



2012.03.31.

Hálózati áramellátás és feszültségminőség feladatgyűjtemény

BMEVIVEM178

Dr. Dán András
Hartmann Bálint

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamos Energetika Tanszék

Tartalomjegyzék

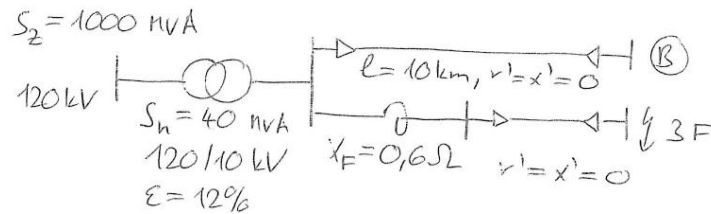
Tartalomjegyzék	i
1 Feladatok	1
1.1 Középfeszültségű hálózatok viselkedése zárlatok esetén	1
1.2 Feszültségszabályozás, meddőkompenzálás	2
1.3 Aszimmetria	3
1.4 Villogás (Flicker)	3
1.5 Harmonikusok	3
2 Megoldások.....	6
2.1 Középfeszültségű hálózatok viselkedése zárlatok esetén	6
2.2 Feszültségszabályozás, meddőkompenzálás	9
2.3 Aszimmetria	13
2.4 Villogás (Flicker)	15
2.5 Harmonikusok	16

1 Feladatok

1.1 Középfeszültségű hálózatok viselkedése zárlatok esetén

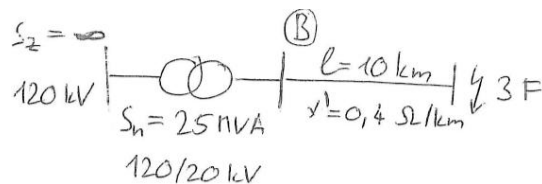
1.1.1 1. Feladat

Számítsa ki a B gyűjtősínen maradó feszültség százalékos értékét az alábbi hálózat esetén, ha a 10 kV-os oldalon 3F zárlat van!



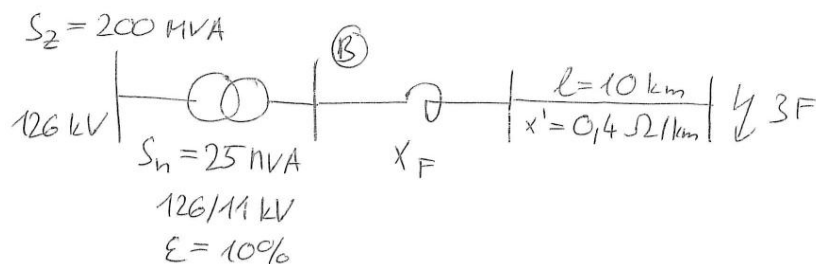
1.1.2 2. Feladat

Milyen drop értékű transzformátorra van szükségünk, ha a végtelen hálózatra csatlakozó 120/20 kV-os, 25 MVA névleges teljesítményű transzformátor 20 kV-os oldalán a gyűjtősín maradó feszültségét a leágazásban 10 km távolságban bekövetkező 3F zárlat ideje alatt $0,5 \cdot U_n$ értéken kell tartani?



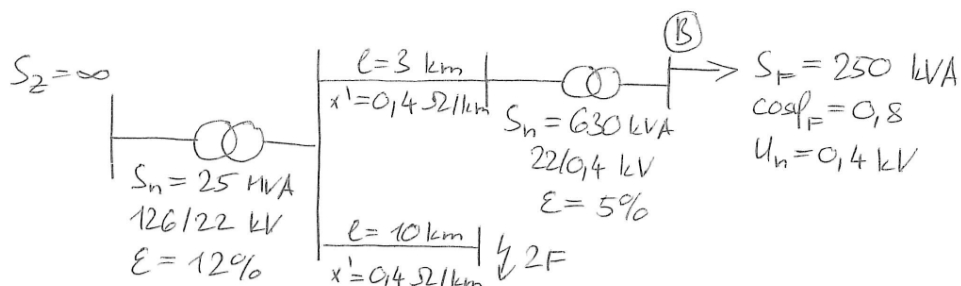
1.1.3 3. Feladat

Milyen impedanciájú zárlatkorlátozó fojtótekerésre van szükség, ha az ábrán adott esetben a B gyűjtősín maradó feszültségét a zárlat ideje alatt $0,8 \cdot U_n$ értéken kell tartani?



1.1.4 4. Feladat

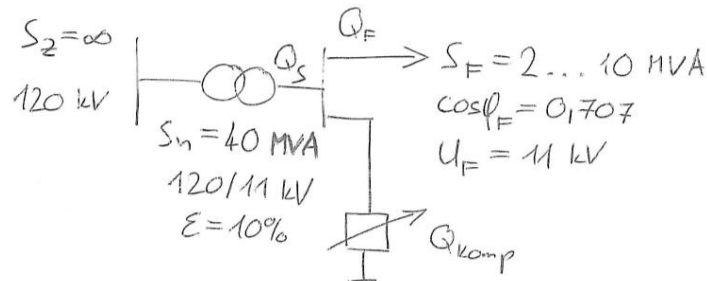
Mekkora lesz B gyűjtősín maradó feszültsége az alábbi hálózaton jelölt 2F zárlat esetén?



1.2 Feszültségszabályozás, meddőkompenzáció

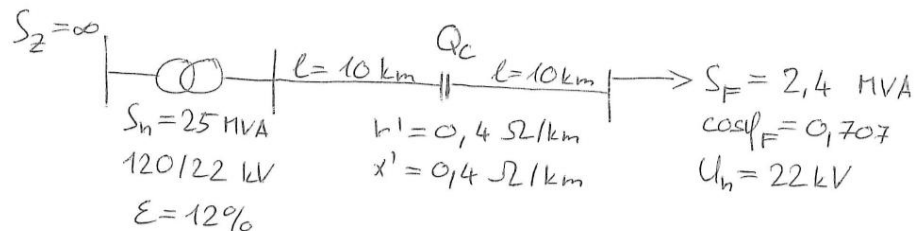
1.2.1 5. Feladat

Alkalmazzon az alábbi hálózaton szabályozott meddőteljesítmény kompenzációt $\cos\varphi=0,98$ -ra! Ismertesse az adott rendszer meddőteljesítmény diagramját Q_S , Q_F és Q_{KOMP} berajzolásával!



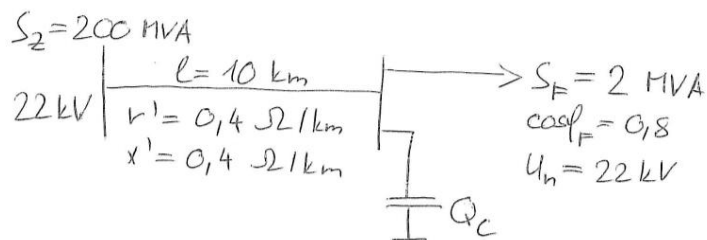
1.2.2 6. Feladat

Mekkora teljesítményű soros kondenzátorral lehet az ábra szerinti hálózaton a fogyasztónál a hosszirányú feszültségesést 5%-kal csökkenteni?



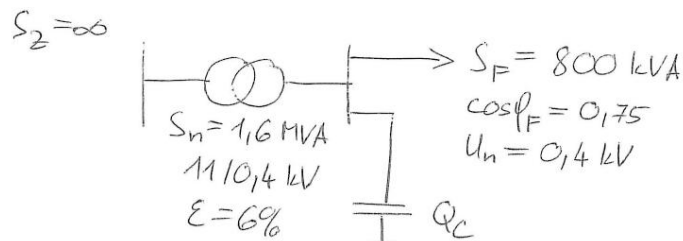
1.2.3 7. Feladat

Mekkora teljesítményű sőt kondenzátorral lehet az ábra szerinti hálózaton a fogyasztónál 10%-kal csökkenteni a hosszirányú feszültségesés nagyságát?



1.2.4 8. Feladat

Mekkora teljesítményű meddőkompenzátorral lehet $E=U$ állandó fogyasztói feszültséget tartani az ábrán látható esetben? Mekkora lesz a hálózati betápnál az eredő teljesítménytényező?



1.3 Aszimmetria

1.3.1 9. Feladat

Határozza meg egy 5 MVA teljesítményű, tirisztoros nagyvasúti villamos mozdony által keltett feszültségaszimmetria nagyságát az 1000 MVA zárlati teljesítményű 120 kV-os hálózatban a 120 kV-os csatlakozási ponton!

1.4 Villogás (Flicker)

1.4.1 10. Feladat

Milyen sebességű kompenzátorral lehet felére csökkenteni az ívkemence villogását, ha a szinuszos moduláció frekvenciája 8 Hz, a kompenzátor meddőteljesítménye pedig ugyanakkora, mint az ívkemence meddőteljesítmény-változása?

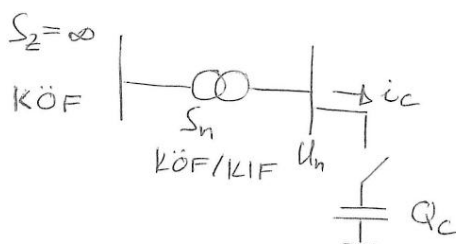
1.4.2 11. Feladat

Mennyivel fog csökkenni az ívkemence által okozott villogás nagysága, ha a kompenzátor meddőteljesítménye megegyezik az ívkemence meddőteljesítmény-változásával, a kompenzátor késleltetése pedig 60°? Mekkora késleltetési szög esetén csökkenne harmadára a villogás?

