

Vaja 1

Kompensacija jalove moči – frekvenčne karakteristike impedance omrežja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja določite frekvenčne karakteristike njegove impedance in sicer:

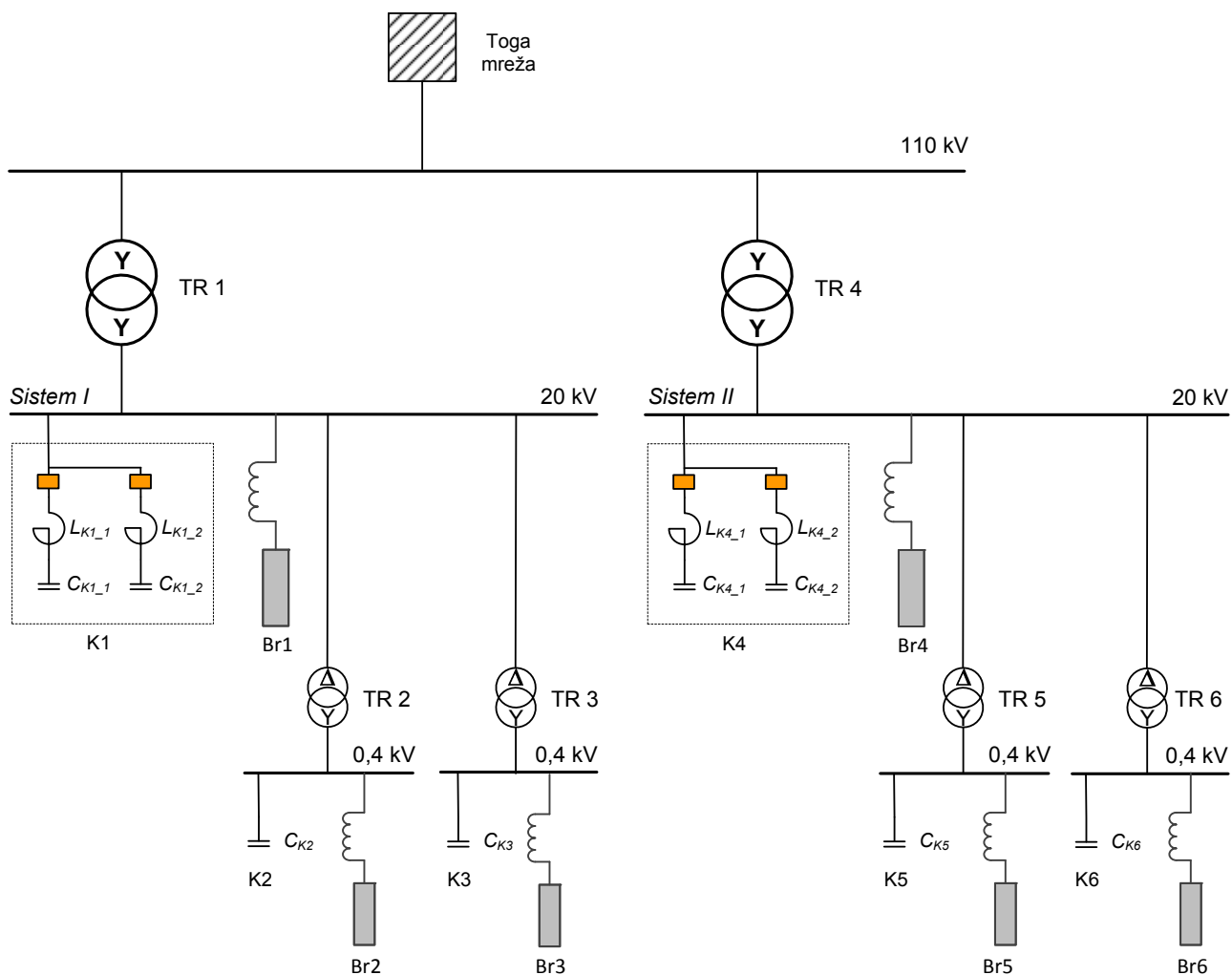
- frekvenčne karakteristike impedance z omrežne strani 110 kV,
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema I in
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema II.

Pri tem upoštevajte, da:

- so kompenzatorji na napetostnem nivoju 20 kV izvedeni v dveh enakih stopnjah,
- je vsak kompenzator lahko tudi odklopljen od omrežja,
- se lahko bremena, kratkostična moč omrežja in tudi transformatorji spremenijo.

Prikažite absolutno vrednost impedance glede na vrednost pri 50 Hz. Rezultate komentirajte.

Upoštevajte obratovalno stanje, ko so izklopljeni naslednji transformatorji: TR 2, TR 3 in TR 5.



Slika 1: Kompensacija jalove moči - enopolna shema omrežja.

Tabela 1: Podatki toge mreže.

Toga mreža	Un (kV)	Sk'' (MVA)	R/X
TM	110	1100	1/10

Tabela 2: Nazivni podatki transformatorjev.

Transformator	Nazivna napetost (kV/kV)	Nazivna moč (MVA)	u_k (%)	R/X
TR 1	110/20	20,0	10,2	1/20
TR 2	20/0,4	1,0	5,0	1/20
TR 3	20/0,4	1,6	5,6	1/20
TR 4	110/20	31,5	13,0	1/20
TR 5	20/0,4	1,0	5,2	1/20
TR 6	20/0,4	1,6	5,6	1/20

Tabela 3: Nazivni podatki kompenzatorjev.

Kompenzator	Nazivna napetost (kV)	Nazivna moč (MVar)	Resonančna frekvenca (Hz)	R/X _L	R/X _C
K1	20	2,0 + 2,0	970	1/10	1/4000
K2	0,4	0,4	/	1/10	1/4000
K3	0,4	0,5	/	1/10	1/4000
K4	20	2,6 + 2,6	1000	1/10	1/4000
K5	0,4	0,5	/	1/10	1/4000
K6	0,4	0,3	/	1/10	1/4000

Tabela 4: Podatki nadomestnih bremen.

Breme	Nazivna napetost (kV)	P (MW)	Q (MVar)
Br1	20	8	4
Br2	0,4	0,6	0,5
Br3	0,4	0,8	0,6
Br4	20	14	6
Br5	0,4	0,6	0,5
Br6	0,4	0,8	0,5

Vaja 2

Kompenzacija jalove moči – določanje parametrov kompenzatorja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja pri vaji 1 določite velikost dušilke kompenzatorjev na srednje-napetostnem nivoju. Kompenzatorje uglasite tako, da bo ojačenje harmonikov v omrežju čim manjše. Upoštevajte, da:

- v omrežju nastopajo značilni harmoniki reda 3, 5, 7, 11 in 13,
- so kompenzatorji dvostopenjski in da je vsaka stopnja lahko uglašena na drugačno frekvenco,
- da uglasitev kompenzatorja na nižjo frekvenco zahteva večjo in dražjo dušilko,
- da mora biti kompenzator opremljen vsaj z vklopno dušilko,
- da sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II lahko enaka.

Pri določanju parametrov kompenzatorja preverite tudi kako na frekvenčno karakteristiko vplivajo spremembe obremenitve, kratkostične moči omrežja in parametrov VN/SN transformatorja (moč, kratkostična napetost).

V primeru, da sta stopnji kompenzatorja uglašeni na različni frekvenci, določite tudi ustrezni vrstni red vklopa in izklopa stopenj.

Vaja 3

Kompenzacija jalove moči – simulacija modela omrežja

S pomočjo simulacijskega programa PSCAD preverite rešitev, ki ste jo predlagali v okviru vaje 2.

Harmonsko popačenje, ki ga v omrežju povzročajo bremena, simulirajte s harmonskima tokovnima viroma (za 5. in 7. harmonik) priključenima na SN nivo.

Tabela 5: Podatki harmonskih tokovnih virov.

Harmonski vir	Nazivna napetost (kV)	Frekvenca (Hz)	Tok – efektivna vrednost (A)
Ih 5	20	250	7,0
Ih 7	20	350	10,0

Simulirajte naslednje primere:

- obratovanje omrežja brez kompenzacije,
- obratovanje omrežja s kompenzatorji, kot so določeni v okviru vaje 1,
- obratovanje omrežja s kompenzacijo, ki ste jo določili pri vaji 2.

S pomočjo simulacij določite harmonsko popačenje naslednjih veličin:

- napetosti na SN nivoju,
- toka SN transformatorja,
- toka bremena, priključenega na SN nivo,
- toka kompenzatorja na SN nivoju.

