Соларни генератор предаје мрежи активну снагу у зависности од снаге коју добија са соларних панела. Разматрати радне режиме у којима се снага соларних панела мења од 100% називне до 0%, у интервалима од по 10%. Старији типови соларних генератора имају фактор снаге 1 и немају могућност даљинске промене фактора снаге. Новији типови соларних генератора имају могућност промене фактора снаге применом даљински управљивих (smart) инвертора.

Израчунати промену напона од нисконапонских сабирница до извода на коме су паралелно прикључени потрошач и соларни генератор, као и фактор снаге потрошача према мрежи, за следећа три случаја:

а) Соларни инвертор ради са фактором снаге 1.

б) Соларни инвертор ради са капацитивним фактором снаге који се може мењати у зависности од активне снаге.

в) Соларни инвертор ради са индуктивним фактором снаге који се може мењати у зависности од активне снаге.



Слика 1. Нисконапонски извод са дистрибуираним соларним генератором и потрошачем

Подаци о нисконапонском каблу:  $S = 4 \times 70 \text{ mm}^2$   $r = 0,42 \Omega/\text{km}$   $x = 0,08 \Omega/\text{km}$   $I_{tr\_doz} = 165 \text{ A}$

Подаци о дужини деоница:  $l_p = 200 \text{ m}$   $l_d = 100 \text{ m}$

Подаци о потрошачу:  $S_p = 17,3 \text{ kVA}$ ,  $\cos \varphi_p = 0,90$

а) Соларни инвертор има фактор снаге 1.

$$S_1 = 15 \text{ kVA}, \cos \varphi = 1$$

б) Соларни инвертор има капацитивни фактор снаге који се може мењати у зависности од активне снаге.

$$S_1 = 15 \text{ kVA}, \cos \varphi_{cap.} = 0,95$$

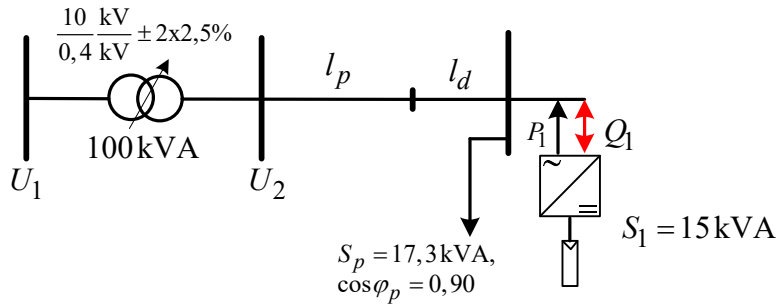
в) Соларни инвертор има индуктивни фактор снаге који се може мењати у зависности од активне снаге.

$$S_1 = 15 \text{ kVA}, \cos \varphi_{ind.} = 0,95$$

Нисконапонски извод са једним соларним генератором је приказан на слици 1.

Соларни генератор предаје мрежи активну снагу у зависности од снаге коју добија са соларних панела. Разматрати радне режими у којима се снага соларних панела мења од 100% називне до 0%, у интервалима од по 10%. Старији типови инвертора имали су фактор снаге 1. Новији типови соларних генератора имају могућност промене фактора снаге. Израчунати промену напона од нисконапонских сабирница до извода на коме су паралелно прикључени потрошач и соларни генератор, као и фактор снаге потрошача према мрежи, за следећа три случаја:

- Соларни инвертор има фактор снаге 1.
- Соларни инвертор има капацитивни фактор снаге који се може мењати у зависности од активне снаге.
- Соларни инвертор има индуктивни фактор снаге који се може мењати у зависности од активне снаге.



Слика 1. Нисконапонски извод са дистрибуираним соларним генератором и потрошачем

Подаци о нисконапонском каблу:  $S = 4 \times 70 \text{ mm}^2$   $r = 0,42 \text{ } \Omega/\text{km}$   $x = 0,08 \text{ } \Omega/\text{km}$   $I_{tr\_doz} = 165 \text{ A}$

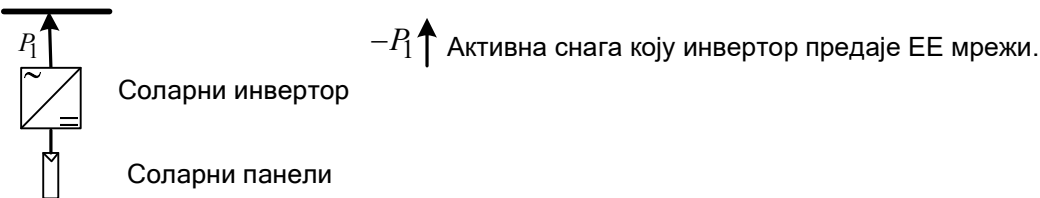
Подаци о дужини деоница:  $l_p = 200 \text{ m}$   $l_d = 100 \text{ m}$

Подаци о потрошачу:  $S_p = 17,3 \text{ kVA}$ ,  $\cos \varphi_p = 0,90$

Подаци о инвертору за прикључење соларних генератора на мрежу:

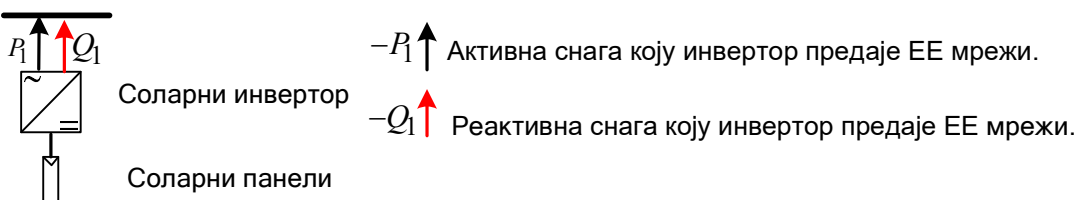
- Соларни инвертор има фактор снаге 1.

$$S_1 = 15 \text{ kVA}, \cos \varphi = 1$$



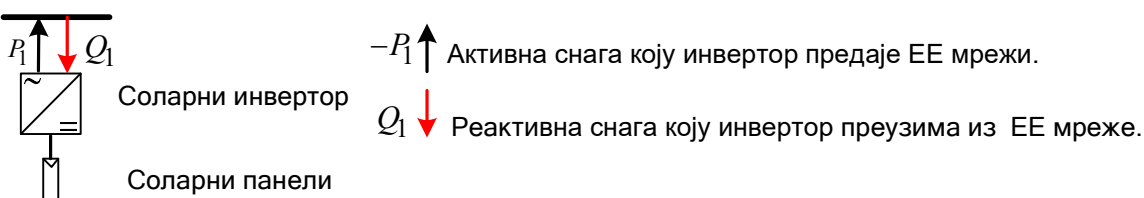
- Соларни инвертор има капацитивни фактор снаге који се може мењати у зависности од активне снаге.

$$S_1 = 15 \text{ kVA}, \cos \varphi_{cap.} = 0,95$$



- Соларни инвертор има индуктивни фактор снаге који се може мењати у зависности од активне снаге.

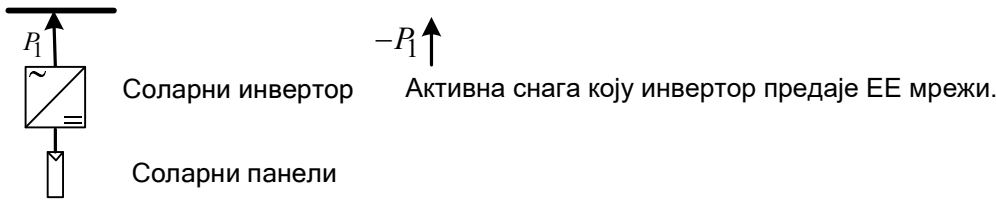
$$S_1 = 15 \text{ kVA}, \cos \varphi_{ind.} = 0,95$$



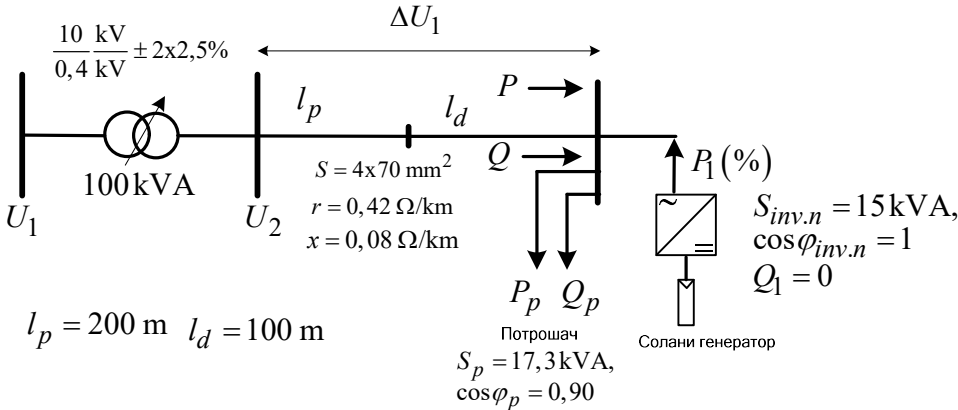
а) Кад соларни инвертор има фактор снаге 1.