1.5 Harmonikusok

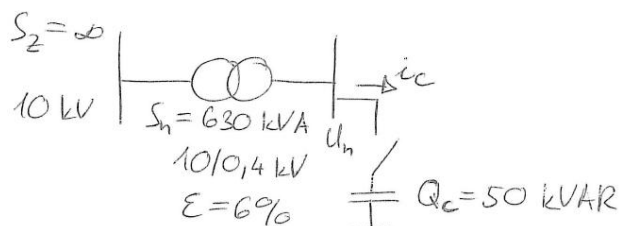
1.5.1 12. Feladat

Milyen drop értéke legyen az ábrán látható transzformátornak, hogy a megadott hálózati adatokkal a kondenzátor telep bekapcsolási áramának csúcserőértéke a névleges áramának 8-szorosa legyen?



1.5.2 13. Feladat

Számítsa ki az ábrán látható esetre a kondenzátor bekapcsolási áramát és a kondenzátor alapharmonikus feszültségét állandósult állapotban!

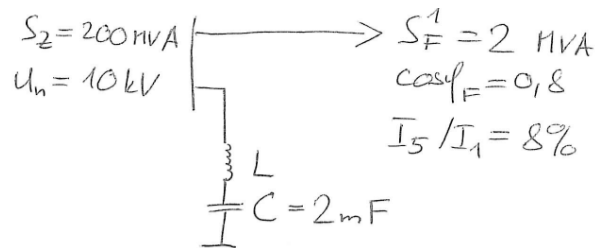


1.5.3 14. Feladat

Határozza meg egy 5 MVA teljesítményű, tirisztoros nagyvasúti villamos mozdony által keltett harmadik harmonikus áram által az 1000 MVA zárlati teljesítményű 120 kV-os hálózatban keltett feszültségtorzulás nagyságát a 120 kV-os csatlakozási ponton! ($I_3 = I_1/3$)

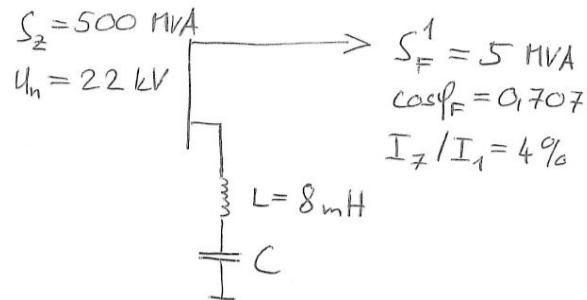
1.5.4 15. Feladat

Mekkora induktivitást kell választani a veszteségmentes szűrő paraméterének, ha célunk az, hogy az ötödik harmonikusra nézve $K_h = 0,1$ szűrési tényezőt érjünk el?



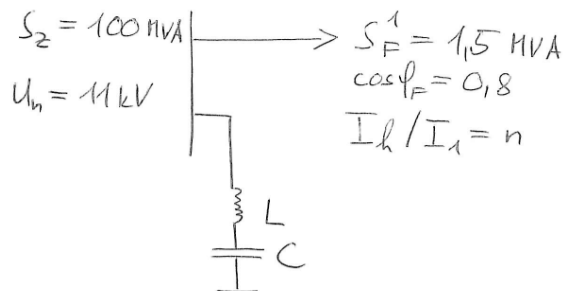
1.5.5 16. Feladat

Mekkora kapacitást kell választani a veszteségmentes szűrő paraméterének, ha célunk az, hogy a hetedik harmonikusra nézve $K_h = 0,05$ szűrési tényezőt érjünk el?



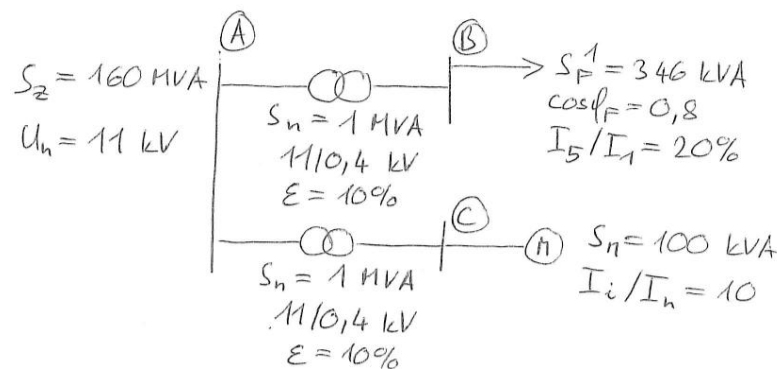
1.5.6 17. Feladat

Fejezze ki egymással a szűrő induktív és kapacitív reaktanciájának nagyságát, ha az ábrán látható harmonikus forrás h. rendszámú harmonikusára K_h nagyságú szűrést kívánunk biztosítani!



1.5.7 18. Feladat

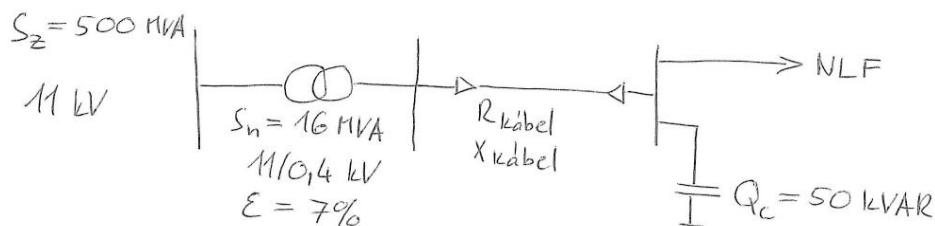
Határozza meg a nemlineáris fogyasztó által keltett harmonikus feszültségeket a hálózat A, B és C gyűjtősinén abszolút és százalékos értékben!



1.5.8 19. Feladat

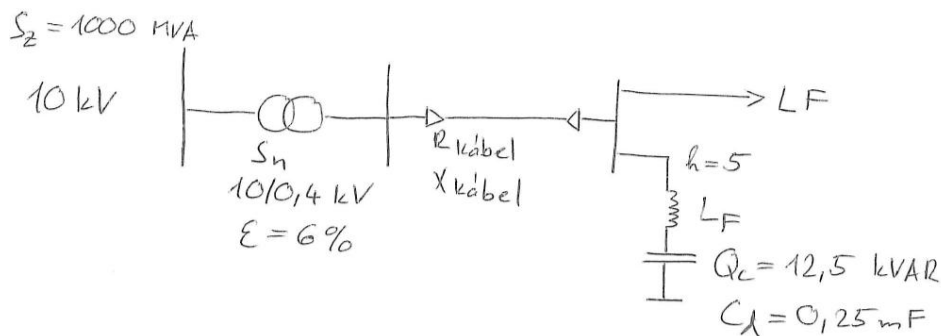
A nemlineáris, meddőkompenzátorral ellátott fogyasztó szemszögéből nézve mely harmonikusra fog párhuzamos rezonanciát okozni a hálózat? Milyen nagyságú harmonikus áram záródik a hálózat 11 kV-os

gyűjtősinén, ha a transzformátor ellenállása $R_{TR}=0,032 \Omega$? (A vizsgálat során elhanyagolhatja a hálózat induktivitását, valamint a kábel induktivitását és kapacitását.)



1.5.9 20. Feladat

Az ábrán látható hálózaton a kisfeszültségű fogyasztónál meddőkompenzálásra van szükség, amit egy kapcsolható kondenzátortelep valósít meg. A kondenzátor egységei hangolható szűrőnek vannak kialakítva az ötödik harmonikusra. Mekkora névleges teljesítményű transzformátor lehet a hálózatban ahhoz, hogy a hangolt szűrő ne terhelődjön túl a középfeszültségű hálózathoz érkező harmonikusok következtében? (Megfelelően tekintjük a beállítást, ha $f^* > 1,05$. A vizsgálat során elhanyagolhatja a hálózat induktivitását, valamint a kábel induktivitását és kapacitását.)

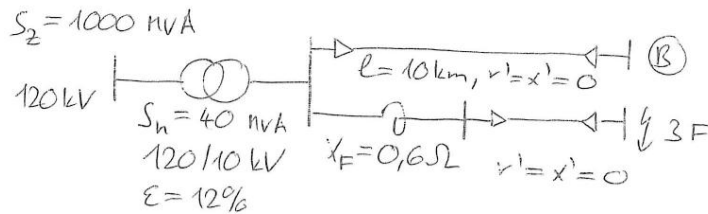


2 Megoldások

2.1 Középfeszültségű hálózatok viselkedése zárlatok esetén

2.1.1 1. Feladat

Számítsa ki a B gyűjtősínen maradó feszültség százalékos értékét az alábbi hálózat esetén, ha a 10 kV-os oldalon 3F zárlat van!