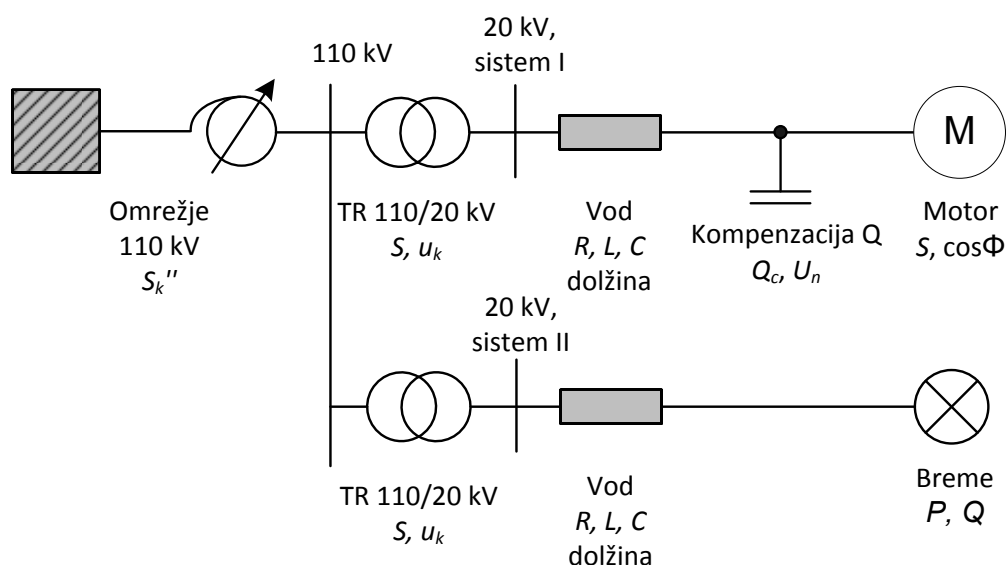
Če sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II enaka, podajte rezultate samo za en sistem.

Rezultate simulacij komentirajte.

Vaja 4 Meritve kakovosti napetosti

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite parametre kakovosti napetosti po standardu SIST EN 50160 na napetostnem nivoju 20 kV. Meritve opravite na 20 kV sistemu I in 20 kV sistemu II. Izmerite tudi bremenski tok. Na sistemu, kjer je priključen elektromotor opravite dve meritvi – eno z odklopljenim in eno s priklopljenim kompenzatorjem jalove moči.

Rezultate podajte v obliki poročila, kjer tabelarično in v grafični obliki prikažete rezultate meritev po SIST EN 50160 ter tudi poteke električnih veličin (U , I , P , Q , $\cos\varphi$, harmonske komponente...). Rezultate komentirajte, opišite tudi vpliv priklopa kompenzatorja na razmere v omrežju.

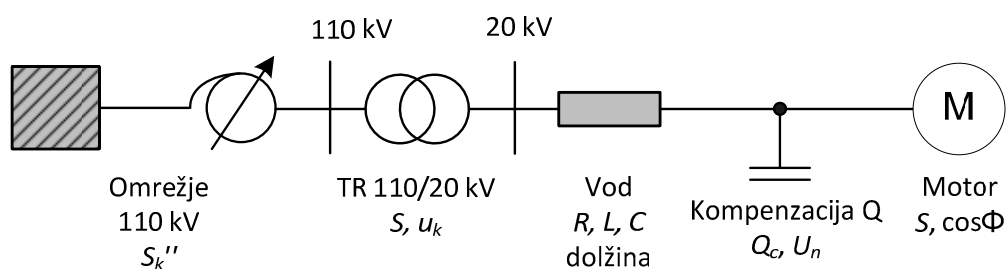


Slika 2: Meritve kakovosti napetosti - enopolna shema omrežja.

Vaja 5 Viri harmonskega popačenja

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite trenutne poteke napetosti ter toka. Meritve opravite pri priklopljenem in pri odklopljenem kompenzatorju.

S pomočjo metode harmonskih vektorjev z referenčnimi impedancami določite deleže harmonskega popačenja napetosti in toka z omrežne ter z bremenske strani. Izračunajte deleže za osnovno harmonsko komponento in 5., 7., 11. ter 13. harmonik. Izračune izvedite v dveh delovnih točkah omrežja – eni, ko je kompenzator odklopljen in eni, ko je kompenzator priklopljen. Rezultate komentirajte.



Slika 2: Viri harmonskega popačenja - enopolna shema omrežja.

Vaja 1

Kompensacija jalove moči – frekvenčne karakteristike impedance omrežja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja določite frekvenčne karakteristike njegove impedance in sicer:

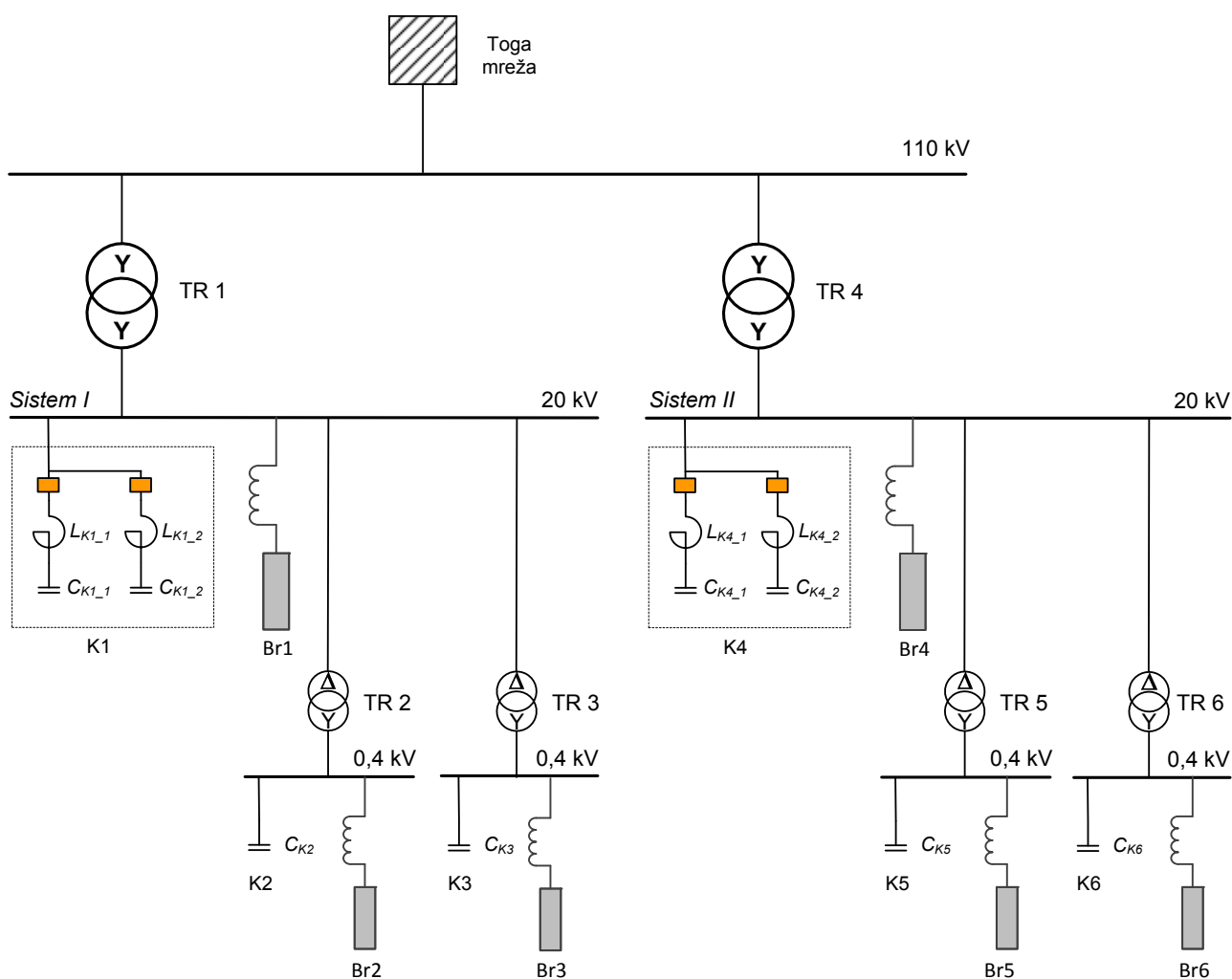
- frekvenčne karakteristike impedance z omrežne strani 110 kV,
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema I in
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema II.

Pri tem upoštevajte, da:

- so kompenzatorji na napetostnem nivoju 20 kV izvedeni v dveh enakih stopnjah,
- je vsak kompenzator lahko tudi odklopljen od omrežja,
- se lahko bremena, kratkostična moč omrežja in tudi transformatorji spremenijo.

Prikažite absolutno vrednost impedance glede na vrednost pri 50 Hz. Rezultate komentirajte.

Upoštevajte obratovalno stanje, ko so izklopljeni naslednji transformatorji: TR 3, TR 5 in TR 6.



Slika 1: Kompensacija jalove moči - enopolna shema omrežja.

Tabela 1: Podatki toge mreže.

Toga mreža	Un (kV)	Sk'' (MVA)	R/X
TM	110	1200	1/10

Tabela 2: Nazivni podatki transformatorjev.

Transformator	Nazivna napetost (kV/kV)	Nazivna moč (MVA)	u_k (%)	R/X
TR 1	110/20	20,0	10,4	1/20
TR 2	20/0,4	1,3	5,0	1/20
TR 3	20/0,4	2,0	6,0	1/20
TR 4	110/20	31,5	13,2	1/20
TR 5	20/0,4	1,0	5,0	1/20
TR 6	20/0,4	2,0	6,0	1/20

Tabela 3: Nazivni podatki kompenzatorjev.