Активна снага коју инвертор предаје ЕЕ мрежи зависи од променљиве снаге соларних панела у току једног дана.

$$S_{inv.n} = 15 \text{ kVA}, \cos \varphi_{inv.n} = 1 \quad P_{inv.n} = 15 \text{ kW}$$



$$\begin{aligned} P_{1\_100\%}(P_n) &= P_n \\ P_{1\_90\%}(P_n) &= 0,9P_n \\ P_{1\_80\%}(P_n) &= 0,8P_n \\ P_{1\_70\%}(P_n) &= 0,7P_n \\ P_{1\_60\%}(P_n) &= 0,6P_n \\ P_{1\_50\%}(P_n) &= 0,5P_n \\ P_{1\_40\%}(P_n) &= 0,4P_n \\ P_{1\_30\%}(P_n) &= 0,3P_n \\ P_{1\_20\%}(P_n) &= 0,2P_n \\ P_{1\_10\%}(P_n) &= 0,1P_n \\ P_{1\_0\%}(P_n) &= 0 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} P_p &= S_p \cos \varphi_p = 15,57 \text{ kW} & l_p &= 0,2 \text{ km} & r &= 0,42 \text{ } \Omega/\text{km} \\ Q_p &= S_p \sin \varphi_p = 7,541 \text{ kVAr} & l_d &= 0,1 \text{ km} & x &= 0,08 \text{ } \Omega/\text{km} & S_1 &= 17,3 \text{ kVA}, \cos \varphi = 0,9 \end{aligned}$$

Израз за пад напона у коме је занемарена попречна, реактивна компонента пада напона

$$\Delta U_1 = \frac{PR + QX}{U_n} = \frac{P \cdot r \cdot l + Q \cdot x \cdot l}{U_n}$$

$$\begin{aligned} P(\%) &= P_p - P_1 = P_p - P_{inv}(\%) & \text{Активна снага на крају вода зависи од променљиве снаге соларног извора} \\ Q &= Q_p - Q_1 = Q_p - 0 = Q_p & \text{Реактивна снага на крају вода} \end{aligned}$$

Пад напона на крају вода зависи од променљиве снаге соларног извора:

$$\Delta U_1(\%P_n) = \frac{PR + QX}{U_n} = \frac{(P_p - P_{inv}(\%P_n)) \cdot r \cdot (l_p + l_d) + Q_p \cdot x \cdot (l_p + l_d)}{U_n}$$

Фактор снаге на крају вода зависи од променљиве снаге соларног извора:

$$\cos \varphi(\%) = \frac{P_p - P_{inv}(\%P_n)}{\sqrt{(P_p - P_{inv}(\%P_n))^2 + Q_p^2}}$$

Нумерички пример за 50% снаге на инвертору и фактор снаге једнак 1

$$P_{1\_50\%}(P_n) = 0,5P_n$$

$$\Delta U_1(0,5P_{invn}) = \frac{(P_p - 0,5P_{invn}) \cdot r \cdot (l_p + l_d) + Q_p \cdot x \cdot (l_p + l_d)}{U_n}$$

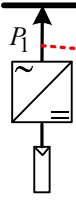
$$\Delta U_1(0,5P_{invn}) = \frac{(15,57 - 0,5 \cdot 15) \cdot 0,42 \cdot (0,2 + 0,1) + 7,541 \cdot 0,08 \cdot (0,2 + 0,1)}{0,4} = 2,99 \text{ V}$$

$$\cos \varphi(0,5P_{inv.n}) = \frac{15,57 - 0,5 \cdot 15}{\sqrt{(15,57 - 0,5 \cdot 15)^2 + 7,541^2}} = 0,73 < 0,90$$

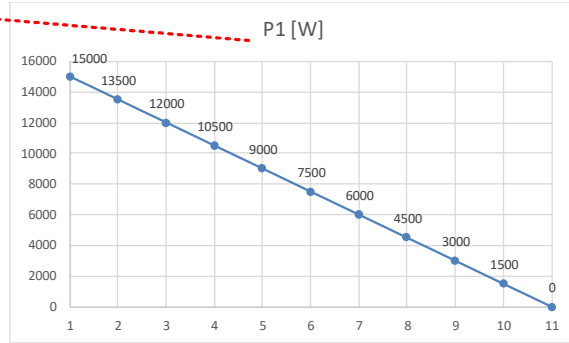
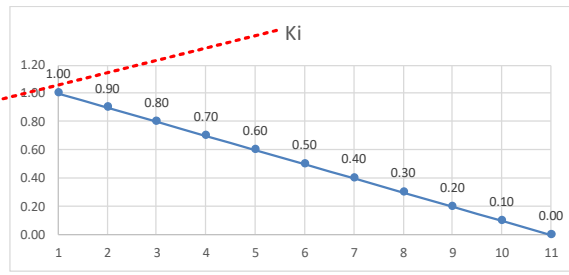
а) Кад соларни инвертор има фактор снаге 1.

Активна снага коју инвертор предаје ЕЕ мрежи зависи од променљиве снаге соларних панела у току једног дана.

- $P_{1\_100\%}(P_n) = P_n$
- $P_{1\_90\%}(P_n) = 0,9P_n$
- $P_{1\_80\%}(P_n) = 0,8P_n$
- $P_{1\_70\%}(P_n) = 0,7P_n$
- $P_{1\_60\%}(P_n) = 0,6P_n$
- $P_{1\_50\%}(P_n) = 0,5P_n$
- $P_{1\_40\%}(P_n) = 0,4P_n$
- $P_{1\_30\%}(P_n) = 0,3P_n$
- $P_{1\_20\%}(P_n) = 0,2P_n$
- $P_{1\_10\%}(P_n) = 0,1P_n$
- $P_{1\_0\%}(P_n) = 0$

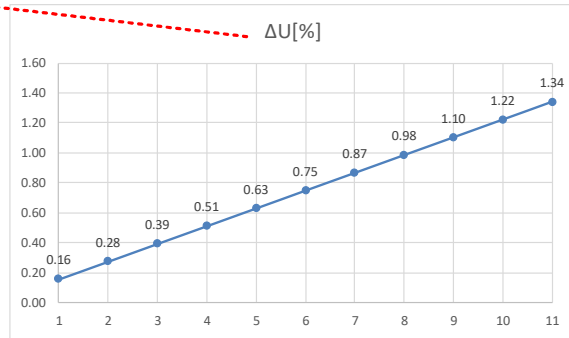
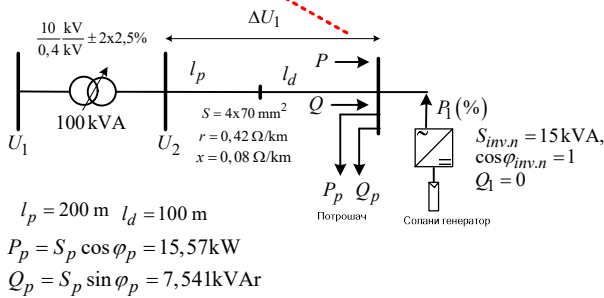


$S_{inv.n} = 15\text{ kVA}$ ,  
 $\cos\phi_{inv.n} = 1$   
 $P_{inv.n} = 15\text{ kW}$



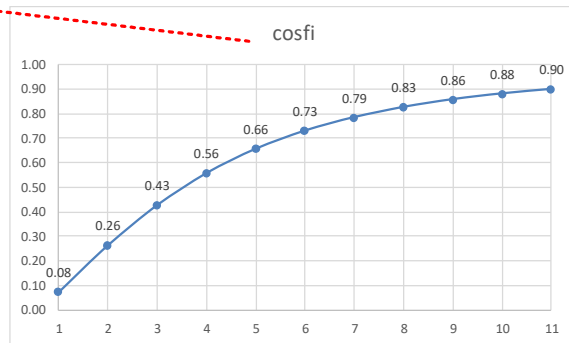
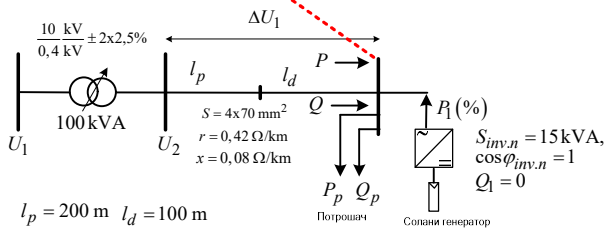
Пад напона на крају вода зависи од променљиве снаге соларног извора:

$$\Delta U_1(\%P_n) = \frac{PR + QX}{U_n} = \frac{(P_p - P_{inv}(\%P_n)) \cdot r \cdot (l_p + l_d) + Q_p \cdot x \cdot (l_p + l_d)}{U_n}$$



Фактор снаге на крају вода зависи од променљиве снаге соларног извора:

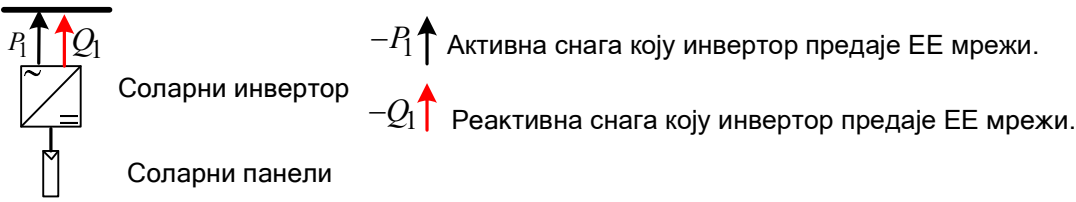
$$\cos\phi(\%) = \frac{P_p - P_{inv}(\%P_n)}{\sqrt{(P_p - P_{inv}(\%P_n))^2 + Q_p^2}}$$



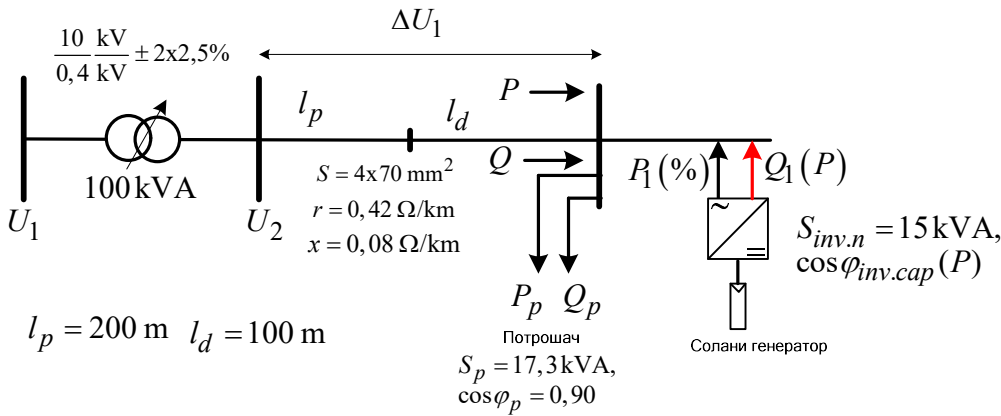
$P_p = S_p \cos\phi_p = 15,57\text{ kW}$   
 $Q_p = S_p \sin\phi_p = 7,541\text{ kVAr}$

б) Соларни инвертор има капацитивни фактор снаге који се може мењати у зависности од активне снаге.