Számítsuk ki a helyettesítő képhez szükséges impedancia értékeket

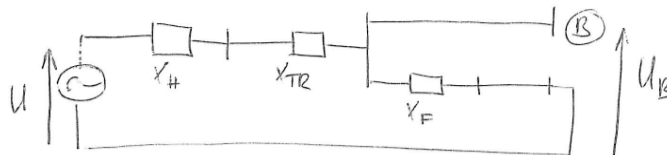
$$X_H = \frac{U_n^2}{S_z} = \frac{10 \text{ kV}^2}{1000 \text{ MVA}} = 0,1 \Omega$$

$$X_{TR} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{12}{100} \cdot \frac{10 \text{ kV}^2}{40 \text{ MVA}} = 0,3 \Omega$$

$$R_{VEZ} \cong 0 \Omega; X_{VEZ} \cong 0 \Omega$$

$$X_F = 0,6 \Omega$$

Rajzoljuk fel a hálózat pozitív sorrendű helyettesítő képét

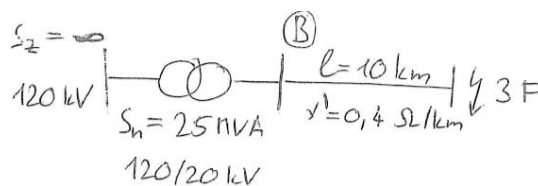


Ez alapján B gyűjtősín maradó feszültsége

$$U_B = U \cdot \frac{X_F}{X_H + X_{TR} + X_F} = \frac{10 \text{ kV}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{0,6 \Omega}{0,1 + 0,3 + 0,6 \Omega} = 3,46 \text{ kV}$$

2.1.2 2. Feladat

Milyen drop értékű transzformátorra van szükségünk, ha a végtelen hálózatra csatlakozó 120/20 kV-os, 25 MVA névleges teljesítményű transzformátor 20 kV-os oldalán a gyűjtősín maradó feszültségét a leágazásban 10 km távolságban bekövetkező 3F zárlat ideje alatt $0,5 \cdot U_n$ értéken kell tartani?



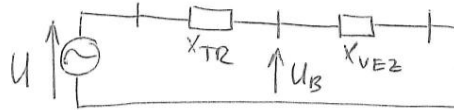
Számítsuk ki a helyettesítő képhez szükséges impedancia értékeket

$$X_H = 0 \Omega$$

$$X_{TR} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{20 \text{ kV}^2}{25 \text{ MVA}} = \varepsilon \cdot 0,16 \Omega$$

$$X_{VEZ} = l_{VEZ} \cdot x'_{VEZ} = 10 \text{ km} \cdot 0,4 \frac{\Omega}{\text{km}} = 4 \Omega$$

Rajzoljuk fel a hálózat pozitív sorrendű helyettesítő képét



Ez alapján a vizsgált gyűjtősín (B) maradó feszültsége

$$U_B = 0,5 \cdot U = U \cdot \frac{X_{VEZ}}{X_{TR} + X_{VEZ}} = \frac{20 \text{ kV}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{4 \Omega}{X_{TR} + 4 \Omega}$$

Rendezve

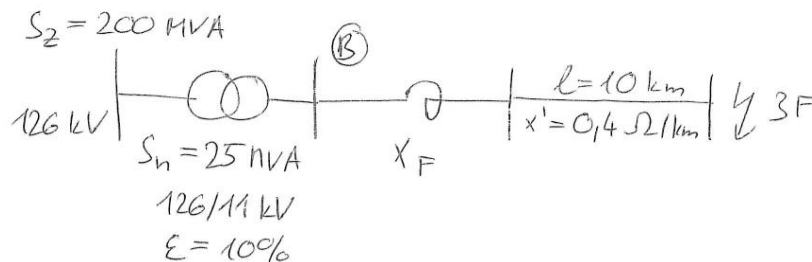
$$X_{TR} = 4 \Omega = \varepsilon \cdot 0,16 \Omega$$

Ebből

$$\varepsilon = 25\%$$

2.1.3 3. Feladat

Milyen impedanciájú zárlatkorlátozó fojtótekercsre van szükség, ha az ábrán adott esetben a B gyűjtősín maradó feszültségét a zárlat ideje alatt $0,8 \cdot U_n$ értéken kell tartani?



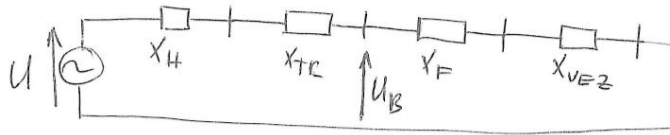
Számítsuk ki a helyettesítő képhez szükséges impedancia értékeket

$$X_H = \frac{U_n^2}{S_z} = \frac{11 \text{ kV}^2}{200 \text{ MVA}} = 0,605 \Omega$$

$$X_{TR} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{10}{100} \cdot \frac{11 \text{ kV}^2}{25 \text{ MVA}} = 0,484 \Omega$$

$$X_{VEZ} = l_{VEZ} \cdot x'_{VEZ} = 10 \text{ km} \cdot 0,4 \frac{\Omega}{\text{km}} = 4 \Omega$$

Rajzoljuk fel a hálózat pozitív sorrendű helyettesítő képét



Ez alapján B gyűjtősin maradó feszültsége

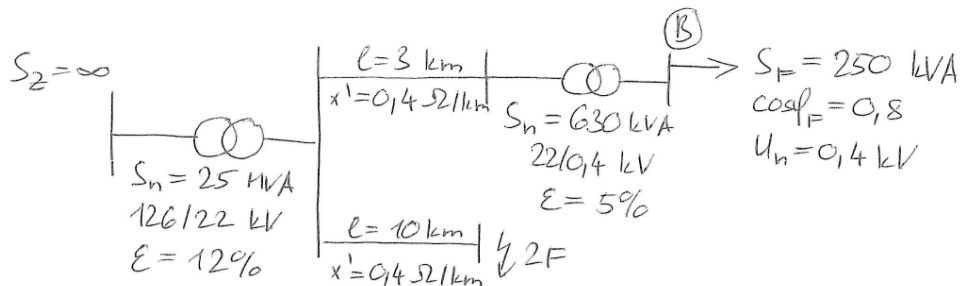
$$U_B = 0,8 \cdot U = U \cdot \frac{X_F + X_{VEZ}}{X_H + X_{TR} + X_F + X_{VEZ}} = \frac{11 \text{ kV}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{X_F + 4 \Omega}{X_F + 5,089 \Omega}$$

Az egyenletet rendezve

$$X_F = 0,356 \Omega$$

2.1.4 4. Feladat

Mekkora lesz B gyűjtősin maradó feszültsége az alábbi hálózaton jelölt 2F zárlat esetén?



A zárlat során bekövetkező folyamatok vizsgálatakor a fogyasztót elhanyagolhatjuk. Ezzel a közelítéssel B gyűjtősin feszültsége meg fog egyezni a 126/22 kV-os transzformátor 22 kV-os oldalának feszültségével.

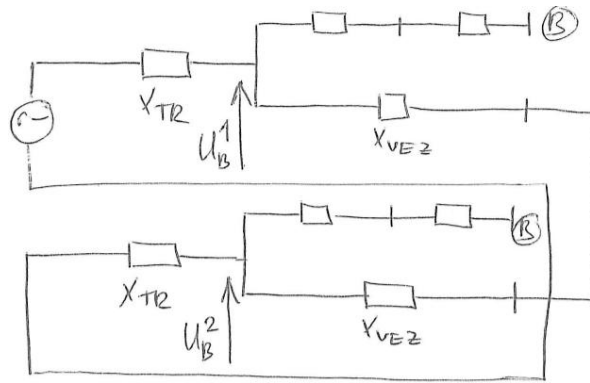
Számítsuk ki a helyettesítő képhez szükséges impedancia értékeket

$$X_H = 0 \Omega$$

$$X_{TR} = \frac{\epsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{12}{100} \cdot \frac{22 \text{ kV}^2}{25 \text{ MVA}} = 2,32 \Omega$$

$$X_{VEZ} = l_{VEZ} \cdot x'_{VEZ} = 10 \text{ km} \cdot 0,4 \frac{\Omega}{\text{km}} = 4 \Omega$$

Rajzoljuk fel a hálózat pozitív és negatív sorrendű helyettesítő képét a zárlatnak megfelelően. Feltételezzük, hogy a pozitív és negatív sorrendi reaktanciák értéke megegyezik.



A helyettesítő kép alapján számolhatók a sorrendi feszültségek

$$U_B^1 = U \cdot \frac{X_{VEZ}^1 + X_{VEZ}^2 + X_{TR}^2}{X_{TR}^1 + X_{VEZ}^1 + X_{VEZ}^2 + X_{TR}^2} = \frac{22 \text{ kV}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{4 \Omega + 4 \Omega + 2,32 \Omega}{2,32 \Omega + 4 \Omega + 4 \Omega + 2,32 \Omega} = 10,37 \text{ kV}$$

$$U_B^2 = U \cdot \frac{X_{TR}^2}{X_{TR}^1 + X_{VEZ}^1 + X_{VEZ}^2 + X_{TR}^2} = \frac{22 \text{ kV}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{2,32 \Omega}{2,32 \Omega + 4 \Omega + 4 \Omega + 2,32 \Omega} = 2,33 \text{ kV}$$

$$U_B^0 = 0 \text{ kV}$$

Ebből számolhatók a fázisfeszültségek

$$U_B^a = U_B^0 + U_B^1 + U_B^2 = 0 \text{ kV} + 10,37 \text{ kV} + 2,33 \text{ kV} = 12,7 \text{ kV}$$

$$U_B^b = U_B^0 + a^2 \cdot U_B^1 + a \cdot U_B^2 = 0 \text{ kV} + a^2 \cdot 10,37 \text{ kV} + a \cdot 2,33 \text{ kV} = -6,35 - j \cdot 6,96 \text{ kV}$$

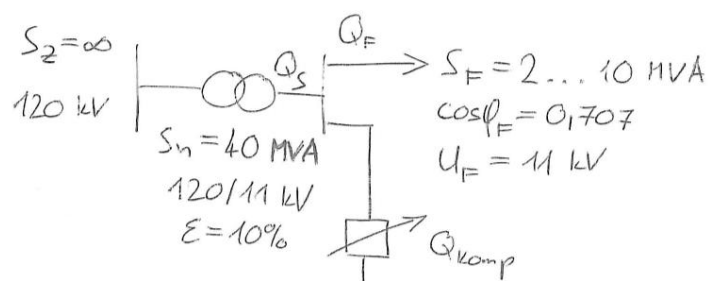
$$|U_B^b| = 9,42 \text{ kV}$$

$$|U_B^c| = |U_B^b| = 9,42 \text{ kV}$$

2.2 Feszültség szabályozás, meddőkompenzálás

2.2.1 5. Feladat

Alkalmazzon az alábbi hálózaton szabályozott meddőteltjesítmény kompenzációt $\cos\varphi=0,98$ -ra! Ismertesse az adott rendszer meddőteltjesítmény diagramját Q_S , Q_F és Q_{KOMP} berajzolásával!