Kompenzator	Nazivna napetost (kV)	Nazivna moč (MVar)	Resonančna frekvenca (Hz)	R/X _L	R/X _C
K1	20	2,2 + 2,2	940	1/10	1/4000
K2	0,4	0,5	/	1/10	1/4000
K3	0,4	0,4	/	1/10	1/4000
K4	20	2,8 + 2,8	970	1/10	1/4000
K5	0,4	0,4	/	1/10	1/4000
K6	0,4	0,4	/	1/10	1/4000

Tabela 4: Podatki nadomestnih bremen.

Breme	Nazivna napetost (kV)	P (MW)	Q (MVar)
Br1	20	8	4
Br2	0,4	0,6	0,5
Br3	0,4	0,8	0,6
Br4	20	14	6
Br5	0,4	0,6	0,5
Br6	0,4	0,8	0,5

Vaja 2

Kompenzacija jalove moči – določanje parametrov kompenzatorja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja pri vaji 1 določite velikost dušilke kompenzatorjev na srednje-napetostnem nivoju. Kompenzatorje uglasite tako, da bo ojačenje harmonikov v omrežju čim manjše. Upoštevajte, da:

- v omrežju nastopajo značilni harmoniki reda 3, 5, 7, 11 in 13,
- so kompenzatorji dvostopenjski in da je vsaka stopnja lahko uglašena na drugačno frekvenco,
- da uglasitev kompenzatorja na nižjo frekvenco zahteva večjo in dražjo dušilko,
- da mora biti kompenzator opremljen vsaj z vklopno dušilko,
- da sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II lahko enaka.

Pri določanju parametrov kompenzatorja preverite tudi kako na frekvenčno karakteristiko vplivajo spremembe obremenitve, kratkostične moči omrežja in parametrov VN/SN transformatorja (moč, kratkostična napetost).

V primeru, da sta stopnji kompenzatorja uglašeni na različni frekvenci, določite tudi ustrezni vrstni red vklopa in izklopa stopenj.

Vaja 3

Kompensacija jalove moči – simulacija modela omrežja

S pomočjo simulacijskega programa PSCAD preverite rešitev, ki ste jo predlagali v okviru vaje 2.

Harmonsko popačenje, ki ga v omrežju povzročajo bremena, simulirajte s harmonskima tokovnima viroma (za 5. in 7. harmonik) priključenima na SN nivo.

Tabela 5: Podatki harmonskih tokovnih virov.

Harmonski vir	Nazivna napetost (kV)	Frekvenca (Hz)	Tok – efektivna vrednost (A)
Ih 5	20	250	9,0
Ih 7	20	350	7,0

Simulirajte naslednje primere:

- obratovanje omrežja brez kompenzacije,
- obratovanje omrežja s kompenzatorji, kot so določeni v okviru vaje 1,
- obratovanje omrežja s kompenzacijo, ki ste jo določili pri vaji 2.

S pomočjo simulacij določite harmonsko popačenje naslednjih veličin:

- napetosti na SN nivoju,
- toka SN transformatorja,
- toka bremena, priključenega na SN nivo,
- toka kompenzatorja na SN nivoju.

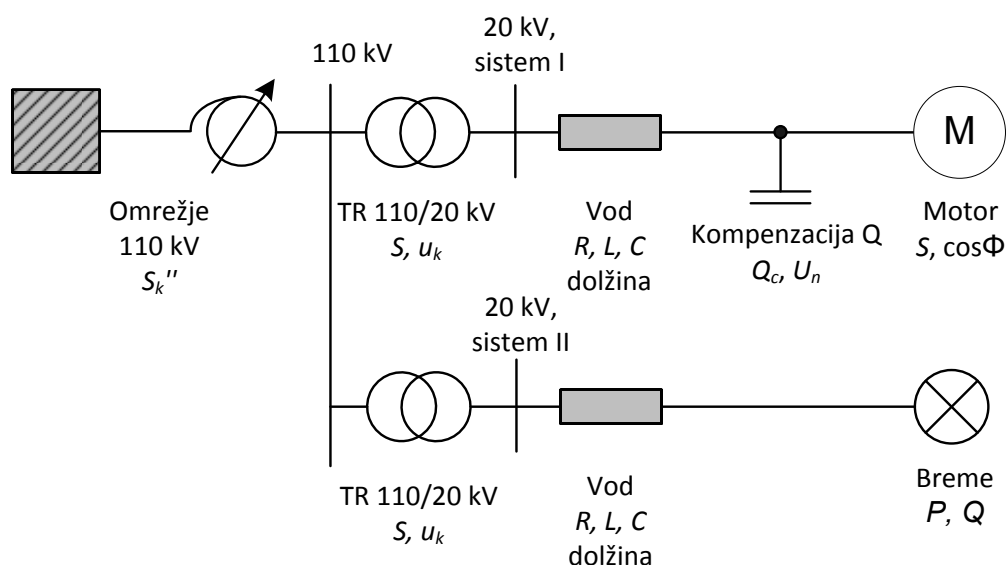
Če sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II enaka, podajte rezultate samo za en sistem.

Rezultate simulacij komentirajte.

Vaja 4 Meritve kakovosti napetosti

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite parametre kakovosti napetosti po standardu SIST EN 50160 na napetostnem nivoju 20 kV. Meritve opravite na 20 kV sistemu I in 20 kV sistemu II. Izmerite tudi bremenski tok. Na sistemu, kjer je priključen elektromotor opravite dve meritvi – eno z odklopljenim in eno s priklopljenim kompenzatorjem jalove moči.

Rezultate podajte v obliki poročila, kjer tabelarično in v grafični obliki prikažete rezultate meritev po SIST EN 50160 ter tudi poteke električnih veličin (U , I , P , Q , $\cos\varphi$, harmonske komponente...). Rezultate komentirajte, opišite tudi vpliv priklopa kompenzatorja na razmere v omrežju.

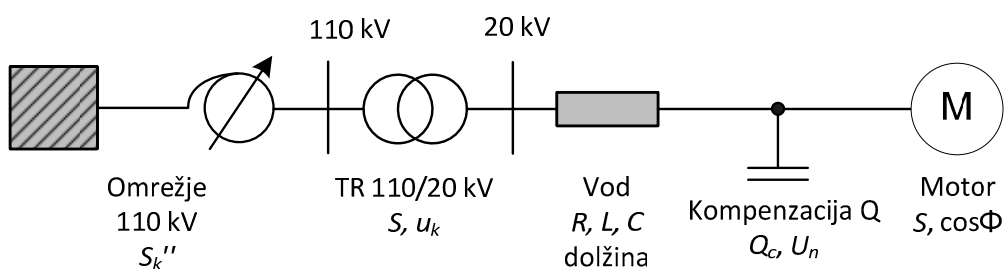


Slika 2: Meritve kakovosti napetosti - enopolna shema omrežja.

Vaja 5 Viri harmonskega popačenja

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite trenutne poteke napetosti ter toka. Meritve opravite pri priklopljenem in pri odklopljenem kompenzatorju.

S pomočjo metode harmonskih vektorjev z referenčnimi impedancami določite deleže harmonskega popačenja napetosti in toka z omrežne ter z bremenske strani. Izračunajte deleže za osnovno harmonsko komponento in 5., 7., 11. ter 13. harmonik. Izračune izvedite v dveh delovnih točkah omrežja – eni, ko je kompenzator odklopljen in eni, ko je kompenzator priklopljen. Rezultate komentirajte.



Slika 2: Viri harmonskega popačenja - enopolna shema omrežja.

Vaja 1

Kompensacija jalove moči – frekvenčne karakteristike impedance omrežja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja določite frekvenčne karakteristike njegove impedance in sicer:

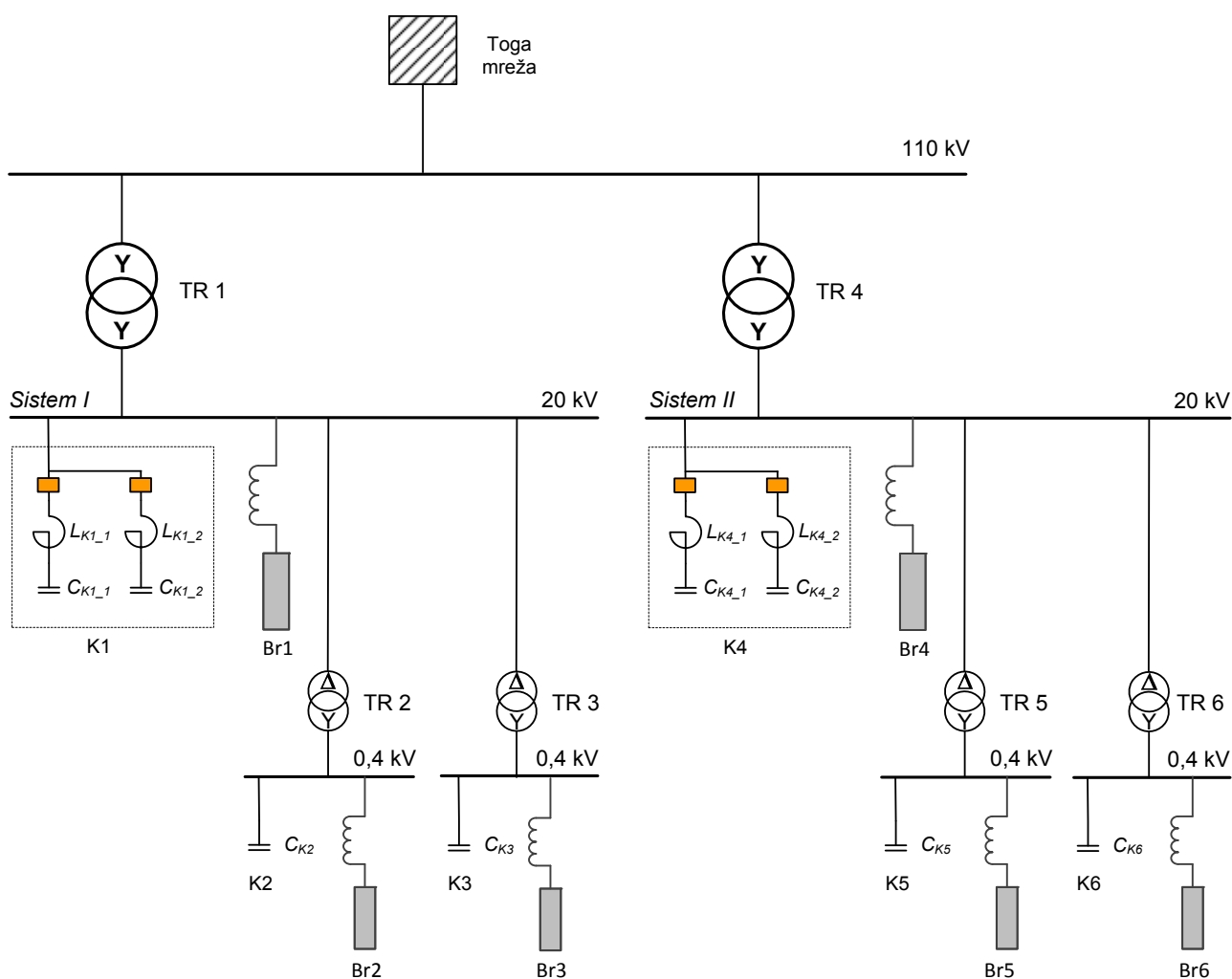
- frekvenčne karakteristike impedance z omrežne strani 110 kV,
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema I in
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema II.

Pri tem upoštevajte, da:

- so kompenzatorji na napetostnem nivoju 20 kV izvedeni v dveh enakih stopnjah,
- je vsak kompenzator lahko tudi odklopljen od omrežja,
- se lahko bremena, kratkostična moč omrežja in tudi transformatorji spremenijo.

Prikažite absolutno vrednost impedance glede na vrednost pri 50 Hz. Rezultate komentirajte.

Upoštevajte obratovalno stanje, ko so izklopljeni naslednji transformatorji: TR 2, TR 5 in TR 6.



Slika 1: Kompensacija jalove moči - enopolna shema omrežja.

Tabela 1: Podatki toge mreže.

Toga mreža	Un (kV)	Sk'' (MVA)	R/X
TM	110	1300	1/10

Tabela 2: Nazivni podatki transformatorjev.

Transformator	Nazivna napetost (kV/kV)	Nazivna moč (MVA)	u_k (%)	R/X
TR 1	110/20	20,0	10,6	1/20
TR 2	20/0,4	1,6	5,6	1/20
TR 3	20/0,4	1,0	5,2	1/20
TR 4	110/20	31,5	13,4	1/20
TR 5	20/0,4	1,3	5,0	1/20
TR 6	20/0,4	1,0	5,2	1/20

Tabela 3: Nazivni podatki kompenzatorjev.

Kompenzator	Nazivna napetost (kV)	Nazivna moč (MVar)	Resonančna frekvenca (Hz)	R/X _L	R/X _C
K1	20	2,4 + 2,4	910	1/10	1/4000
K2	0,4	0,6	/	1/10	1/4000
K3	0,4	0,3	/	1/10	1/4000
K4	20	3,0 + 3,0	940	1/10	1/4000
K5	0,4	0,3	/	1/10	1/4000
K6	0,4	0,5	/	1/10	1/4000

Tabela 4: Podatki nadomestnih bremen.

Breme	Nazivna napetost (kV)	P (MW)	Q (MVar)
Br1	20	8	4
Br2	0,4	0,6	0,5
Br3	0,4	0,8	0,6
Br4	20	14	6
Br5	0,4	0,6	0,5
Br6	0,4	0,8	0,5

Vaja 2

Kompenzacija jalove moči – določanje parametrov kompenzatorja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja pri vaji 1 določite velikost dušilke kompenzatorjev na srednje-napetostnem nivoju. Kompenzatorje uglasite tako, da bo ojačenje harmonikov v omrežju čim manjše. Upoštevajte, da:

- v omrežju nastopajo značilni harmoniki reda 3, 5, 7, 11 in 13,
- so kompenzatorji dvostopenjski in da je vsaka stopnja lahko uglašena na drugačno frekvenco,
- da uglasitev kompenzatorja na nižjo frekvenco zahteva večjo in dražjo dušilko,
- da mora biti kompenzator opremljen vsaj z vklopno dušilko,
- da sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II lahko enaka.

Pri določanju parametrov kompenzatorja preverite tudi kako na frekvenčno karakteristiko vplivajo spremembe obremenitve, kratkostične moči omrežja in parametrov VN/SN transformatorja (moč, kratkostična napetost).

V primeru, da sta stopnji kompenzatorja uglašeni na različni frekvenci, določite tudi ustrezni vrstni red vklopa in izklopa stopenj.

Vaja 3 Kompenzacija jalove moči – simulacija modela omrežja

S pomočjo simulacijskega programa PSCAD preverite rešitev, ki ste jo predlagali v okviru vaje 2.

Harmonsko popačenje, ki ga v omrežju povzročajo bremena, simulirajte s harmonskima tokovnima viroma (za 5. in 7. harmonik) priključenima na SN nivo.

Tabela 5: Podatki harmonskih tokovnih virov.

Harmonski vir	Nazivna napetost (kV)	Frekvenca (Hz)	Tok – efektivna vrednost (A)
Ih 5	20	250	10,0
Ih 7	20	350	7,0

Simulirajte naslednje primere:

- obratovanje omrežja brez kompenzacije,
- obratovanje omrežja s kompenzatorji, kot so določeni v okviru vaje 1,
- obratovanje omrežja s kompenzacijo, ki ste jo določili pri vaji 2.

S pomočjo simulacij določite harmonsko popačenje naslednjih veličin:

- napetosti na SN nivoju,
- toka SN transformatorja,
- toka bremena, priključenega na SN nivo,
- toka kompenzatorja na SN nivoju.

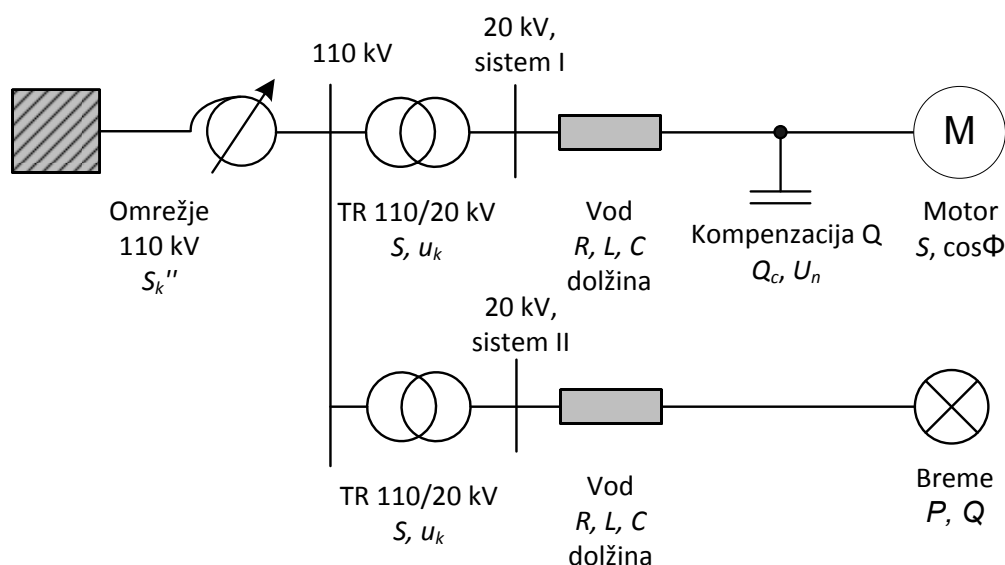
Če sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II enaka, podajte rezultate samo za en sistem.

Rezultate simulacij komentirajte.