$S_1 = 15 \text{ kVA}, \cos \varphi_{cap.} = 0,95$



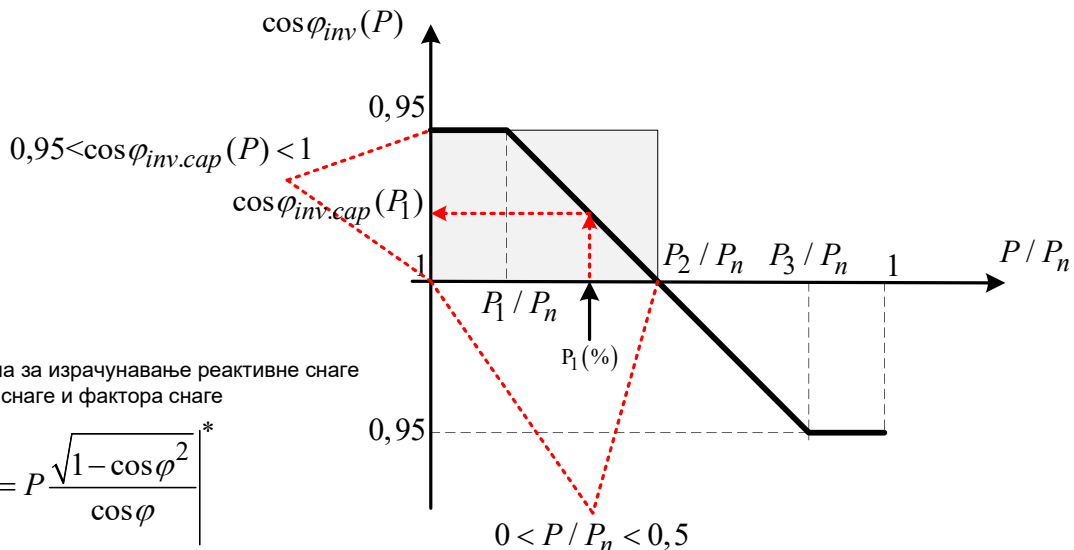
$-P_1 \uparrow$  Активна снага коју инвертор предаје ЕЕ мрежи.  
 $-Q_1 \uparrow$  Реактивна снага коју инвертор предаје ЕЕ мрежи.



Соларни инвертор има могућност регулисања фактора снаге у зависности од произведене активне снаге на излазу из инвертора.  $\cos \varphi_{inv.}(P)$

Разликују се два режима рада инвертора:

1. Капацитивни фактор снаге инвертора - наизменична струја на излазу из инвертора фазно предњачи у односу на излазни наизменични напон инвертора  $\cos \varphi_{inv.cap}(P)$



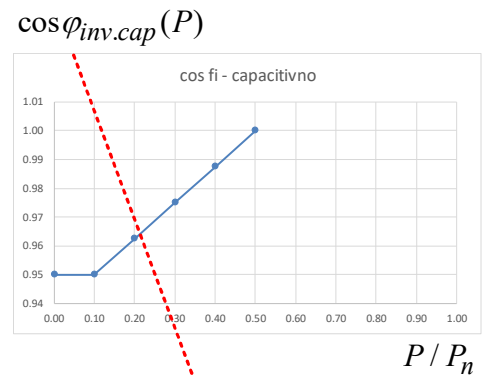
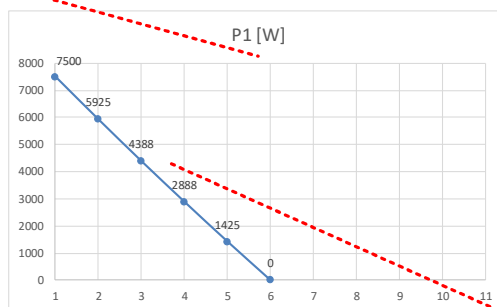
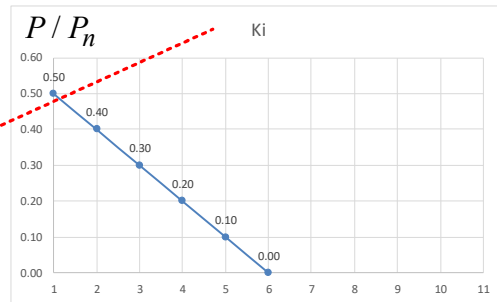
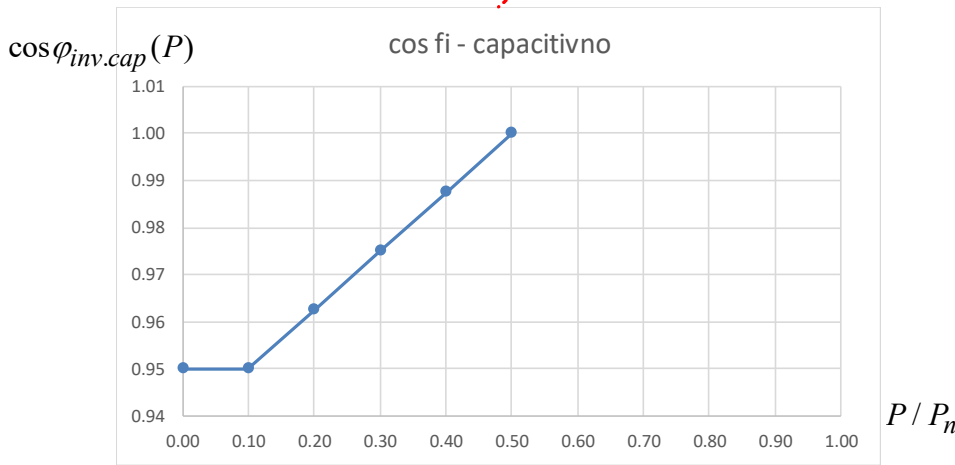
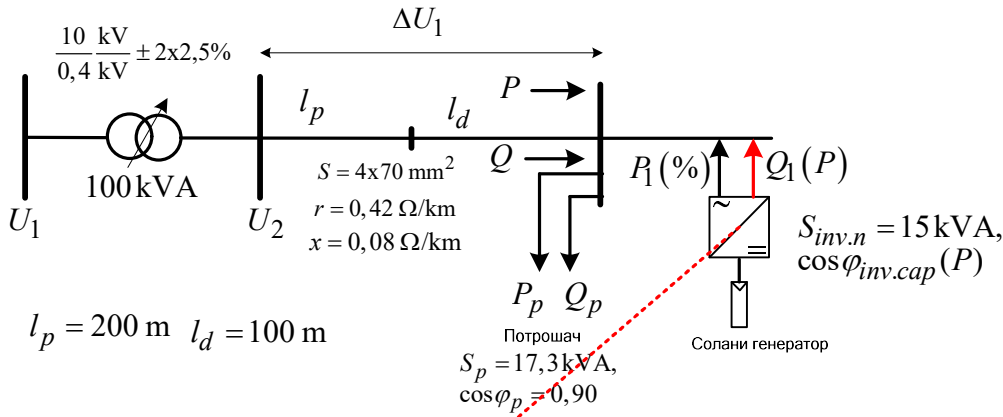
Општа формула за израчунавање реактивне снаге Преко активне снаге и фактора снаге

$$Q = P \cdot \operatorname{tg} \varphi = P \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi}^*$$

Реактивна снага коју инвертор може да ињектира у мрежу се израчунава на основу произведене активне снаге на излазу из инвертора и израчунате вредности фактора снаге са к-ке фактора снаге за капацитивно оптерећење:

- |             |  |  |
|-------------|--|--|
| Први корак  | $P_1 (\%)$   | Активна снага која се добија као мерени податак на излазу из инвертора. У задацима ће бити задата бројна вредност, или њена промена за више различитих радних режима рада соларног генератора. |
| Други корак | $P_1 (\%) \rightarrow \cos \varphi_{inv.cap}(P_1)$   | Са к-ке фактора снаге читава се вредност фактора снаге за капацитивни режим.   |
| Трећи корак | $Q_1(P) = P_1 (\%) \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{inv.cap}(P)}}{\cos \varphi_{inv.cap}(P)}$ | На основу претходне две вредности примењује се формула (*) за израчунавање реактивне снаге   |

б) Соларни инвертор има капацитивни фактор снаге који се може мењати у зависности од активне снаге.