Ha $S_F=10 \text{ MVA}$

$$Q_F = S_F \cdot \sin\varphi = 10 \text{ MVA} \cdot 0,707 = 7,07 \text{ MVAR}$$

$\cos\varphi=0,98$ -ra kompenzálva

$$Q'_F = S_F \cdot \sin\varphi' = 10 \text{ MVA} \cdot 0,199 = 1,99 \text{ MVAR}$$

Szükséges kompenzálás

$$Q_{KOMP} = 7,07 \text{ MVAR} - 1,99 \text{ MVAR} = 5,08 \text{ MVAR}$$

Ha $S_F=2 \text{ MVA}$

$$Q_F = S_F \cdot \sin\varphi = 2 \text{ MVA} \cdot 0,707 = 1,414 \text{ MVAR}$$

$\cos\varphi=0,98$ -ra kompenzálva

$$Q'_F = S_F \cdot \sin\varphi' = 2 \text{ MVA} \cdot 0,199 = 0,398 \text{ MVAR}$$

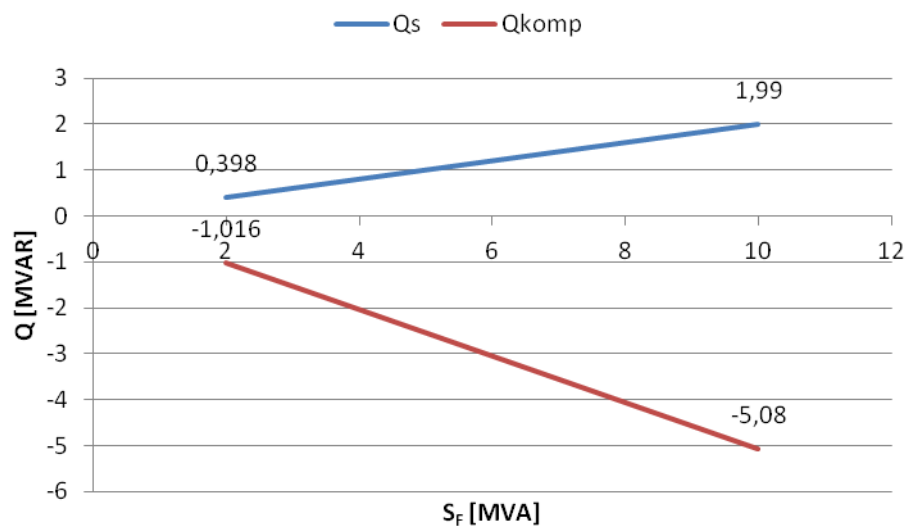
Szükséges kompenzálás

$$Q_{KOMP} = 1,414 \text{ MVAR} - 0,398 \text{ MVAR} = 1,016 \text{ MVAR}$$

Tehát

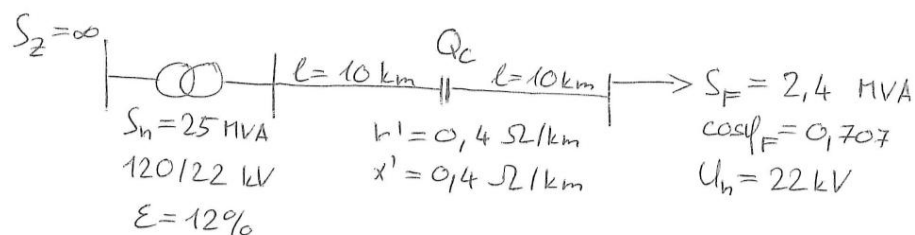
$$Q_{KOMP} = 1,016 \dots 5,08 \text{ MVAR}$$

Ábrázolva



2.2.2 6. Feladat

Mekkora teljesítményű soros kondenzátorral lehet az ábra szerinti hálózaton a fogyasztónál a hosszirányú feszültségesést 5%-kal csökkenteni?



Számítsuk ki a hálózat elemeinek értékeit

$$R_{VEZ} = l_{VEZ} \cdot r'_{VEZ} = 20 \text{ km} \cdot 0,4 \frac{\Omega}{\text{km}} = 8 \Omega$$

$$X_{VEZ} = l_{VEZ} \cdot x'_{VEZ} = 20 \text{ km} \cdot 0,4 \frac{\Omega}{\text{km}} = 8 \Omega$$

$$P_F = S_F \cdot \cos\varphi = 2,4 \text{ MVA} \cdot 0,707 = 1,69 \text{ MW}$$

$$Q_F = S_F \cdot \sin\varphi = 2,4 \text{ MVA} \cdot 0,707 = 1,69 \text{ MVAR}$$

Számoljuk ki a fogyasztó által felvett áramokat

$$I_W = \frac{P_F}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1,69 \text{ MW}}{\sqrt{3} \cdot 22 \text{ kV}} = 44,35 \text{ A}$$

$$I_M = \frac{Q_F}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1,69 \text{ MVAR}}{\sqrt{3} \cdot 22 \text{ kV}} = 44,35 \text{ A}$$

A hosszirányú feszültségesés nagysága

$$\Delta U_h = I_W \cdot R_{VEZ} + I_M \cdot X_{VEZ} = 44,35 \text{ A} \cdot 8 \Omega + 44,35 \text{ A} \cdot 8 \Omega = 709,6 \text{ V}$$

$$\Delta U_{hcél} = \Delta U_h \cdot 0,95 = 674,12 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{hcél} &= I_W \cdot R_{VEZ} + I_M \cdot (X_{VEZ} - X_C) = 44,35 \text{ A} \cdot 8 \Omega + 44,35 \text{ A} \cdot (8 \Omega - X_C) \\ &= 674,12 \text{ V} \end{aligned}$$

Rendezve az egyenletet

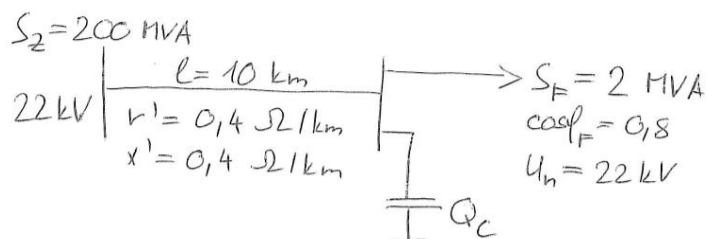
$$X_C = 0,8 \Omega$$

A beépítendő kondenzátor teljesítménye

$$Q_C = \frac{U_n^2}{X_C} = \frac{22 \text{ kV}^2}{0,8 \Omega} = 605 \text{ MVAR}$$

2.2.3 7. Feladat

Mekkora teljesítményű sönt kondenzátorral lehet az ábra szerinti hálózaton a fogyasztónál 10%-kal csökkenteni a hosszirányú feszültségesés nagyságát?



Számítsuk ki a hálózat elemeinek értékeit

$$R_{VEZ} = l_{VEZ} \cdot r'_{VEZ} = 10 \text{ km} \cdot 0,4 \frac{\Omega}{\text{km}} = 4 \Omega$$

$$X_{VEZ} = l_{VEZ} \cdot x'_{VEZ} = 10 \text{ km} \cdot 0,4 \frac{\Omega}{\text{km}} = 4 \Omega$$

$$P_F = S_F \cdot \cos\varphi = 2 \text{ MVA} \cdot 0,8 = 1,6 \text{ MW}$$

$$Q_F = S_F \cdot \sin\varphi = 2 \text{ MVA} \cdot 0,6 = 1,2 \text{ MVAR}$$

Számoljuk ki a fogyasztó által felvett áramokat

$$I_W = \frac{P_F}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1,6 \text{ MW}}{\sqrt{3} \cdot 22 \text{ kV}} = 41,98 \text{ A}$$

$$I_M = \frac{Q_F}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1,2 \text{ MVAR}}{\sqrt{3} \cdot 22 \text{ kV}} = 31,49 \text{ A}$$

A hosszirányú feszültségesés nagysága

$$\Delta U_h = I_W \cdot R_{VEZ} + I_M \cdot X_{VEZ} = 41,98 \text{ A} \cdot 4 \Omega + 31,49 \text{ A} \cdot 4 \Omega = 293,88 \text{ V}$$

$$\Delta U_{hcél} = \Delta U_h \cdot 0,9 = 264,49 \text{ V}$$

$$\Delta U_{hcél} = I_W \cdot R_{VEZ} + I'_M \cdot X_{VEZ} = 41,98 \text{ A} \cdot 4 \Omega + I'_M \cdot 4 \Omega$$