Vaja 4 Meritve kakovosti napetosti

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite parametre kakovosti napetosti po standardu SIST EN 50160 na napetostnem nivoju 20 kV. Meritve opravite na 20 kV sistemu I in 20 kV sistemu II. Izmerite tudi bremenski tok. Na sistemu, kjer je priključen elektromotor opravite dve meritvi – eno z odklopljenim in eno s priklopljenim kompenzatorjem jalove moči.

Rezultate podajte v obliki poročila, kjer tabelarično in v grafični obliki prikažete rezultate meritev po SIST EN 50160 ter tudi poteke električnih veličin (U , I , P , Q , $\cos\varphi$, harmonske komponente...). Rezultate komentirajte, opišite tudi vpliv priklopa kompenzatorja na razmere v omrežju.

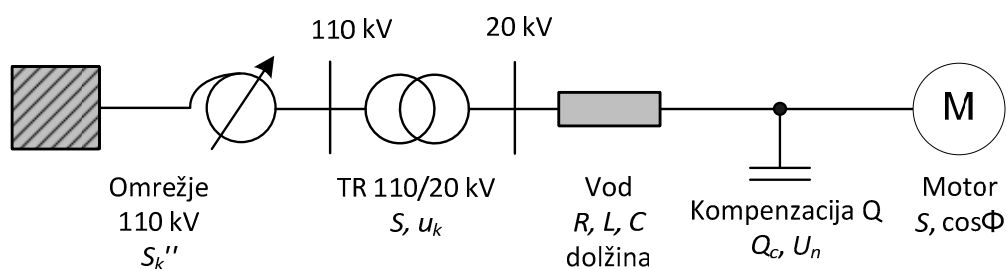


Slika 2: Meritve kakovosti napetosti - enopolna shema omrežja.

Vaja 5 Viri harmonskega popačenja

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite trenutne poteke napetosti ter toka. Meritve opravite pri priklopljenem in pri odklopljenem kompenzatorju.

S pomočjo metode harmonskih vektorjev z referenčnimi impedancami določite deleže harmonskega popačenja napetosti in toka z omrežne ter z bremenske strani. Izračunajte deleže za osnovno harmonsko komponento in 5., 7., 11. ter 13. harmonik. Izračune izvedite v dveh delovnih točkah omrežja – eni, ko je kompenzator odklopljen in eni, ko je kompenzator priklopljen. Rezultate komentirajte.



Slika 2: Viri harmonskega popačenja - enopolna shema omrežja.

Vaja 1

Kompensacija jalove moči – frekvenčne karakteristike impedance omrežja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja določite frekvenčne karakteristike njegove impedance in sicer:

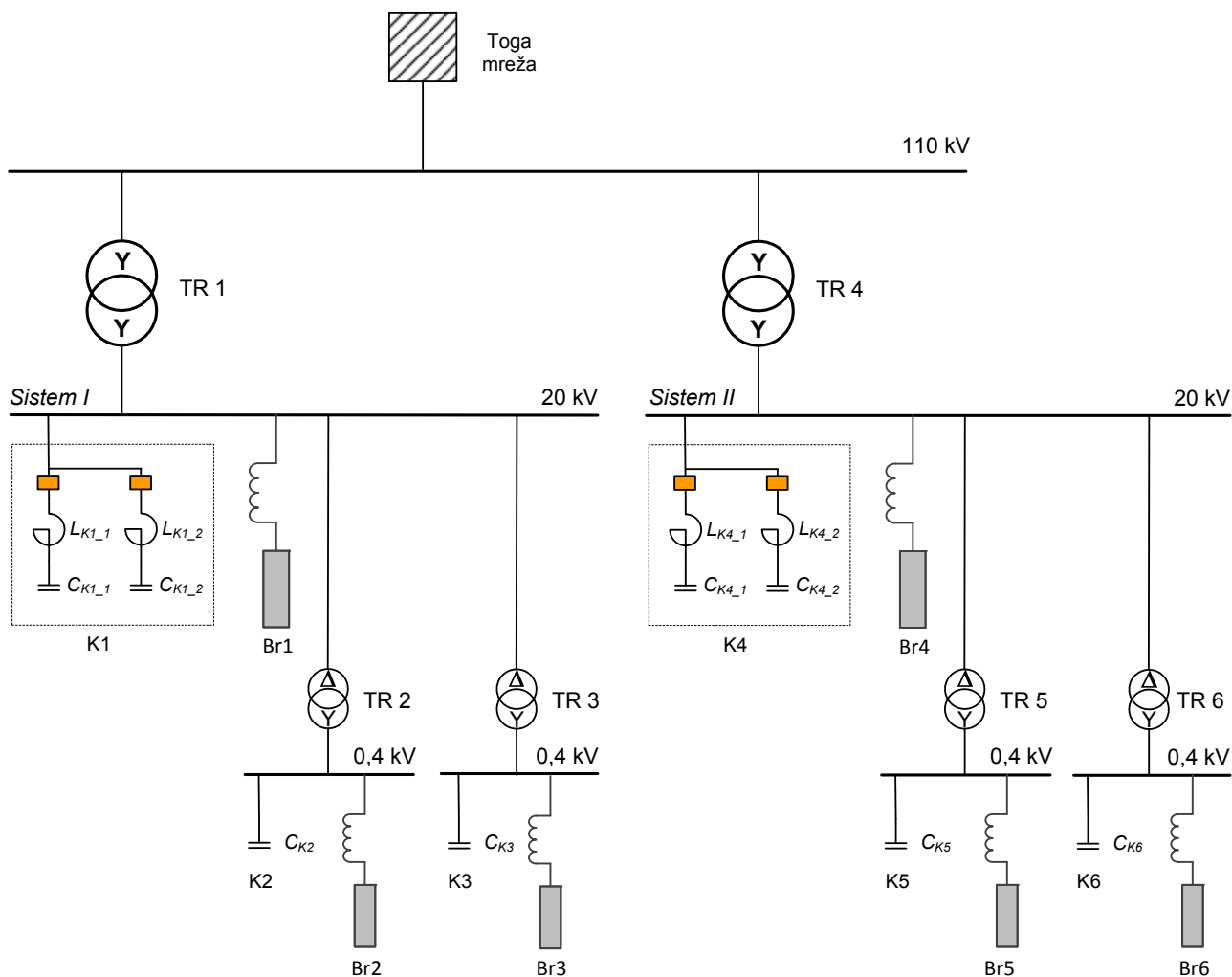
- frekvenčne karakteristike impedance z omrežne strani 110 kV,
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema I in
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema II.

Pri tem upoštevajte, da:

- so kompenzatorji na napetostnem nivoju 20 kV izvedeni v dveh enakih stopnjah,
- je vsak kompenzator lahko tudi odklopljen od omrežja,
- se lahko bremena, kratkostična moč omrežja in tudi transformatorji spremenijo.

Prikažite absolutno vrednost impedance glede na vrednost pri 50 Hz. Rezultate komentirajte.

Upoštevajte obratovalno stanje, ko so izklopljeni naslednji transformatorji: TR 1, TR 2 in TR 3.



Slika 1: Kompensacija jalove moči - enopolna shema omrežja.

Tabela 1: Podatki toge mreže.

Toga mreža	Un (kV)	Sk'' (MVA)	R/X
TM	110	1400	1/10

Tabela 2: Nazivni podatki transformatorjev.

Transformator	Nazivna napetost (kV/kV)	Nazivna moč (MVA)	u_k (%)	R/X
TR 1	110/20	20,0	10,8	1/20
TR 2	20/0,4	2,0	6,0	1/20
TR 3	20/0,4	1,0	5,0	1/20
TR 4	110/20	31,5	13,6	1/20
TR 5	20/0,4	1,6	5,6	1/20
TR 6	20/0,4	1,0	5,0	1/20

Tabela 3: Nazivni podatki kompenzatorjev.

Kompenzator	Nazivna napetost (kV)	Nazivna moč (MVar)	Resonančna frekvenca (Hz)	R/X _L	R/X _C
K1	20	2,6 + 2,6	880	1/10	1/4000
K2	0,4	0,3	/	1/10	1/4000
K3	0,4	0,6	/	1/10	1/4000
K4	20	3,2 + 3,2	910	1/10	1/4000
K5	0,4	0,2	/	1/10	1/4000
K6	0,4	0,6	/	1/10	1/4000

Tabela 4: Podatki nadomestnih bremen.

Breme	Nazivna napetost (kV)	P (MW)	Q (MVar)
Br1	20	8	4
Br2	0,4	0,6	0,5
Br3	0,4	0,8	0,6
Br4	20	14	6
Br5	0,4	0,6	0,5
Br6	0,4	0,8	0,5

Vaja 2

Kompenzacija jalove moči – določanje parametrov kompenzatorja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja pri vaji 1 določite velikost dušilke kompenzatorjev na srednje-napetostnem nivoju. Kompenzatorje uglasite tako, da bo ojačenje harmonikov v omrežju čim manjše. Upoštevajte, da:

- v omrežju nastopajo značilni harmoniki reda 3, 5, 7, 11 in 13,
- so kompenzatorji dvostopenjski in da je vsaka stopnja lahko uglašena na drugačno frekvenco,
- da uglasitev kompenzatorja na nižjo frekvenco zahteva večjo in dražjo dušilko,
- da mora biti kompenzator opremljen vsaj z vklopno dušilko,
- da sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II lahko enaka.