- $P_{1\_50\%}(P_n) = 0,5P_n$
- $P_{1\_40\%}(P_n) = 0,4P_n$
- $P_{1\_30\%}(P_n) = 0,3P_n$
- $P_{1\_20\%}(P_n) = 0,2P_n$
- $P_{1\_10\%}(P_n) = 0,1P_n$
- $P_{1\_0\%}(P_n) = 0$

$S_{inv.n} = 15 \text{ kVA}$ ,  
 $\cos \phi_{inv.cap}$   
 $P_{inv.n} = 15 \text{ kW}$

$$Q_1(P) = P_1(\%) \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \phi_{inv.cap}(P)}}{\cos \phi_{inv.cap}(P)}$$

б) Соларни инвертор има капацитивни фактор снаге који се може мењати у зависности од активне снаге.

Активна снага коју инвертор предаје ЕЕ мрежи зависи од променљиве снаге соларних панела у току једног дана.

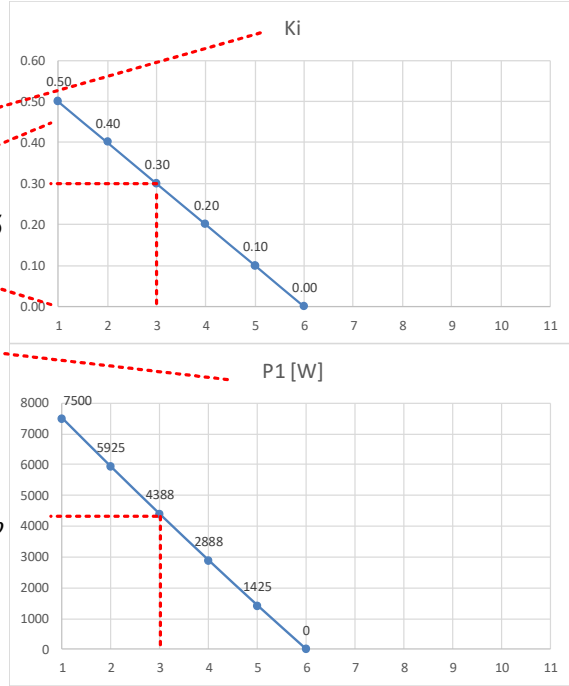
$S_{inv.n} = 15 \text{ kVA}$ ,  
 $\cos \varphi_{inv.cap}$

$P_{1\_50\%}(P_n) = 0,5P_n$   
 $P_{1\_40\%}(P_n) = 0,4P_n$   
 $P_{1\_30\%}(P_n) = 0,3P_n$   
 $P_{1\_20\%}(P_n) = 0,2P_n$   
 $P_{1\_10\%}(P_n) = 0,1P_n$   
 $P_{1\_0\%}(P_n) = 0$

$0 < P / P_n < 0,5$

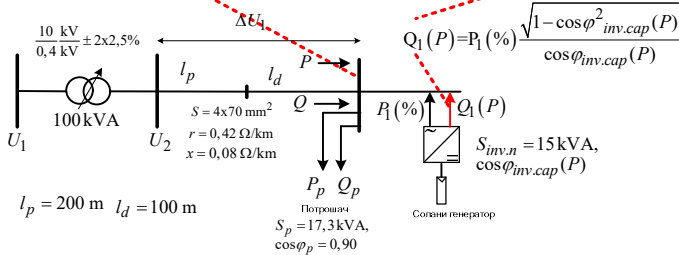
$P_{1\_30\%} = 0,30 \cdot S_{inv.n} \cos \varphi_{inv.cap}$

$Q_1(P) = P_1(\%) \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{inv.cap}(P)}}{\cos \varphi_{inv.cap}(P)}$

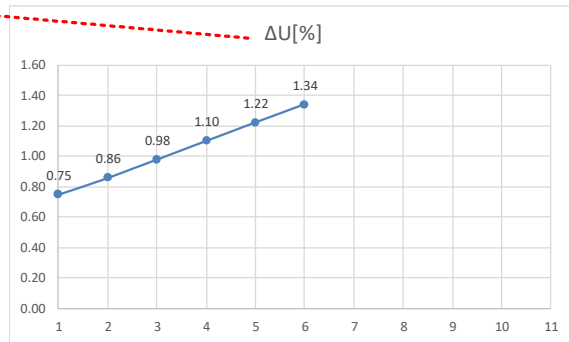


Пад напона на крају вода зависи од променљиве снаге соларног извора:

$$\Delta U_1(\%P_n) = \frac{PR + QX}{U_n} = \frac{(P_p - P_{inv}(\%P_n)) \cdot r \cdot (l_p + l_d) + (Q_p - Q_1(P)) \cdot x \cdot (l_p + l_d)}{U_n}$$



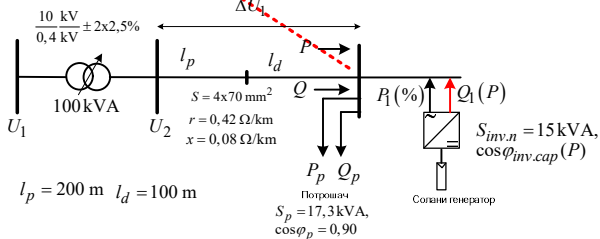
$P_p = S_p \cos \varphi_p = 15,57 \text{ kW}$   
 $Q_p = S_p \sin \varphi_p = 7,54 \text{ kVAr}$



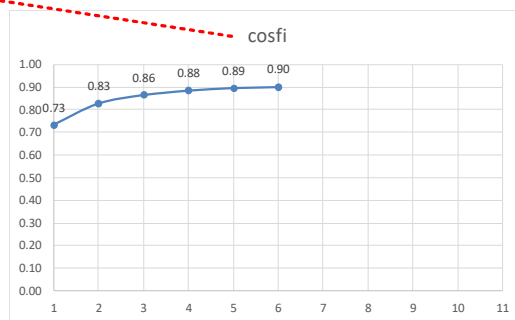
Фактор снаге на крају вода зависи од променљиве снаге соларног извора:

$$\cos \varphi(\%) = \frac{P_p - P_{inv}(\%P_n)}{\sqrt{(P_p - P_{inv}(\%P_n))^2 + (Q_p - Q_1(P))^2}}$$

$Q_1(P) = P_1(\%) \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{inv.cap}(P)}}{\cos \varphi_{inv.cap}(P)}$

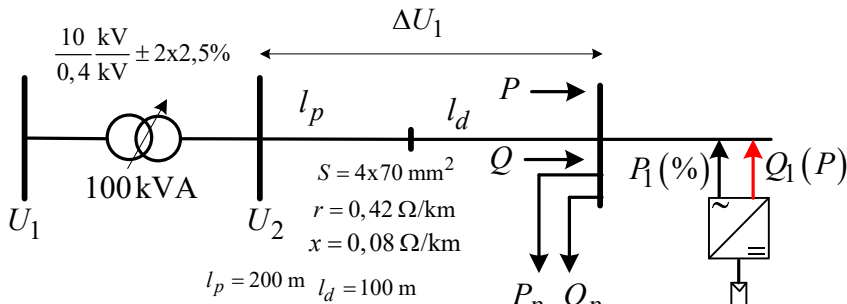


$P_p = S_p \cos \varphi_p = 15,57 \text{ kW}$   
 $Q_p = S_p \sin \varphi_p = 7,54 \text{ kVAr}$



б) Соларни инвертор има капацитивни фактор снаге који се може мењати у зависности од активне снаге.

Нумерички пример - радна тачка са 30% активне снаге инвертора



Потрошач

$$P_p = S_p \cos \varphi_p = 15,57 \text{ kW}$$

$$Q_p = S_p \sin \varphi_p = 7,541 \text{ kVAr}$$

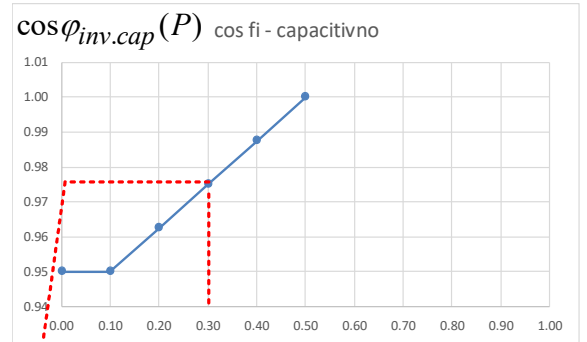
Потрошач

$$S_p = 17,3 \text{ kVA}, \cos \varphi_p = 0,90$$

Солари генератор

$$S_{inv.n} = 15 \text{ kVA},$$

$$\cos \varphi_{inv.cap}(P) \cos \varphi_{inv.cap}(0,3P_n) = 0,9750$$



$$P / P_n = 0,30$$

$$P / P_n$$

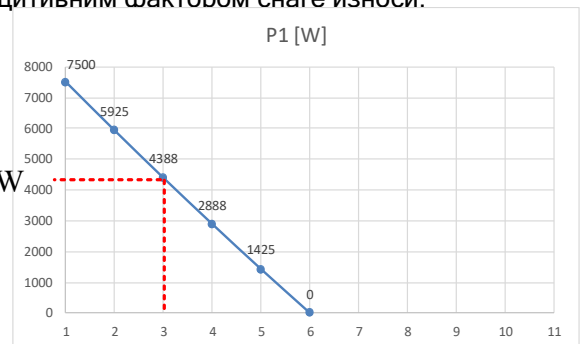
Износ од 30% активне снаге на излазу инвертора који ради са капацитивним фактором снаге износи:

$$P_1(0,3P_n) = 0,3 \cdot S_{inv.n} \cdot \cos_{inv.cap}(0,3P_n)$$

$$P_1(0,3P_n) = 0,3 \cdot 15 \cdot 0,975 = 4.387,5 \text{ W}$$

$$P_1(0,3P_n) = 4387,5 \text{ W}$$

При 30% активне снаге инвертора реактивна снага на излазу инвертора која се ињектира (предаје) у мрежу, (инвертор ради са капацитивним фактором снаге), одређена је према следећем изразу:



$$P / P_n = 0,30$$

$$Q_1(P) = P_1(\%) \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{inv.cap}(P)}}{\cos \varphi_{inv.cap}(P)}$$

$$Q_1(0,3P_n) = P_1(0,3P_n) \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{inv.cap}(0,3P_n)}}{\cos \varphi_{inv.cap}(0,3P_n)} = 4.387,5 \frac{\sqrt{1 - 0,975^2}}{0,975} = 999,92 \text{ VAr}$$