Rendezve

$$I'_M = 24,14 \text{ A}$$

Ebből a kondenzátor árama

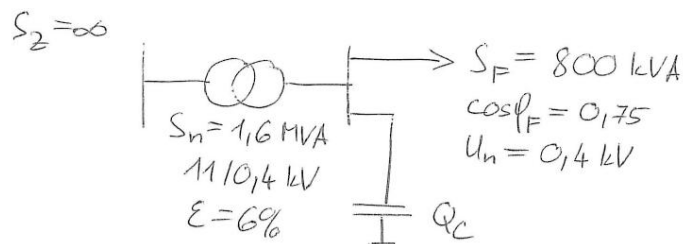
$$I_C = I_F - I'_M = 31,49 \text{ A} - 24,14 \text{ A} = 7,347 \text{ A}$$

A kondenzátor teljesítménye

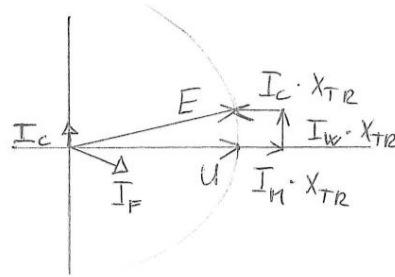
$$Q_C = \sqrt{3} \cdot I_C \cdot U_n = \sqrt{3} \cdot 7,347 \text{ A} \cdot 22 \text{ kV} = 0,279 \text{ MVAR}$$

2.2.4 8. Feladat

Mekkora teljesítményű meddőkompenzátorral lehet E=U állandó fogyasztói feszültséget tartani az ábrán látható esetben? Mekkora lesz a hálózati betápnál az eredő teljesítménytényező?



A példában szereplő hálózat transzformátora tisztán reaktív elem. Figyelembe véve ezt, elkészíthető a fázorábra. Ha kiszámoljuk a feszültségvektorok abszolútértékeit, jó közelítéssel mondhatjuk, hogy elegendő a hosszirányú komponens kompenzálásával számolni.



Számítsuk ki a hálózat elemeinek értékeit

$$X_{TR} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{6}{100} \cdot \frac{0,4 \text{ kV}^2}{1,6 \text{ MVA}} = 0,006 \Omega$$

$$P_F = S_F \cdot \cos\varphi = 800 \text{ kVA} \cdot 0,75 = 600 \text{ kW}$$

$$Q_F = S_F \cdot \sin\varphi = 800 \text{ kVA} \cdot 0,66 = 529 \text{ kVAR}$$

Számoljuk ki a fogyasztó által felvett áramokat

$$I_W = \frac{P_F}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{600 \text{ kW}}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \text{ kV}} = 866 \text{ A}$$

$$I_M = \frac{Q_F}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{529 \text{ kVAR}}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \text{ kV}} = 763 \text{ A}$$

Számoljuk ki a feszültségesés hossz- és keresztirányú komponensét

$$\Delta U_h = I_M \cdot X_{TR} = 763 \text{ A} \cdot 0,006 \Omega = 4,58 \text{ V}$$

$$\Delta U_k = I_W \cdot X_{TR} = 866 \text{ A} \cdot 0,006 \Omega = 5,19 \text{ V}$$

Látható, hogy jogos volt a közelítés, E és U fazorjai kb. 0,74°-os szöget zárnak be.

A hosszirányú komponens kompenzálásához szükséges kondenzátor árama

$$I_C = -I_M = 763 \text{ A}$$

A kondenzátor teljesítménye

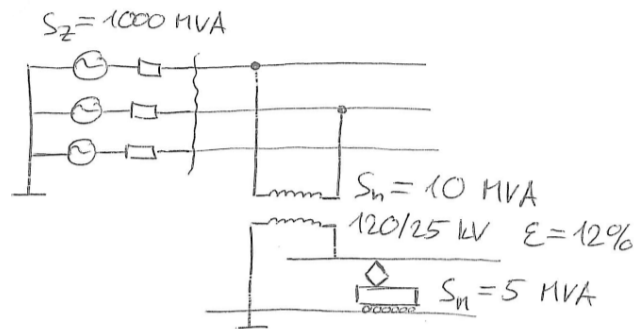
$$Q_C = \sqrt{3} \cdot I_C \cdot U_n = \sqrt{3} \cdot 763 \text{ A} \cdot 0,4 \text{ kV} = 0,529 \text{ MVAR}$$

A hálózati betápnál $\cos\varphi \approx 1$, teljes kompenzálás történt.

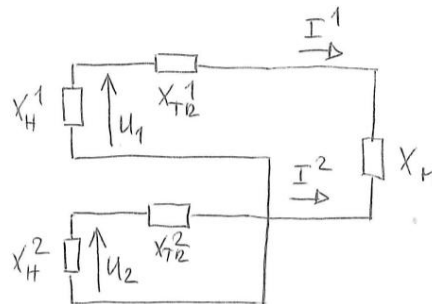
2.3 Aszimmetria

2.3.1 9. Feladat

Határozza meg egy 5 MVA teljesítményű, tirisztoros nagyvasúti villamos mozdony által keltett feszültségaszimmetria nagyságát az 1000 MVA zárlati teljesítményű 120 kV-os hálózatban a 120 kV-os csatlakozási ponton!



Rajzoljuk fel a megfelelő hálózati modellt



Számítsuk ki a modell paramétereit

$$X_H = \frac{U_n^2}{S_z} = \frac{120 \text{ kV}^2}{1000 \text{ MVA}} = 14,4 \Omega$$

$$X_{TR} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{12}{100} \cdot \frac{120 \text{ kV}^2}{10 \text{ MVA}} = 172,8 \Omega$$

$$X_M = \frac{U_n^2}{S_z} = \frac{120 \text{ kV}^2}{5 \text{ MVA}} = 2880 \Omega$$

A mozdony által felvett áram

$$I_M = \frac{S_n}{U_n} = \frac{5 \text{ MVA}}{120 \text{ kV}} = 41,66 \text{ A}$$

Az áramok és a helyettesítő kép ismeretében számolhatók a sorrendi feszültségek

$$U_1 = I_{M1} \cdot X_{H1} = 41,66 \text{ A} \cdot 14,4 \Omega \cong 600 \text{ V}$$

$$U_2 = -I_{M2} \cdot X_{H1} = 41,66 \text{ A} \cdot 14,4 \Omega \cong 600 \text{ V}$$

A feszültségaszimmetria nagysága

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{600 \text{ V}}{600 \text{ V}} = 1$$

2.4 Villogás (Flicker)

2.4.1 10. Feladat

Milyen sebességű kompenzátorral lehet felére csökkenteni az ívkemence villogását, ha a szinuszos moduláció frekvenciája 8 Hz, a kompenzátor meddőteljesítménye pedig ugyanakkora, mint az ívkemence meddőteljesítmény-változása?

$$\Delta Q_F = \Delta Q_{KOMP} \Rightarrow C = \frac{\Delta Q_{KOMP}}{\Delta Q_F} = 1$$

ahol C a villogás kompenzációs tényező

Cél: $F=2$, ahol F a villogás elnyomási tényező

$$F = \frac{1}{\sqrt{1 + C^2 - 2 \cdot C \cdot \cos \gamma}}$$

Rendezve

$$\gamma = 28,95^\circ$$

Tudjuk, hogy

$$\gamma = 2 \cdot \pi \cdot f_M \cdot T$$

Ebből

$$T = \frac{\gamma}{2 \cdot \pi \cdot f_M} = \frac{0,51 \text{ rad}}{2 \cdot \pi \cdot 8 \text{ Hz}} = 10,06 \text{ ms}$$

2.4.2 11. Feladat

Mennyivel fog csökkenni az ívkemence által okozott villogás nagysága, ha a kompenzátor meddőteljesítménye megegyezik az ívkemence meddőteljesítmény-változásával, a kompenzátor késleltetése pedig 60° ? Mekkora késleltetési szög esetén csökkenne harmadára a villogás?

$$\Delta Q_F = \Delta Q_{KOMP} \Rightarrow C = \frac{\Delta Q_{KOMP}}{\Delta Q_F} = 1$$

ahol C a villogás kompenzációs tényező

$$F = \frac{1}{\sqrt{1 + C^2 - 2 \cdot C \cdot \cos \gamma}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1^2 - 2 \cdot 1 \cdot \cos 60^\circ}} = 1$$

tehát nem csökken a villogás.

Cél: $F=3$

$$F = \frac{1}{\sqrt{1 + C^2 - 2 \cdot C \cdot \cos \gamma}} = 3$$

Rendezve

$$\cos \gamma = \frac{17}{18}$$

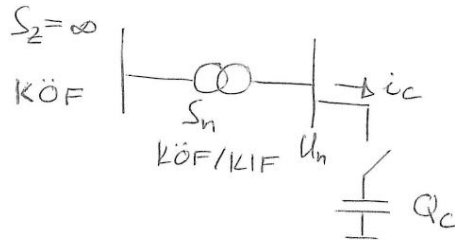
Ebből

$$\gamma = 19,18^\circ$$

2.5 Harmonikusok

2.5.1 12. Feladat

Milyen drop értéke legyen az ábrán látható transzformátornak, hogy a megadott hálózati adatokkal a kondenzátor telep bekapcsolási áramának csúcserőértéke a névleges áramának 8-szorosa legyen?