Pri določanju parametrov kompenzatorja preverite tudi kako na frekvenčno karakteristiko vplivajo spremembe obremenitve, kratkostične moči omrežja in parametrov VN/SN transformatorja (moč, kratkostična napetost).

V primeru, da sta stopnji kompenzatorja uglašeni na različni frekvenci, določite tudi ustrezni vrstni red vklopa in izklopa stopenj.

Vaja 3

Kompenzacija jalove moči – simulacija modela omrežja

S pomočjo simulacijskega programa PSCAD preverite rešitev, ki ste jo predlagali v okviru vaje 2.

Harmonsko popačenje, ki ga v omrežju povzročajo bremena, simulirajte s harmonskima tokovnim viroma (za 5. in 7. harmonik) priključenima na SN nivo.

Tabela 5: Podatki harmonskih tokovnih virov.

Harmonski vir	Nazivna napetost (kV)	Frekvenca (Hz)	Tok – efektivna vrednost (A)
Ih 5	20	250	8,0
Ih 7	20	350	8,0

Simulirajte naslednje primere:

- obratovanje omrežja brez kompenzacije,
- obratovanje omrežja s kompenzatorji, kot so določeni v okviru vaje 1,
- obratovanje omrežja s kompenzacijo, ki ste jo določili pri vaji 2.

S pomočjo simulacij določite harmonsko popačenje naslednjih veličin:

- napetosti na SN nivoju,
- toka SN transformatorja,
- toka bremena, priključenega na SN nivo,
- toka kompenzatorja na SN nivoju.

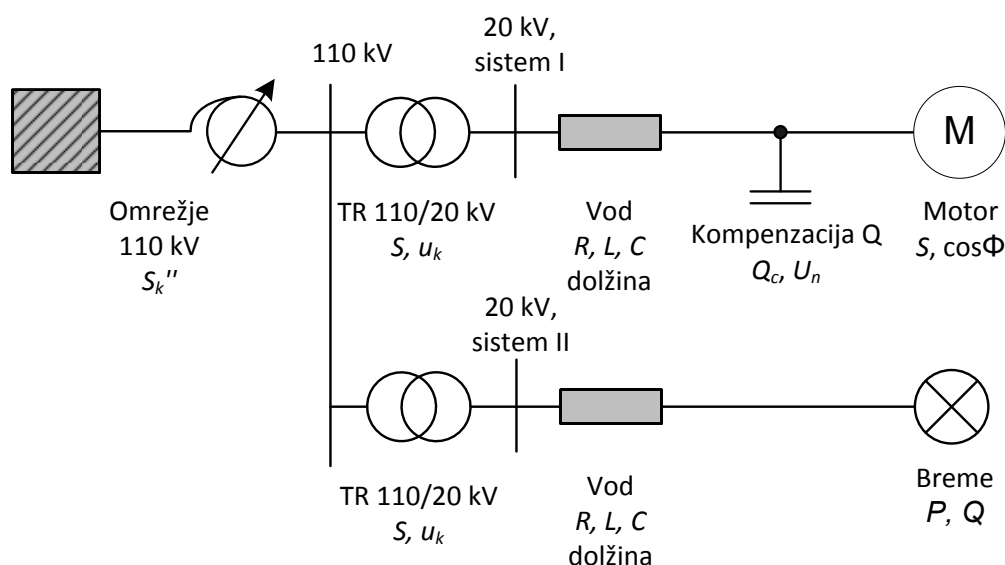
Če sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II enaka, podajte rezultate samo za en sistem.

Rezultate simulacij komentirajte.

Vaja 4 Meritve kakovosti napetosti

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite parametre kakovosti napetosti po standardu SIST EN 50160 na napetostnem nivoju 20 kV. Meritve opravite na 20 kV sistemu I in 20 kV sistemu II. Izmerite tudi bremenski tok. Na sistemu, kjer je priključen elektromotor opravite dve meritvi – eno z odklopljenim in eno s priklopljenim kompenzatorjem jalove moči.

Rezultate podajte v obliki poročila, kjer tabelarično in v grafični obliki prikažete rezultate meritev po SIST EN 50160 ter tudi poteke električnih veličin (U , I , P , Q , $\cos\varphi$, harmonske komponente...). Rezultate komentirajte, opišite tudi vpliv priklopa kompenzatorja na razmere v omrežju.

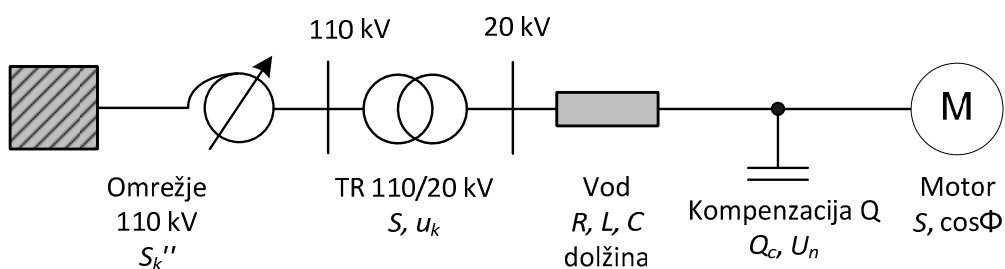


Slika 2: Meritve kakovosti napetosti - enopolna shema omrežja.

Vaja 5 Viri harmonskega popačenja

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite trenutne poteke napetosti ter toka. Meritve opravite pri priklopljenem in pri odklopljenem kompenzatorju.

S pomočjo metode harmonskih vektorjev z referenčnimi impedancami določite deleže harmonskega popačenja napetosti in toka z omrežne ter z bremenske strani. Izračunajte deleže za osnovno harmonsko komponento in 5., 7., 11. ter 13. harmonik. Izračune izvedite v dveh delovnih točkah omrežja – eni, ko je kompenzator odklopljen in eni, ko je kompenzator priklopljen. Rezultate komentirajte.



Slika 2: Viri harmonskega popačenja - enopolna shema omrežja.

Tabela 1: Podatki toge mreže.

Toga mreža	Un (kV)	Sk'' (MVA)	R/X
TM	110	1500	1/10

Tabela 2: Nazivni podatki transformatorjev.

Transformator	Nazivna napetost (kV/kV)	Nazivna moč (MVA)	u_k (%)	R/X
TR 1	110/20	20,0	11,0	1/20
TR 2	20/0,4	1,0	5,2	1/20
TR 3	20/0,4	1,3	5,0	1/20
TR 4	110/20	31,5	13,8	1/20
TR 5	20/0,4	2,0	6,0	1/20
TR 6	20/0,4	1,3	5,0	1/20

Tabela 3: Nazivni podatki kompenzatorjev.

Kompenzator	Nazivna napetost (kV)	Nazivna moč (MVar)	Resonančna frekvenca (Hz)	R/X _L	R/X _C
K1	20	2,8 + 2,8	850	1/10	1/4000
K2	0,4	0,4	/	1/10	1/4000
K3	0,4	0,5	/	1/10	1/4000
K4	20	3,4 + 3,4	880	1/10	1/4000
K5	0,4	0,6	/	1/10	1/4000
K6	0,4	0,2	/	1/10	1/4000

Tabela 4: Podatki nadomestnih bremen.

Breme	Nazivna napetost (kV)	P (MW)	Q (MVar)
Br1	20	8	4
Br2	0,4	0,6	0,5
Br3	0,4	0,8	0,6
Br4	20	14	6
Br5	0,4	0,6	0,5
Br6	0,4	0,8	0,5

Vaja 2

Kompenzacija jalove moči – določanje parametrov kompenzatorja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja pri vaji 1 določite velikost dušilke kompenzatorjev na srednje-napetostnem nivoju. Kompenzatorje uglasite tako, da bo ojačenje harmonikov v omrežju čim manjše. Upoštevajte, da:

- v omrežju nastopajo značilni harmoniki reda 3, 5, 7, 11 in 13,
- so kompenzatorji dvostopenjski in da je vsaka stopnja lahko uglašena na drugačno frekvenco,
- da uglasitev kompenzatorja na nižjo frekvenco zahteva večjo in dražjo dušilko,
- da mora biti kompenzator opremljen vsaj z vklopno dušilko,
- da sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II lahko enaka.

Pri določanju parametrov kompenzatorja preverite tudi kako na frekvenčno karakteristiko vplivajo spremembe obremenitve, kratkostične moči omrežja in parametrov VN/SN transformatorja (moč, kratkostična napetost).

V primeru, da sta stopnji kompenzatorja uglašeni na različni frekvenci, določite tudi ustrezni vrstni red vklopa in izklopa stopenj.

Vaja 3

Kompenzacija jalove moči – simulacija modela omrežja

S pomočjo simulacijskega programa PSCAD preverite rešitev, ki ste jo predlagali v okviru vaje 2.