Активна снага на крају вода једнака је разлици активне снаге потрошача и активне снаге инвертора, за расположиву снагу соларних панела:

$$P(\%) = P_p - P_1 = P_p - P_{inv}(\%) = 15,57 - 4,3875 = 11,183 \text{ kW}$$

Реактивна снага на крају вода једнака је разлици реактивне снаге потрошача и реактивне снаге коју инвертор ињектира у мрежу:

$$Q = Q_p - Q_1 = 7,541 - 0,999 = 6,541 \text{ kVAr}$$

Пад напона на крају вода:

$$\Delta U_1(0,3P_n) = \frac{PR + QX}{U_n} = \frac{(P_p - P_{inv}(0,3P_n)) \cdot r \cdot (l_p + l_d) + (Q_p - Q_{inv}(0,3P_n)) \cdot x \cdot (l_p + l_d)}{U_n}$$

$$\Delta U_1(0,3P_n) = \frac{(15,57 - 4,3875) \cdot 0,42 \cdot (0,2 + 0,1) + (7,541 - 0,999) \cdot 0,08 \cdot (0,2 + 0,1)}{0,4} = 3,91 \text{ V}$$

Напон на крају вода:

$$U_1(0,3P_n) = U_n - \Delta U_1(0,3P_n) = 400 - 3,91 = 396,09 \text{ V}$$

Процентуални пад напона на крају вода:

$$\Delta u_1 = \frac{400 - U_1(0,3P_n)}{400} = \frac{400 - 396,09}{400} 100\% = 0,98\%$$



б) Соларни инвертор има капацитивни фактор снаге који се може мењати у зависности од активне снаге.

Нумерички пример - радна тачка са 30% активне снаге инвертора

Фактор снаге на крају вода зависи од променљиве снаге соларног извора:

$$\cos \varphi(\%P_n) = \frac{P_p - P_{inv}(\%P_n)}{\sqrt{(P_p - P_{inv}(\%P_n))^2 + (Q_p - Q_1(P))^2}}$$

$$\cos \varphi(0,3P_n) = \frac{P_p - P_{inv}(0,3P_n)}{\sqrt{(P_p - P_{inv}(0,3P_n))^2 + (Q_p - Q_{inv}(0,3P_n))^2}}$$

$$P(\%) = P_p - P_1 = P_p - P_{inv}(\%) = 15,57 - 4,3875 = 11,183 \text{ kW}$$

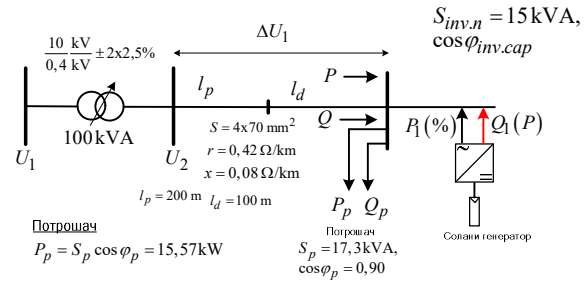
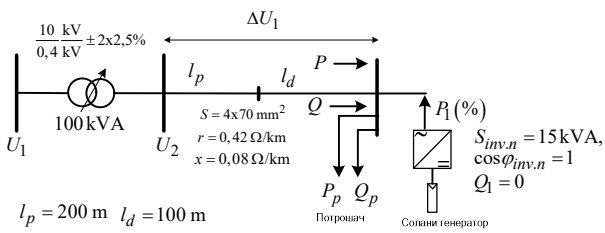
$$Q = Q_p - Q_1 = 7,541 - 0,999 = 6,541 \text{ kVAr}$$

$$\cos \varphi(0,3P_n) = \frac{15,57 - 4,3875}{\sqrt{(15,57 - 4,3875)^2 + (7,541 - 0,999)^2}} = 0,86$$

Поређење утицаја рада инвертора соларног генератора на фактор снаге потрошача према мрежи.

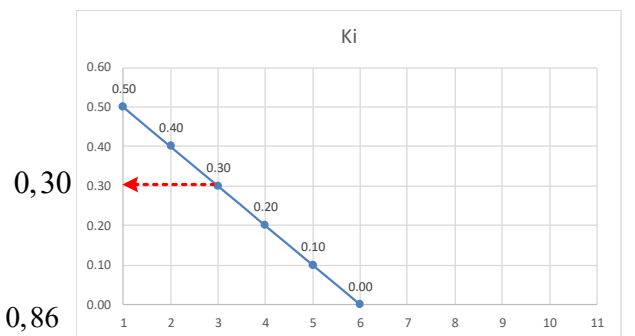
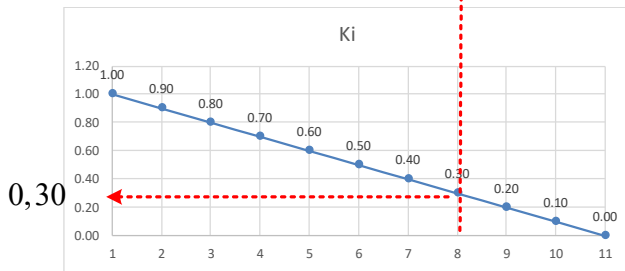
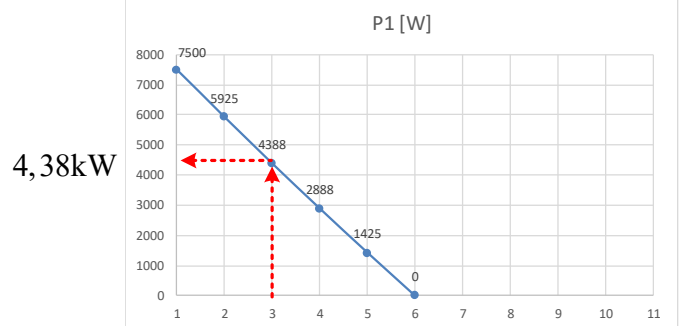
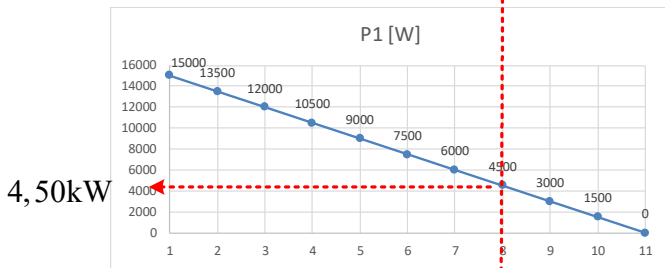
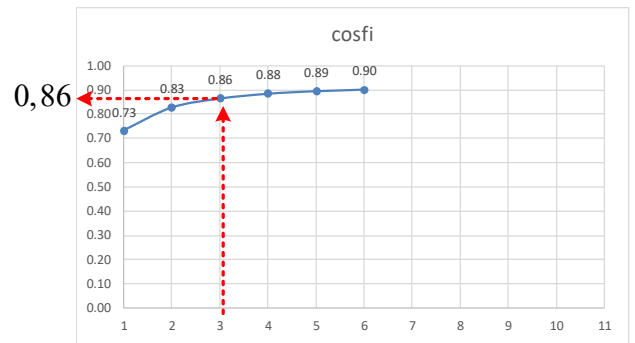
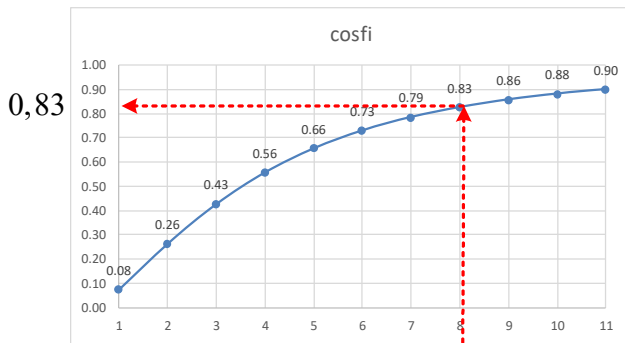
Лево је приказан пример када инвертор ради са фактором снаге 1.