A kondenzátor bekapcsolási áramának csúcserőértéke

$$\hat{I}_c = \frac{\hat{U}_n}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{Z_0}$$

ahol

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C_{csillag}}}$$

A kondenzátor névleges árama

$$I_n = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot X_c}$$

Cél: $\hat{I}_c = 8 \cdot I_n$

Az egyenleteket rendezve

$$L_{TR} = \frac{1}{32 \cdot \omega^2 \cdot C_{csillag}}$$

Ebből

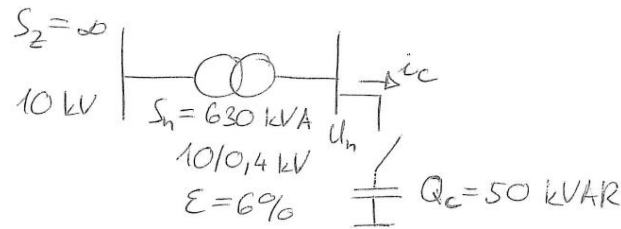
$$X_{TR} = (j) \cdot \omega \cdot L_{TR} = \frac{1}{32 \cdot \omega \cdot C_{csillag}} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n}$$

Kifejezve ε -t

$$\varepsilon = \frac{100 \cdot S_n}{32 \cdot \omega \cdot C_{csillag} \cdot U_n^2} \cong 0,01 \cdot \frac{S_n}{C_{csillag} \cdot U_n^2}$$

2.5.2 13. Feladat

Számítsa ki az ábrán látható esetre a kondenzátor bekapcsolási áramát és a kondenzátor alapharmonikus feszültségét állandósult állapotban!



Számítsuk ki az egyfázisú helyettesítő kép elemeit

$$X_{TR} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{6}{100} \cdot \frac{0,4 \text{ kV}^2}{630 \text{ kVA}} = 0,0152 \Omega$$

$$X_C = \frac{U_n^2}{Q_C} = \frac{0,4 \text{ kV}^2}{50 \text{ kVAR}} = 3,2 \Omega$$

Ebből

$$L = \frac{X_{TR}}{(j) \cdot \omega} = \frac{0,0152 \Omega}{2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz}} = 48,38 \mu\text{H}$$

$$C_{\text{delta}} = \frac{1}{(j) \cdot \omega \cdot X_C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 3,2 \Omega} = 0,994 \text{ mF}$$

A kisfeszültségű kondenzátorok jellemzően delta kapcsolásúak, azonban a helyettesítő képben szereplő modellhez csillag kapcsolású paraméterekre van szükségünk

$$C_{\text{csillag}} = 3 \cdot C_{\text{delta}} = 2,982 \text{ mF}$$

A sajátfrekvencia nagysága

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C_{\text{csillag}}}} = \frac{1}{\sqrt{48,38 \mu\text{H} \cdot 2,982 \text{ mF}}} \cong 2632 \text{ Hz}$$

$$h = \frac{\omega_0}{\omega} = \frac{2632 \text{ Hz}}{2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz}} = 8,38 \cong 8$$

A kondenzátor alapharmonikus feszültségének nagysága állandósult állapotban

$$U_C = \frac{h^2}{h^2 - 1} \cdot U_{\text{fázis}} = \frac{8^2}{8^2 - 1} \cdot 231 \text{ V} = 234,605 \text{ V}$$

A vonali feszültség nagysága 406,35 V.

Számítsuk ki a hullámimpedanciát

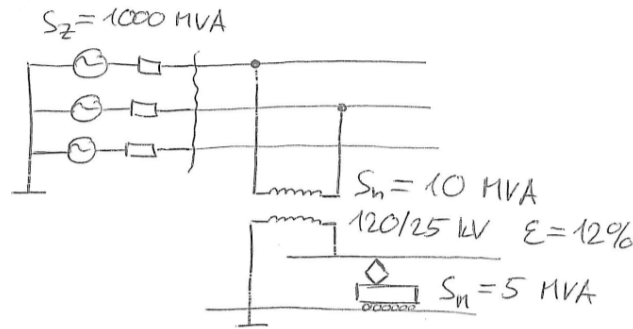
$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C_{\text{csillag}}}} = \sqrt{\frac{48,38 \mu\text{H}}{2,982 \text{ mF}}} = 0,1273 \Omega$$

A bekapcsolási áram csúcsértéke

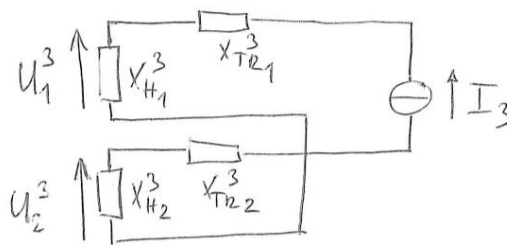
$$\hat{I}_c = \frac{\hat{U}_c}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{Z_0} = \frac{\sqrt{2} \cdot 231 \text{ V}}{0,1273 \Omega} \approx 2566 \text{ A}$$

2.5.3 14. Feladat

Határozza meg egy 5 MVA teljesítményű, tirisztoros nagyvasúti villamos mozdony által keltett harmadik harmonikus áram által az 1000 MVA zárlati teljesítményű 120 kV-os hálózatban keltett feszültségtorzulás nagyságát a 120 kV-os csatlakozási ponton! ($I_3 = I_1/3$)



Rajzoljuk fel a harmadik harmonikusnak megfelelő hálózati modellt



Számítsuk ki a modell paramétereit

$$X_H^3 = 3 \cdot \frac{U_n^2}{S_z} = 3 \cdot \frac{120 \text{ kV}^2}{1000 \text{ MVA}} = 43,2 \Omega$$

$$X_{TR}^3 = 3 \cdot \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = 3 \cdot \frac{12}{100} \cdot \frac{120 \text{ kV}^2}{10 \text{ MVA}} = 518,4 \Omega$$

A mozdony alaharmonikus és harmadik harmonikus árama

$$I_M^1 = \frac{S_M}{U_n} = \frac{5 \text{ MVA}}{120 \text{ kV}} = 41,66 \text{ A}$$

$$I_M^3 = \frac{I_M^1}{3} = \frac{41,66 \text{ A}}{3} = 13,88 \text{ A}$$

Az áramok és a helyettesítő kép ismeretében számolhatók a sorrendi feszültségek

$$U_1^3 = I_M^3 \cdot X_H^3 = 13,88 \text{ A} \cdot 43,2 \Omega \approx 600 \text{ V}$$

$$U_2^3 = -I_M^3 \cdot X_H^3 = -13,88 \text{ A} \cdot 43,2 \Omega \approx -600 \text{ V}$$

$$U_0^3 = 0 \text{ V}$$

Átalakítva a sorrendi feszültségeket fázisfeszültségekké

$$U_a^3 = U_0^3 + U_1^3 + U_2^3 = 0 \text{ V} + 600 \text{ V} - 600 \text{ V} = 0 \text{ V}$$

$$U_b^3 = U_0^3 + a^2 \cdot U_1^3 + a \cdot U_2^3 = 0 \text{ V} + a^2 \cdot 600 \text{ V} - a \cdot 600 \text{ V} = -j \cdot \sqrt{3} \cdot 600 \text{ V}$$

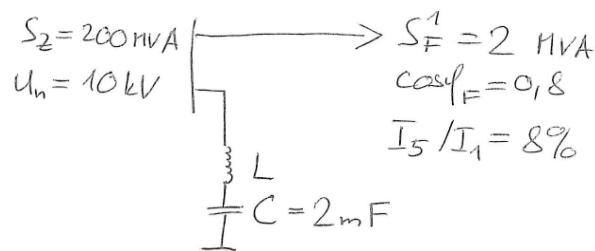
$$U_c^3 = U_0^3 + a \cdot U_1^3 + a^2 \cdot U_2^3 = 0 \text{ V} + a \cdot 600 \text{ V} - a^2 \cdot 600 \text{ V} = j \cdot \sqrt{3} \cdot 600 \text{ V}$$

A vonali feszültség nagysága

$$U_{bc}^3 = U_b^3 - U_c^3 = -j \cdot \sqrt{3} \cdot 600 \text{ V} - j \cdot \sqrt{3} \cdot 600 \text{ V} = -j \cdot \sqrt{3} \cdot 1200 \text{ V}$$

2.5.4 15. Feladat

Mekkora induktivitást kell választani a veszteségmentes szűrő paraméterének, ha célunk az, hogy az ötödik harmonikusra nézve $K_h=0,1$ szűrési tényezőt érjünk el?