Harmonsko popačenje, ki ga v omrežju povzročajo bremena, simulirajte s harmonskima tokovnima viroma (za 5. in 7. harmonik) priključenima na SN nivo.

Tabela 5: Podatki harmonskih tokovnih virov.

Harmonski vir	Nazivna napetost (kV)	Frekvenca (Hz)	Tok – efektivna vrednost (A)
Ih 5	20	250	7,0
Ih 7	20	350	10,0

Simulirajte naslednje primere:

- obratovanje omrežja brez kompenzacije,
- obratovanje omrežja s kompenzatorji, kot so določeni v okviru vaje 1,
- obratovanje omrežja s kompenzacijo, ki ste jo določili pri vaji 2.

S pomočjo simulacij določite harmonsko popačenje naslednjih veličin:

- napetosti na SN nivoju,
- toka SN transformatorja,
- toka bremena, priključenega na SN nivo,
- toka kompenzatorja na SN nivoju.

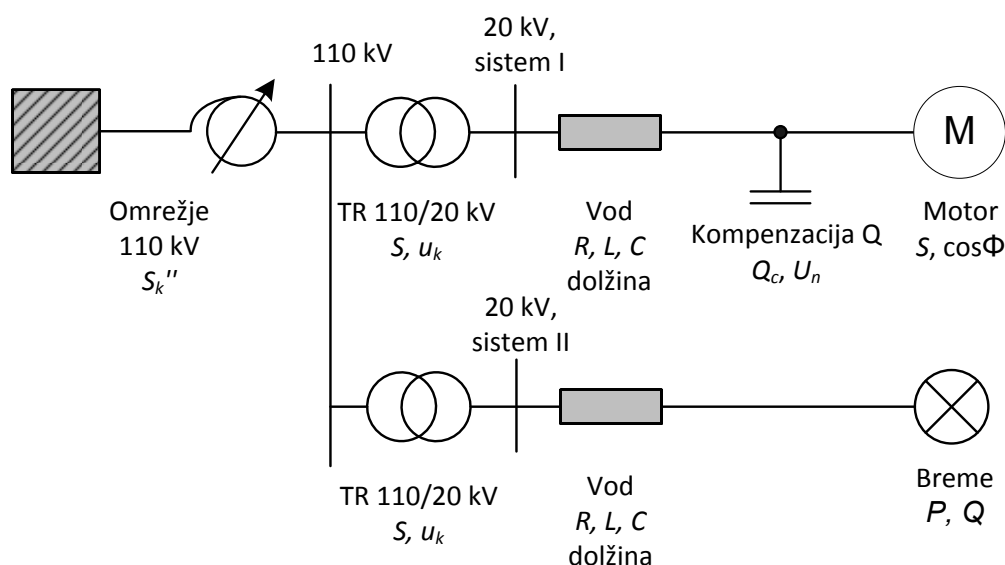
Če sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II enaka, podajte rezultate samo za en sistem.

Rezultate simulacij komentirajte.

Vaja 4 Meritve kakovosti napetosti

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite parametre kakovosti napetosti po standardu SIST EN 50160 na napetostnem nivoju 20 kV. Meritve opravite na 20 kV sistemu I in 20 kV sistemu II. Izmerite tudi bremenski tok. Na sistemu, kjer je priključen elektromotor opravite dve meritvi – eno z odklopljenim in eno s priklopljenim kompenzatorjem jalove moči.

Rezultate podajte v obliki poročila, kjer tabelarično in v grafični obliki prikažete rezultate meritev po SIST EN 50160 ter tudi poteke električnih veličin (U , I , P , Q , $\cos\varphi$, harmonske komponente...). Rezultate komentirajte, opišite tudi vpliv priklopa kompenzatorja na razmere v omrežju.

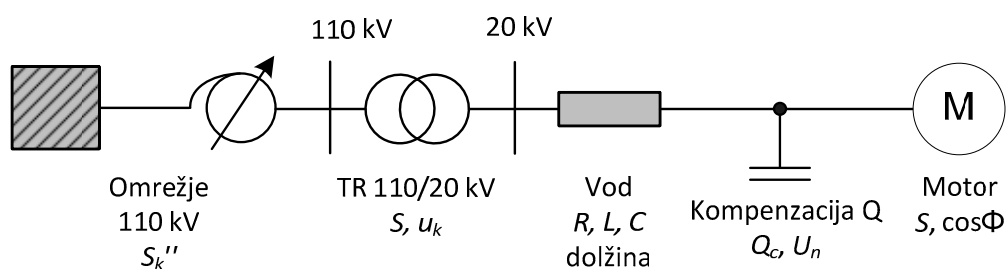


Slika 2: Meritve kakovosti napetosti - enopolna shema omrežja.

Vaja 5 Viri harmonskega popačenja

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite trenutne poteke napetosti ter toka. Meritve opravite pri priklopljenem in pri odklopljenem kompenzatorju.

S pomočjo metode harmonskih vektorjev z referenčnimi impedancami določite deleže harmonskega popačenja napetosti in toka z omrežne ter z bremenske strani. Izračunajte deleže za osnovno harmonsko komponento in 5., 7., 11. ter 13. harmonik. Izračune izvedite v dveh delovnih točkah omrežja – eni, ko je kompenzator odklopljen in eni, ko je kompenzator priklopljen. Rezultate komentirajte.



Slika 2: Viri harmonskega popačenja - enopolna shema omrežja.

Vaja 1

Kompensacija jalove moči – frekvenčne karakteristike impedance omrežja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja določite frekvenčne karakteristike njegove impedance in sicer:

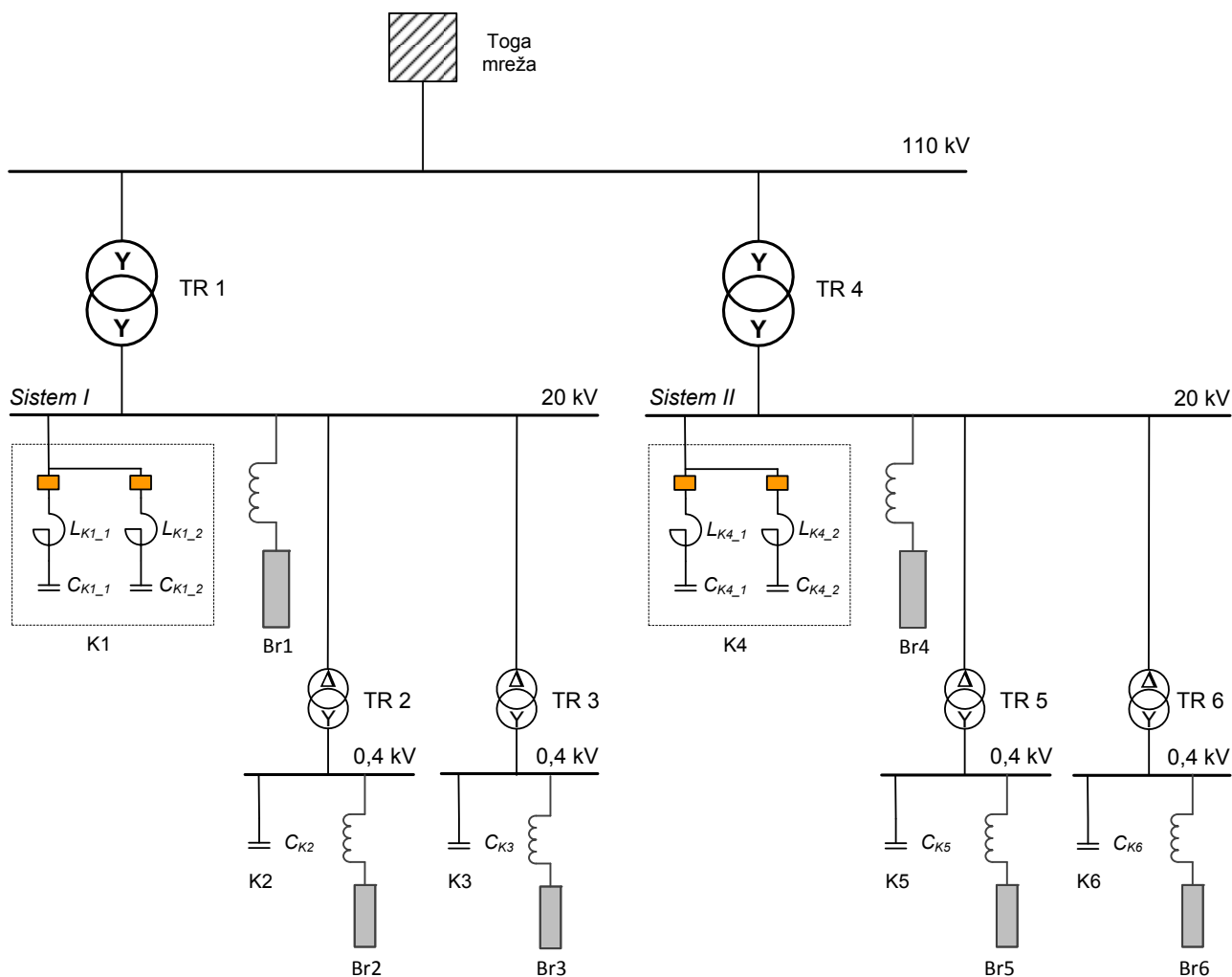
- frekvenčne karakteristike impedance z omrežne strani 110 kV,
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema I in
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema II.