Десно је приказан пример инвертора који ради са капацитивним фактором снаге и има могућност регулације активне и реактивне снаге на свом излазу (Smart inverter):



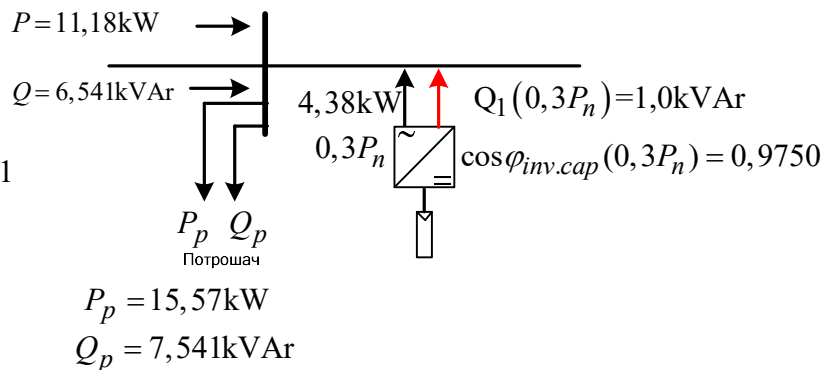
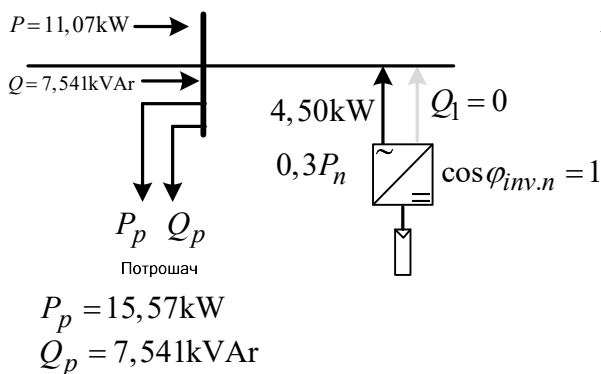
$$\cos \varphi(\%) = \frac{P_p - P_{inv}(\%P_n)}{\sqrt{(P_p - P_{inv}(\%P_n))^2 + Q_p^2}}$$

$$\cos \varphi(\%P_n) = \frac{P_p - P_{inv}(\%P_n)}{\sqrt{(P_p - P_{inv}(\%P_n))^2 + (Q_p - Q_1(P))^2}}$$



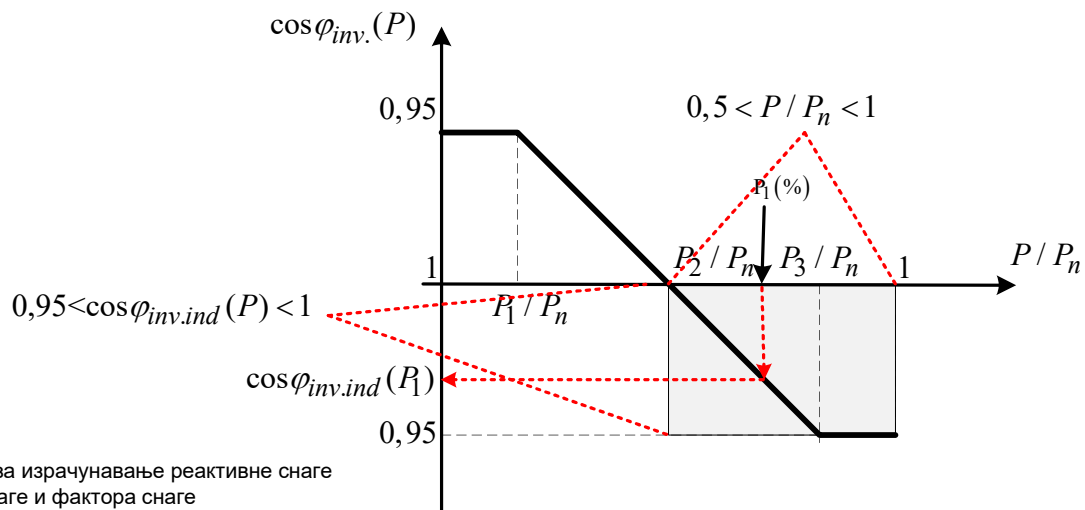
cos φmreza = 0,83

cos φmreza = 0,86



2. Индуктивни фактор снаге инвертора - наизменична струја на излазу из инвертора фазно касни у односу на излазни наизменични напон инвертора.

$$\cos \varphi_{inv.ind}(P)$$



Општа формула за израчунавање реактивне снаге  
Преко активне снаге и фактора снаге

$$Q = P \cdot \operatorname{tg} \varphi = P \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi}^*$$

Реактивна снага коју инвертор може да абсорбује из мреже се израчунава на основу произведене активне снаге на излазу из инвертора и израчунате вредности фактора снаге са к-ке фактора снаге за индуктивно оптерећење:

Први корак  $P_1 (\%)$

Активна снага која се добија као мерени податак на излазу из инвертора. У задацима ће бити задата бројна вредност, или њена промена за више различитих радних режима рада соларног генератора.

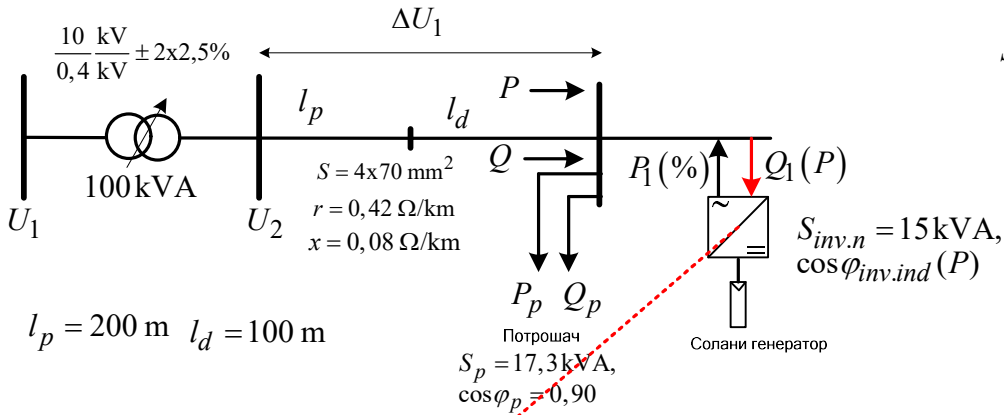
Други корак  $P_1 (\%) \rightarrow \cos \varphi_{inv.ind}(P_1)$

Са к-ке фактора снаге очитав се вредност фактора снаге за индуктивни режим.

Трећи корак  $Q_1(P) = P_1 (\%) \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{inv.ind}(P)}}{\cos \varphi_{inv.ind}(P)}$

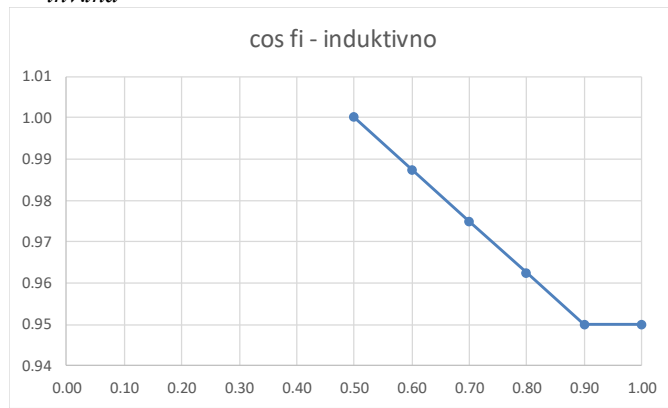
На основу претходне две вредности примењује се формула (\*) за израчунавање реактивне снаге

в) Соларни инвертор има индуктивни фактор снаге који се може мењати у зависности од активне снаге.



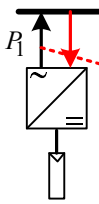
$$S_1 = 15 \text{ kVA}, \cos\varphi_{ind.} = 0,95$$

$$\cos\varphi_{inv.ind}(P)$$



P/Pn	cos fi
0.5	1
0.6	0.9875
0.7	0.975
0.8	0.9625
0.9	0.95
1	0.95

$$P/P_n$$



$$P_1_{100\%}(P_n) = 1,0P_n$$

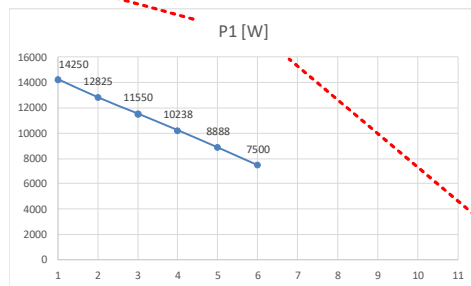
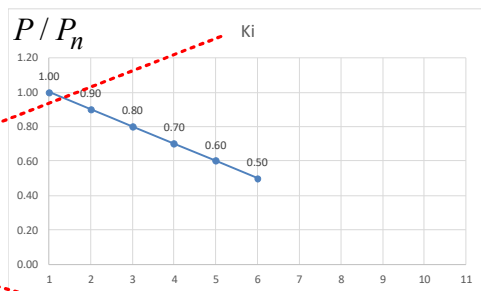
$$P_1_{90\%}(P_n) = 0,9P_n$$

$$P_1_{80\%}(P_n) = 0,8P_n$$

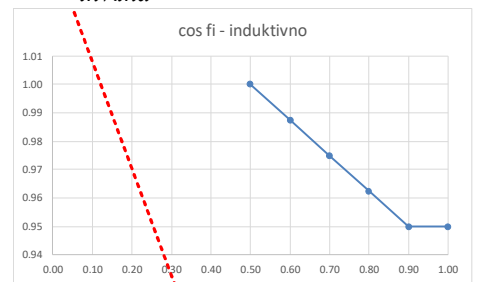
$$P_1_{70\%}(P_n) = 0,7P_n$$

$$P_1_{60\%}(P_n) = 0,6P_n$$

$$P_1_{50\%}(P_n) = 0,5P_n$$



$$\cos\varphi_{inv.ind}(P)$$



$$P/P_n$$

$$S_{inv.n} = 15 \text{ kVA},$$

$$\cos\varphi_{inv.ind}(P)$$

$$P_{inv.n} = 15 \text{ kW}$$

$$Q_1(P) = P_1(\%) \frac{\sqrt{1 - \cos^2\varphi_{inv.ind}(P)}}{\cos\varphi_{inv.ind}(P)}$$

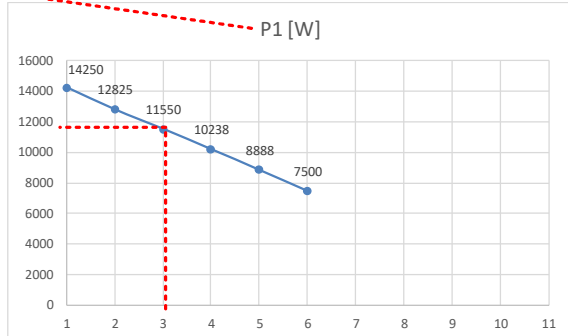
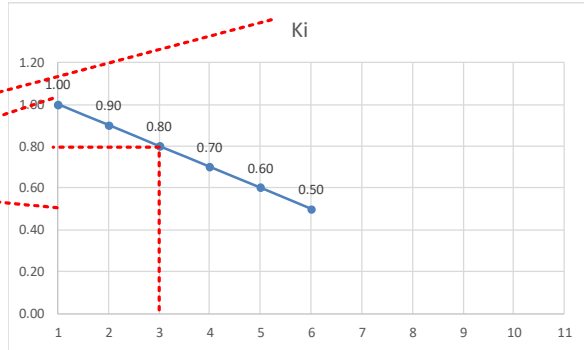
в) Соларни инвертор има индуктивни фактор снаге који се може мењати у зависности од активне снаге.