Számoljuk ki a fogyasztó harmonikus áramát

$$I_F^1 = \frac{S_F^1}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{2 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 10 \text{ kV}} = 115,47 \text{ A}$$

$$I_F^5 = I_F^1 \cdot 0,08 = 115,47 \text{ A} \cdot 0,08 = 9,23 \text{ A}$$

A szűrési tényező értelmezése

$$K_5 = \frac{I_H^5}{I_n^5}$$

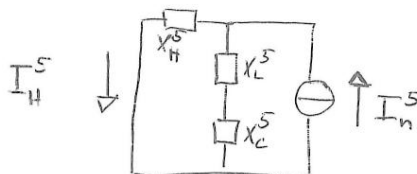
ahol

$$I_n^5 = I_F^5 = 9,23 \text{ A}$$

Ebből

$$I_H^5 = I_n^5 \cdot K_5 = 9,23 \text{ A} \cdot 0,1 = 0,923 \text{ A}$$

Rajzoljuk fel a harmonikusnak megfelelő helyettesítő képet



Számoljuk ki a helyettesítő kép hiányzó paramétereit

$$X_H^5 = 5 \cdot \frac{U_n^2}{S_z} = 5 \cdot \frac{10 \text{ kV}^2}{200 \text{ MVA}} = 2,5 \Omega$$

$$X_C^5 = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 250 \text{ Hz} \cdot 2 \text{ mF}} = 0,318 \Omega$$

Felhasználva az áramosztás képletét

$$I_H^5 \cdot X_H^5 = (I_n^5 - I_H^5) \cdot (X_L^5 - X_C^5)$$

$$0,923 \text{ A} \cdot 2,5 \Omega = (9,23 \text{ A} - 0,923 \text{ A}) \cdot (X_L^5 - 0,318 \Omega)$$

Rendezve

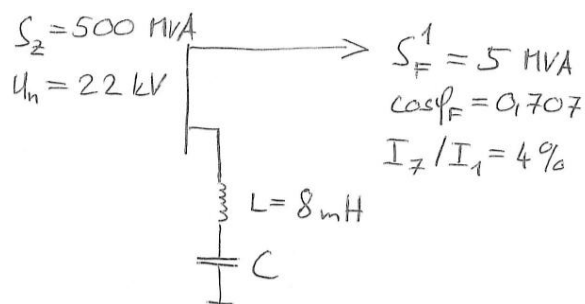
$$X_L^5 = 0,6 \Omega$$

A szűrő induktivitása

$$L = \frac{X_L^5}{\omega} = \frac{0,6 \Omega}{2 \cdot \pi \cdot 250 \text{ Hz}} = 0,38 \text{ mH}$$

2.5.5 16. Feladat

Mekkora kapacitást kell választani a veszteségmentes szűrő paraméterének, ha célunk az, hogy a hetedik harmonikusra nézve $K_h=0,05$ szűrési tényezőt érjünk el?



Számoljuk ki a fogyasztó harmonikus áramát

$$I_F^1 = \frac{S_F^1}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{5 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 22 \text{ kV}} = 131,21 \text{ A}$$

$$I_F^7 = I_F^1 \cdot 0,04 = 131,21 \text{ A} \cdot 0,04 = 5,24 \text{ A}$$

A szűrési tényező értelmezése

$$K_7 = \frac{I_H^7}{I_n^7}$$

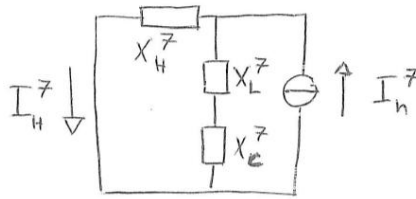
ahol

$$I_n^7 = I_F^7 = 5,24 \text{ A}$$

Ebből

$$I_H^7 = I_n^7 \cdot K_5 = 5,24 \text{ A} \cdot 0,05 = 0,26 \text{ A}$$

Rajzoljuk fel a harmonikusnak megfelelő helyettesítő képet



Számoljuk ki a helyettesítő kép hiányzó paramétereit

$$X_H^7 = 7 \cdot \frac{U_n^2}{S_z} = 7 \cdot \frac{22 \text{ kV}^2}{500 \text{ MVA}} = 6,776 \Omega$$

$$X_L^7 = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 350 \text{ Hz} \cdot 8 \text{ mH} = 17,57 \Omega$$

Felhasználva az áramosztás képletét

$$I_H^7 \cdot X_H^7 = (I_n^7 - I_H^7) \cdot (X_L^7 - X_C^7)$$

$$0,26 \text{ A} \cdot 6,776 \Omega = (5,24 \text{ A} - 0,26 \text{ A}) \cdot (17,57 \Omega - X_C^7)$$

Rendezve

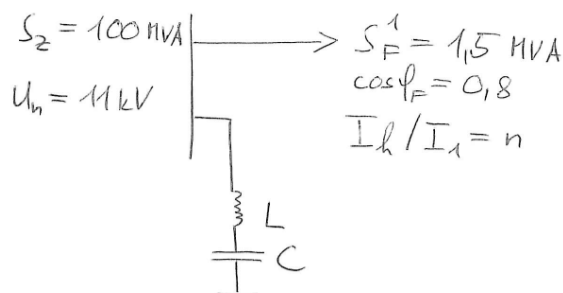
$$X_C^7 = 17,21 \Omega$$

A szűrő kapacitása

$$C = \frac{1}{\omega \cdot X_C^7} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 350 \text{ Hz} \cdot 17,21 \Omega} = 26,36 \mu\text{F}$$

2.5.6 17. Feladat

Fejezze ki egymással a szűrő induktív és kapacitív reaktanciájának nagyságát, ha az ábrán látható harmonikus forrás h. rendszámú harmonikusára K_h nagyságú szűrést kívánunk biztosítani!



Számoljuk ki a fogyasztó harmonikus áramát

$$I_F^1 = \frac{S_F^1}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

$$I_F^h = I_F^1 \cdot n$$

A szűrés tényező értelmezése

$$K_h = \frac{I_h^h}{I_n^h}$$

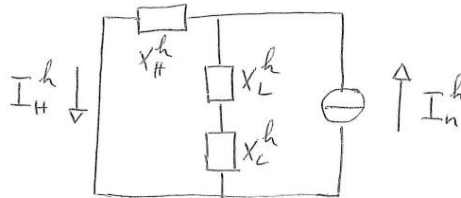
ahol

$$I_n^h = I_F^h$$

Ebből

$$I_H^h = I_n^h \cdot K_h = I_F^1 \cdot n \cdot K_h$$

Rajzoljuk fel a harmonikusnak megfelelő helyettesítő képet



Számoljuk ki a helyettesítő kép hiányzó paramétereit

$$X_H^h = h \cdot \frac{U_n^2}{S_z} = h \cdot X_H^1$$

Felhasználva az áramosztás képletét

$$I_H^h \cdot X_H^h = (I_n^h - I_H^h) \cdot (X_L^h - X_C^h)$$

Kibontva

$$I_F^1 \cdot n \cdot K_h \cdot h \cdot X_H^1 = h \cdot X_L^1 \cdot I_F^1 \cdot n \cdot (1 - K_h) + \frac{X_C^1}{h} \cdot I_F^1 \cdot n \cdot (K_h - 1)$$

Egyszerűsítve

$$K_h \cdot h \cdot X_H^1 = h \cdot X_L^1 \cdot (1 - K_h) + \frac{X_C^1}{h} \cdot (K_h - 1)$$

X_C -re rendezve

$$X_C^1 = h^2 \cdot X_L^1 - \frac{h^2 \cdot X_H^1 \cdot K_h}{1 - K_h}$$

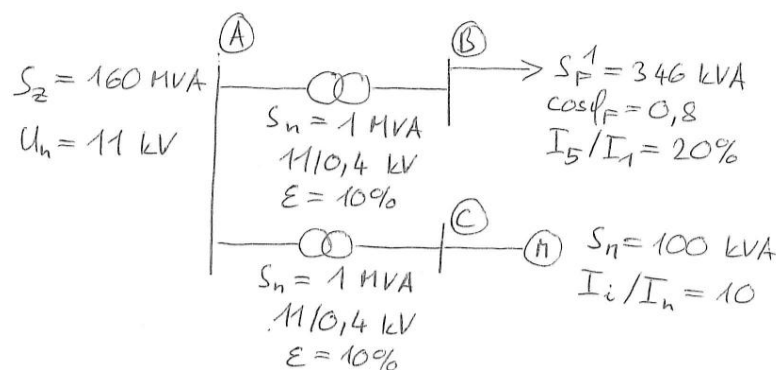
X_L -re rendezve

$$X_L^1 = \frac{X_C^1}{h^2} + \frac{X_H^1 \cdot K_h}{1 - K_h}$$

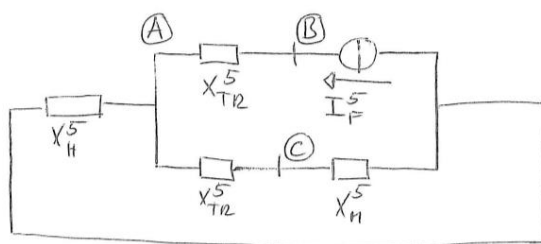
Látható, hogy a szűrő reaktanciáinak paraméterei nem függenek a harmonikus forrás nagyságától.

2.5.7 18. Feladat

Határozza meg a nemlineáris fogyasztó által keltett harmonikus feszültségeket a hálózat A, B és C gyűjtősinén abszolút és százalékos értékben!



Rajzoljuk fel a hálózat helyettesítő képét az 5. harmonikusra



Számítsuk ki a helyettesítő képhez szükséges impedancia értékeket

$$X_H^5 = 5 \cdot X_H^1 = 5 \cdot \frac{U_n^2}{S_z} = 5 \cdot \frac{0,4 \text{ kV}^2}{160 \text{ MVA}} = 0,005 \Omega$$

$$X_{TR}^5 = 5 \cdot X_{TR}^1 = 5 \cdot \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = 5 \cdot \frac{10}{100} \cdot \frac{0,4 \text{ kV}^2}{1 \text{ MVA}} = 0,08 \Omega$$

A motor felharmonikus impedanciája jól közelíthető a tranziens reaktanciával, ami az indításkor fellép.

$$X_M^5 \cong \frac{I_n}{I_i} \cdot \frac{U_n^2}{S_M} = \frac{1}{10} \cdot \frac{0,4 \text{ kV}^2}{0,1 \text{ MVA}} = 0,16 \Omega$$

Számoljuk ki a fogyasztó harmonikus áramát

$$I_F^1 = \frac{S_F^1}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{346 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \text{ kV}} = 499,4 \text{ A} \cong 500 \text{ A}$$

$$I_F^5 = I_F^1 \cdot 0,2 = 500 \text{ A} \cdot 0,2 = 100 \text{ A}$$

A keletkező felharmonikus feszültségek

$$U_A^5 = I_F^5 \cdot \frac{X_H^5 \cdot (X_{TR}^5 + X_M^5)}{X_H^5 + X_{TR}^5 + X_M^5} = 100 \text{ A} \cdot \frac{0,005 \Omega \cdot (0,08 \Omega + 0,16 \Omega)}{0,005 \Omega + 0,08 \Omega + 0,16 \Omega} = 0,49 \text{ V}$$

$$U_B^5 = U_A^5 + I_F^5 \cdot X_{TR}^5 = 0,49 \text{ V} + 100 \text{ A} \cdot 0,08 \Omega = 8,49 \text{ V}$$

$$U_C^5 = U_A^5 \cdot \frac{X_M^5}{X_{TR}^5 + X_M^5} = 0,49 \text{ V} \cdot \frac{0,16 \Omega}{0,08 \Omega + 0,16 \Omega} = 0,326 \text{ V}$$

A keletkező felharmonikus feszültségek százalékos értékei

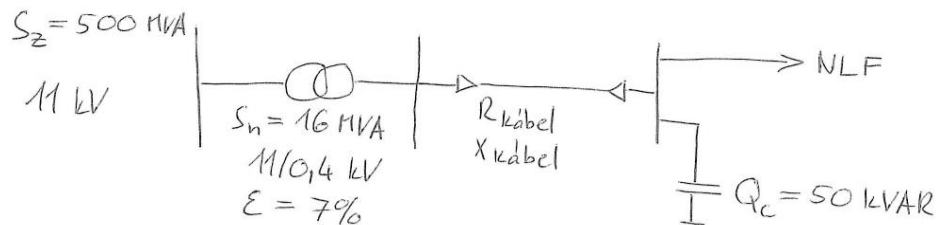
$$U_A^5\% = \frac{U_A^5}{U_f^1} = \frac{0,49 \text{ V}}{231 \text{ V}} = 0,21\%$$

$$U_B^5\% = \frac{U_C^5}{U_f^1} = \frac{8,49 \text{ V}}{231 \text{ V}} = 3,67\%$$

$$U_C^5\% = \frac{U_C^5}{U_f^1} = \frac{0,326 \text{ V}}{231 \text{ V}} = 0,14\%$$

2.5.8 19. Feladat

A nemlineáris, meddőkompenzátorral ellátott fogyasztó szemszögéből nézve mely harmonikusra fog párhuzamos rezonanciát okozni a hálózat? Milyen nagyságú harmonikus áram záródik a hálózat 11 kV-os gyűjtősínén, ha a transzformátor ellenállása $R_{TR}=0,032 \Omega$? A nemlineáris fogyasztó alapharmonikus teljesítménye 173 kVA, hetedik harmonikus árama az alapharmonikus 8%-a. (A vizsgálat során elhanyagolhatja a hálózat induktivitását, valamint a kábel induktivitását és kapacitását.)



Számoljuk ki a transzformátor szórási induktivitását, és a meddőkompenzátor kapacitását

$$X_{TR} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{7}{100} \cdot \frac{0,4 \text{ kV}^2}{160 \text{ kVA}} = 0,07 \Omega$$

$$L_{TR} = \frac{X_{TR}}{\omega} = \frac{0,07 \Omega}{2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz}} = 0,22 \text{ mH}$$

$$X_C = \frac{U_n^2}{Q_C} = \frac{0,4 \text{ kV}^2}{50 \text{ kVAR}} = 3,2 \Omega$$

$$C = \frac{1}{\omega \cdot X_C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 3,2 \Omega} = 0,99 \text{ mF}$$

Számítsuk ki a párhuzamos rezonancia frekvenciáját

$$f_{p\acute{a}rh} \approx \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_{TR} \cdot C}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{0,22 \text{ mH} \cdot 0,99 \text{ mF}}} = 341,02 \text{ Hz}$$

A hálózat tehát a hetedik harmonikus szempontjából fog párhuzamos rezonanciát mutatni.

Számoljuk ki a fogyasztó harmonikus áramát

$$I_F^1 = \frac{S_F^1}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{173 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \text{ kV}} = 249,7 \text{ A} \approx 250 \text{ A}$$

$$I_F^7 = I_F^1 \cdot 0,08 = 250 \text{ A} \cdot 0,08 = 20 \text{ A}$$

A hálózat felé folyó harmonikus áram a jósági tényező szerese lesz a nemlineáris fogyasztó által keltett harmonikus áram értékének.

A transzformátor jósági tényezője

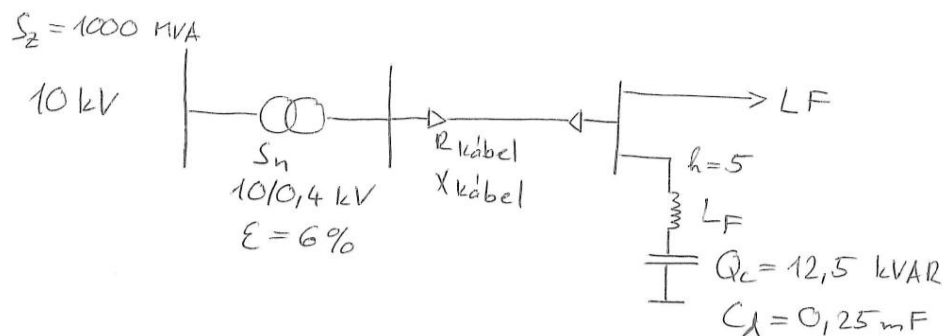
$$Q_h = \frac{\omega_h \cdot L_{TR}}{R_{TR}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 341 \text{ Hz} \cdot 0,22 \text{ mH}}{0,032 \Omega} = 14,73$$

A hálózat felé záródó harmonikus áram nagysága

$$I_H^7 = Q_h \cdot I_F^7 = 14,73 \cdot 20 \text{ A} = 294,6 \text{ A}$$

2.5.9 20. Feladat

Az ábrán látható hálózaton a kisfeszültségű fogyasztónál meddőkompenzálásra van szükség, amit egy kapcsolható kondenzátortelep valósít meg. A kondenzátor egységei hangolható szűrőnek vannak kialakítva az ötödik harmonikusra. Mekkora névleges teljesítményű transzformátor lehet a hálózatban ahhoz, hogy a hangolt szűrő ne terhelődjön túl a közepfeszültségű hálózathoz érkező harmonikusok következtében? (Megfelelően tekintjük a beállítást, ha $f^* > 1,05$. A vizsgálat során elhanyagolhatja a hálózat induktivitását, valamint a kábel induktivitását és kapacitását.)



Számoljuk ki a meddőkompenzátor elé beépített fojtó induktivitását

$$f_{soros1} \approx \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_F \cdot C}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_F \cdot 0,25 \text{ mF}}} = 250 \text{ Hz}$$

Rendezve

$$L_F = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot 250 \text{ Hz}^2 \cdot 0,25 \text{ mF}} = 1,62 \text{ mH}$$

Továbbá

$$L_F = \frac{U_n^2}{h^2 \cdot \omega \cdot Q_C}$$

A közepfeszültségű gyűjtősínról nézve a hangolható szűrő soros rezonáns kört alkot a hálózattal. Számítsuk ki ennek rezonancia frekvenciáját

$$X_{TR} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{6}{100} \cdot \frac{0,4 \text{ kV}^2}{S_n} = \frac{9600}{S_n} \Omega$$

$$L_{TR} = \frac{X_{TR}}{\omega} = \frac{\varepsilon \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n \cdot \omega} = \frac{6 \cdot 0,4 \text{ kV}^2}{100 \cdot S_n \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Hz}}$$

A középfeszültségű oldalról látott rezonanciafrekvencia

$$f_{soros2} \approx \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(L_{TR} + L_F) \cdot C}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(L_{TR} + 1,62 \text{ mH}) \cdot 0,25 \text{ mF}}}$$

A két frekvencia hányadosából tudunk arra következtetni, hogy a meddőkompenzátorhoz telepített szűrő mennyire szűri a középfeszültségű hálózatról érkező jeleket

$$f^* = \frac{f_{soros2}}{f_{soros1}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_F \cdot C}}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(L_{TR} + L_F) \cdot C}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{L_{TR}}{L_F} + 1}}$$

Célunk, hogy $f^* > 1,05$ teljesüljön

$$\frac{L_{TR}}{L_F} = \frac{\frac{\varepsilon \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n \cdot \omega}}{\frac{U_n^2}{h^2 \cdot \omega \cdot Q_C}} = \frac{\varepsilon \cdot h^2 \cdot Q_C}{100 \cdot S_n}$$

Ha $h=5$

$$\frac{L_{TR}}{L_F} \approx \frac{Q_C}{S_n}$$

Ebből

$$f^* = \frac{1}{\sqrt{\frac{L_{TR}}{L_F} + 1}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{Q_C}{S_n} + 1}}$$

Rendezve

$$\frac{Q_C}{S_n} = \left| \frac{1}{f^{*2}} - 1 \right| = \left| \frac{1}{1,05^2} - 1 \right| = 0,093 \approx 0,1$$

Tehát a kapcsolt szűrős kondenzátor egység alapharmonikus meddőteljesítménye legalább a transzformátor névleges teljesítményének 10%-a kellene hogy legyen.

A transzformátor névleges teljesítménye ezek alapján

$$S_n \leq \frac{Q_C}{0,1} = \frac{12,5 \text{ kVAR}}{0,1} = 125 \text{ kVA}$$