Активна снага коју инвертор предаје ЕЕ мрежи зависи од променљиве снаге соларних панела у току једног дана.

$S_{inv.n} = 15 \text{ kVA}$ ,  
 $\cos \varphi_{inv.ind}(P)$

- $P_{1\_100\%}(P_n) = 1,0 P_n$
- $P_{1\_90\%}(P_n) = 0,9 P_n$
- $P_{1\_80\%}(P_n) = 0,8 P_n$
- $P_{1\_70\%}(P_n) = 0,7 P_n$
- $P_{1\_60\%}(P_n) = 0,6 P_n$
- $P_{1\_50\%}(P_n) = 0,5 P_n$

$0,5 < P / P_n < 1,0$

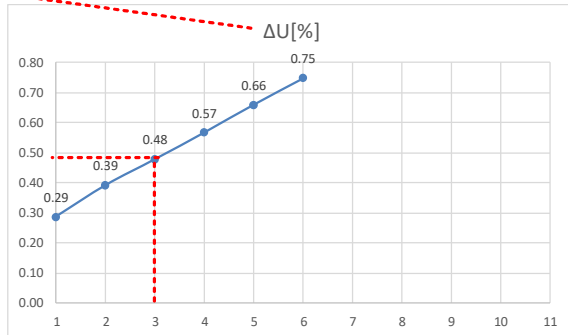
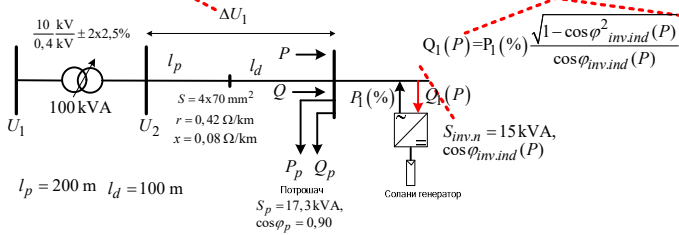


$P_{1\_80\%} = 0,80 \cdot S_{inv.n} \cos \varphi_{inv.ind}$

$Q_1(P) = P_1(\%) \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{inv.ind}(P)}}{\cos \varphi_{inv.ind}(P)}$

Пад напона на крају вода зависи од променљиве снаге соларног извора:

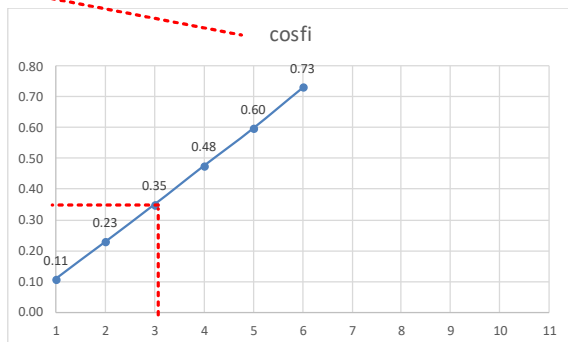
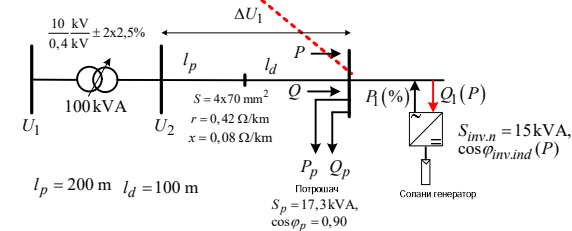
$$\Delta U_1(\%P_n) = \frac{PR + QX}{U_n} = \frac{(P_p - P_{inv}(\%P_n)) \cdot r \cdot (l_p + l_d) + (Q_p + Q_1(P)) \cdot x \cdot (l_p + l_d)}{U_n}$$



$P_p = S_p \cos \varphi_p = 15,57 \text{ kW}$   
 $Q_p = S_p \sin \varphi_p = 7,54 \text{ kVAr}$

Фактор снаге на крају вода зависи од променљиве снаге соларног извора:

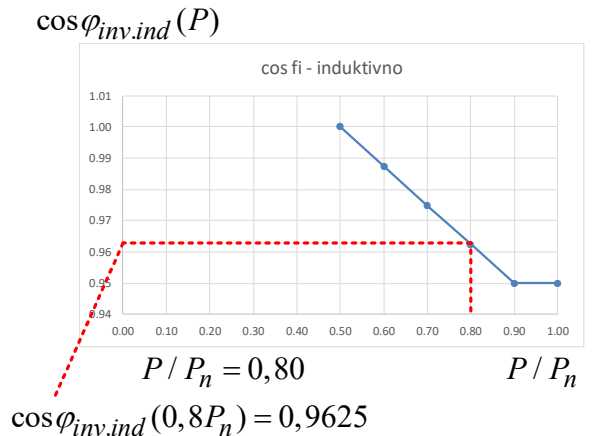
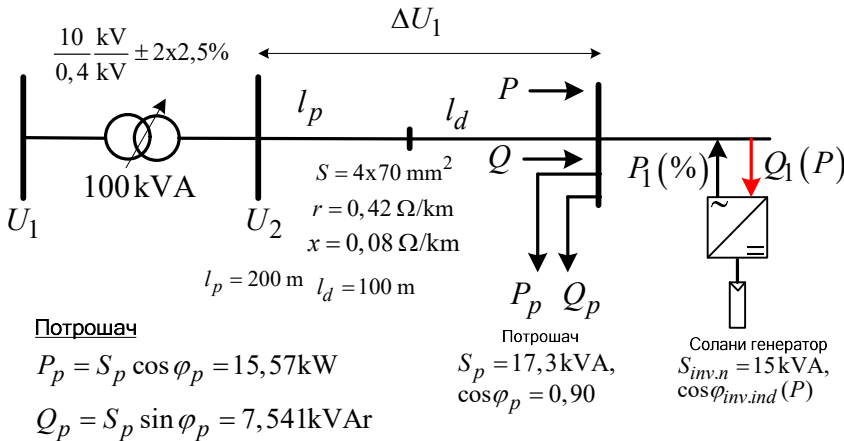
$$\cos \varphi(\%) = \frac{P_p - P_{inv}(\%P_n)}{\sqrt{(P_p - P_{inv}(\%P_n))^2 + (Q_p + Q_1(P))^2}}$$



$P_p = S_p \cos \varphi_p = 15,57 \text{ kW}$   
 $Q_p = S_p \sin \varphi_p = 7,54 \text{ kVAr}$

в) Соларни инвертор има индуктивни фактор снаге који се може мењати у зависности од активне снаге.

Нумерички пример - радна тачка са 80% активне снаге инвертора



Износ од 80% активне снаге на излазу инвертора који ради са индуктивним фактором снаге износи:

$$P_1(0,8P_n) = 0,8 \cdot S_{inv.n} \cdot \cos_{inv.cap}(0,8P_n)$$

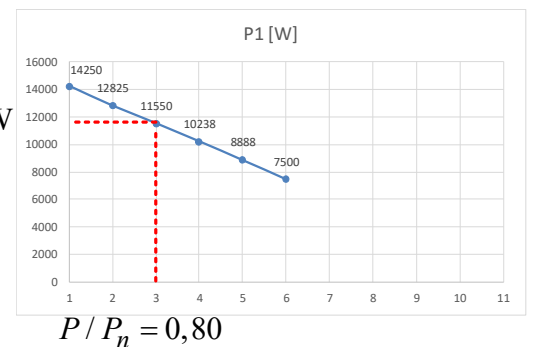
$$P_1(0,8P_n) = 0,8 \cdot 15 \cdot 0,9625 = 11.550 \text{ W}$$

$$P_1(0,8P_n) = 11.550 \text{ W}$$

При 80% активне снаге инвертора реактивна снага на излазу инвертора која се апсорбује (преузима) из мреже, (инвертор ради са индуктивним фактором снаге), одређена је према следећем изразу:

$$Q_1(P) = P_1(\%) \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{inv.ind}(P)}}{\cos \varphi_{inv.ind}(P)}$$

$$Q_1(0,8P_n) = P_1(0,8P_n) \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{inv.ind}(0,8P_n)}}{\cos \varphi_{inv.ind}(0,8P_n)} = 11.550 \frac{\sqrt{1 - 0,9625^2}}{0,9625} = 3.255 \text{ VAr}$$



Активна снага на крају вода једнака је разлици активне снаге потрошача и активне снаге инвертора, за расположиву снагу соларних панела:

$$P(\%) = P_p - P_1 = P_p - P_{inv}(\%) = 15,57 - 11,55 = 4,02 \text{ kW}$$

Реактивна снага на крају вода једнака је збиру реактивне снаге потрошача и реактивне снаге коју инвертор апсорбује из мреже:

$$Q = Q_p + Q_1 = 7,541 + 3,255 = 10,796 \text{ kVAr}$$

Инвертор ради са индуктивним фактором снаге је потрошач реактивне снаге.

Пад напона на крају вода:

$$\Delta U_1(0,8P_n) = \frac{PR + QX}{U_n} = \frac{(P_p - P_{inv}(0,8P_n)) \cdot r \cdot (l_p + l_d) + (Q_p + Q_{inv}(0,8P_n)) \cdot x \cdot (l_p + l_d)}{U_n}$$

$$\Delta U_1(0,8P_n) = \frac{(15,57 - 11,55) \cdot 0,42 \cdot (0,2 + 0,1) + (7,541 + 3,255) \cdot 0,08 \cdot (0,2 + 0,1)}{0,4} = 1,91 \text{ V}$$

Напон на крају вода:

$$U_1(0,8P_n) = U_n - \Delta U_1(0,8P_n) = 400 - 1,91 = 398,09 \text{ V}$$

Процентуални пад напона на крају вода:

$$\Delta u_1 = \frac{400 - U_1(0,8P_n)}{400} = \frac{400 - 398,09}{400} 100\% = 0,48\%$$

в) Соларни инвертор има индуктивни фактор снаге који се може мењати у зависности од активне снаге.  
Нумерички пример - радна тачка са 80% активне снаге инвертора

Фактор снаге на крају вода зависи од променљиве снаге соларног извора:

$$\cos \varphi(\%) = \frac{P_p - P_{inv}(\%P_n)}{\sqrt{(P_p - P_{inv}(\%P_n))^2 + (Q_p + Q_1(P))^2}}$$

$$\cos \varphi(0,8P_n) = \frac{P_p - P_{inv}(0,8P_n)}{\sqrt{(P_p - P_{inv}(0,8P_n))^2 + (Q_p + Q_{inv}(0,8P_n))^2}}$$

$$P(\%) = P_p - P_1 = P_p - P_{inv}(\%) = 15,57 - 11,55 = 4,02 \text{ kW}$$

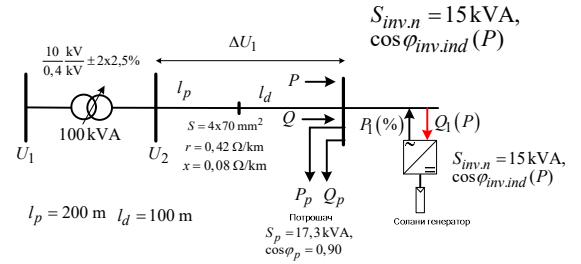
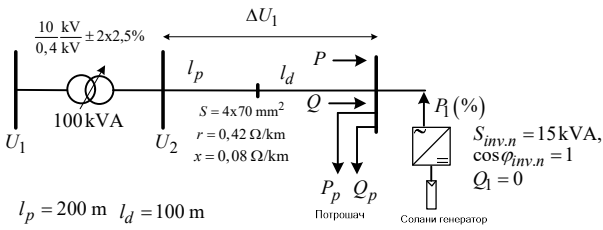
$$Q = Q_p + Q_1 = 7,541 + 3,255 = 10,796 \text{ kVAr}$$

$$\cos \varphi(0,8P_n) = \frac{15,57 - 11,55}{\sqrt{(15,57 - 11,55)^2 + (7,541 + 3,255)^2}} = 0,35$$

Поређење утицаја рада инвертора соларног генератора на фактор снаге потрошача према мрежи.

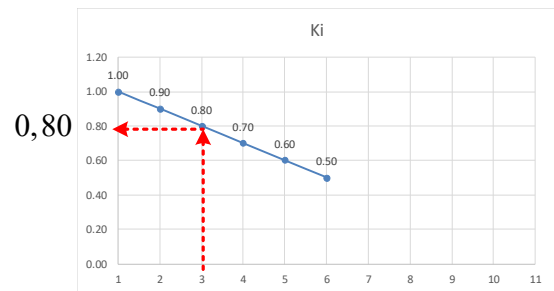
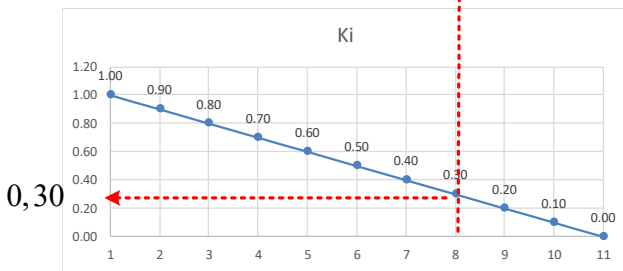
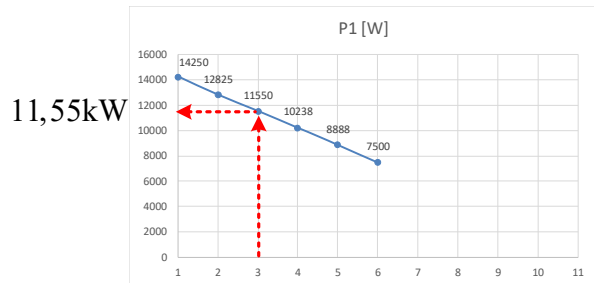
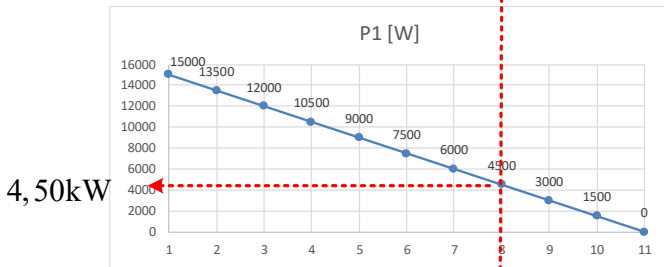
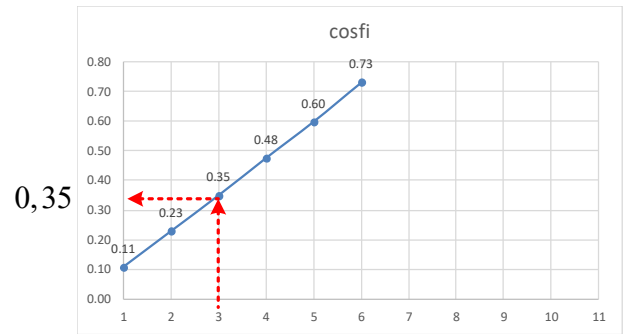
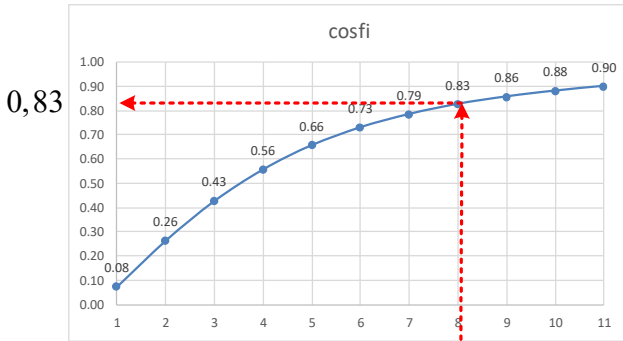
Лево је приказан пример када инвертор ради са фактором снаге 1.

Десно је приказан пример инвертора који ради са индуктивним фактором снаге и има могућност регулације активне и реактивне снаге на свом излазу (Smart inverter):



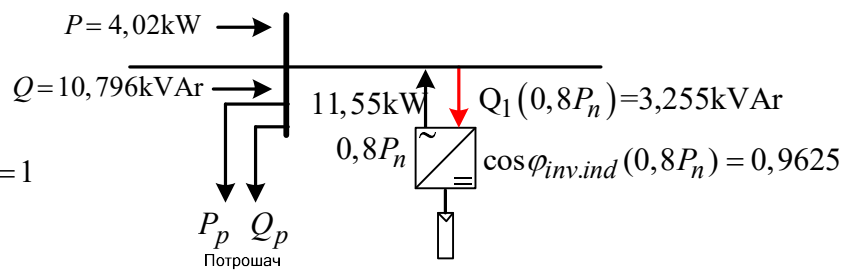
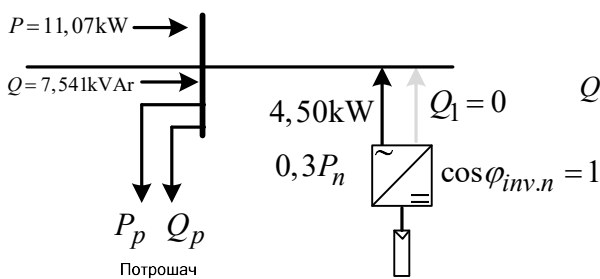
$$\cos \varphi (\%) = \frac{P_p - P_{inv}(\%P_n)}{\sqrt{(P_p - P_{inv}(\%P_n))^2 + Q_p^2}}$$

$$\cos \varphi (\%) = \frac{P_p - P_{inv}(\%P_n)}{\sqrt{(P_p - P_{inv}(\%P_n))^2 + (Q_p + Q_1(P))^2}}$$



$\cos \varphi_{mreza} = 0,83$

$\cos \varphi_{mreza} = 0,35$



$P_p = 15,57 \text{ kW}$   
 $Q_p = 7,541 \text{ kVAr}$

$P_p = 15,57 \text{ kW}$   
 $Q_p = 7,541 \text{ kVAr}$