Pri tem upoštevajte, da:

- so kompenzatorji na napetostnem nivoju 20 kV izvedeni v dveh enakih stopnjah,
- je vsak kompenzator lahko tudi odklopljen od omrežja,
- se lahko bremena, kratkostična moč omrežja in tudi transformatorji spremenijo.

Prikažite absolutno vrednost impedance glede na vrednost pri 50 Hz. Rezultate komentirajte.

Upoštevajte obratovalno stanje, ko so izklopljeni naslednji transformatorji: TR 2, TR 3 in TR 5.



Slika 1: Kompensacija jalove moči - enopolna shema omrežja.

Tabela 1: Podatki toge mreže.

Toga mreža	Un (kV)	Sk'' (MVA)	R/X
TM	110	1600	1/10

Tabela 2: Nazivni podatki transformatorjev.

Transformator	Nazivna napetost (kV/kV)	Nazivna moč (MVA)	u_k (%)	R/X
TR 1	110/20	20,0	11,2	1/20
TR 2	20/0,4	1,0	5,0	1/20
TR 3	20/0,4	1,6	5,6	1/20
TR 4	110/20	31,5	14,0	1/20
TR 5	20/0,4	1,0	5,2	1/20
TR 6	20/0,4	1,6	5,6	1/20

Tabela 3: Nazivni podatki kompenzatorjev.

Kompenzator	Nazivna napetost (kV)	Nazivna moč (MVar)	Resonančna frekvenca (Hz)	R/X _L	R/X _C
K1	20	3,0 + 3,0	1000	1/10	1/4000
K2	0,4	0,5	/	1/10	1/4000
K3	0,4	0,4	/	1/10	1/4000
K4	20	3,6 + 3,6	850	1/10	1/4000
K5	0,4	0,5	/	1/10	1/4000
K6	0,4	0,3	/	1/10	1/4000

Tabela 4: Podatki nadomestnih bremen.

Breme	Nazivna napetost (kV)	P (MW)	Q (MVar)
Br1	20	8	4
Br2	0,4	0,6	0,5
Br3	0,4	0,8	0,6
Br4	20	14	6
Br5	0,4	0,6	0,5
Br6	0,4	0,8	0,5

Vaja 2

Kompenzacija jalove moči – določanje parametrov kompenzatorja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja pri vaji 1 določite velikost dušilke kompenzatorjev na srednje-napetostnem nivoju. Kompenzatorje uglasite tako, da bo ojačenje harmonikov v omrežju čim manjše. Upoštevajte, da:

- v omrežju nastopajo značilni harmoniki reda 3, 5, 7, 11 in 13,
- so kompenzatorji dvostopenjski in da je vsaka stopnja lahko uglašena na drugačno frekvenco,
- da uglasitev kompenzatorja na nižjo frekvenco zahteva večjo in dražjo dušilko,
- da mora biti kompenzator opremljen vsaj z vklopno dušilko,
- da sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II lahko enaka.

Pri določanju parametrov kompenzatorja preverite tudi kako na frekvenčno karakteristiko vplivajo spremembe obremenitve, kratkostične moči omrežja in parametrov VN/SN transformatorja (moč, kratkostična napetost).

V primeru, da sta stopnji kompenzatorja uglašeni na različni frekvenci, določite tudi ustrezni vrstni red vklopa in izklopa stopenj.

Vaja 3

Kompenzacija jalove moči – simulacija modela omrežja

S pomočjo simulacijskega programa PSCAD preverite rešitev, ki ste jo predlagali v okviru vaje 2.

Harmonsko popačenje, ki ga v omrežju povzročajo bremena, simulirajte s harmonskima tokovnima viroma (za 5. in 7. harmonik) priključenima na SN nivo.

Tabela 5: Podatki harmonskih tokovnih virov.

Harmonski vir	Nazivna napetost (kV)	Frekvenca (Hz)	Tok – efektivna vrednost (A)
Ih 5	20	250	9,0
Ih 7	20	350	7,0

Simulirajte naslednje primere:

- obratovanje omrežja brez kompenzacije,
- obratovanje omrežja s kompenzatorji, kot so določeni v okviru vaje 1,
- obratovanje omrežja s kompenzacijo, ki ste jo določili pri vaji 2.

S pomočjo simulacij določite harmonsko popačenje naslednjih veličin:

- napetosti na SN nivoju,
- toka SN transformatorja,
- toka bremena, priključenega na SN nivo,
- toka kompenzatorja na SN nivoju.

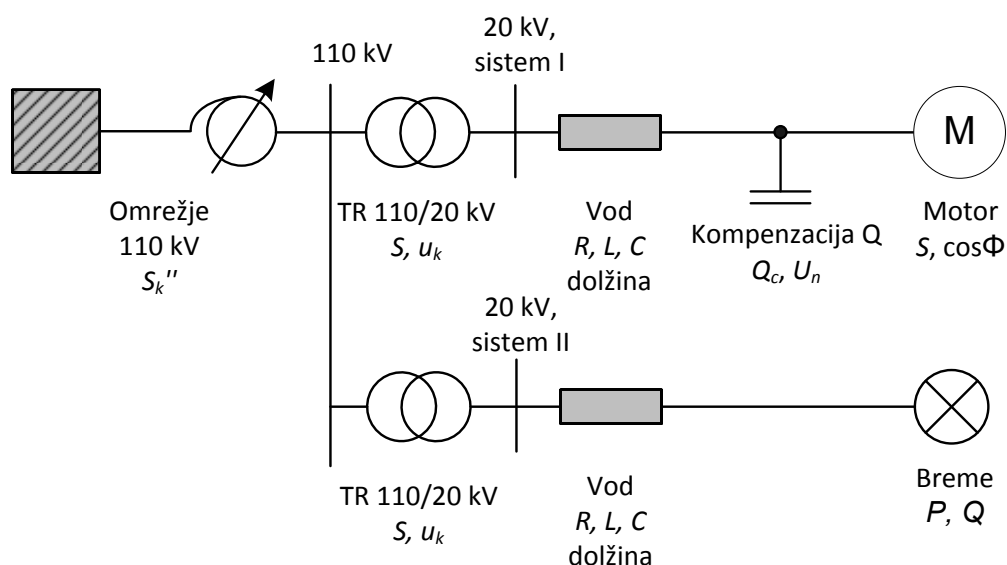
Če sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II enaka, podajte rezultate samo za en sistem.

Rezultate simulacij komentirajte.

Vaja 4 Meritve kakovosti napetosti

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite parametre kakovosti napetosti po standardu SIST EN 50160 na napetostnem nivoju 20 kV. Meritve opravite na 20 kV sistemu I in 20 kV sistemu II. Izmerite tudi bremenski tok. Na sistemu, kjer je priključen elektromotor opravite dve meritvi – eno z odklopljenim in eno s priklopljenim kompenzatorjem jalove moči.

Rezultate podajte v obliki poročila, kjer tabelarično in v grafični obliki prikažete rezultate meritev po SIST EN 50160 ter tudi poteke električnih veličin (U , I , P , Q , $\cos\varphi$, harmonske komponente...). Rezultate komentirajte, opišite tudi vpliv priklopa kompenzatorja na razmere v omrežju.

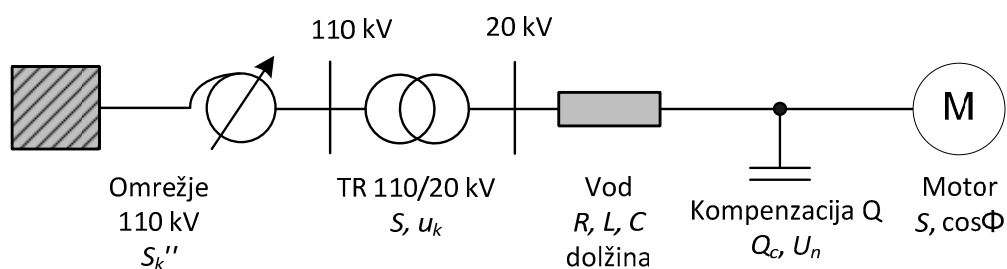


Slika 2: Meritve kakovosti napetosti - enopolna shema omrežja.

Vaja 5 Viri harmonskega popačenja

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite trenutne poteke napetosti ter toka. Meritve opravite pri priklopljenem in pri odklopljenem kompenzatorju.

S pomočjo metode harmonskih vektorjev z referenčnimi impedancami določite deleže harmonskega popačenja napetosti in toka z omrežne ter z bremenske strani. Izračunajte deleže za osnovno harmonsko komponento in 5., 7., 11. ter 13. harmonik. Izračune izvedite v dveh delovnih točkah omrežja – eni, ko je kompenzator odklopljen in eni, ko je kompenzator priklopljen. Rezultate komentirajte.



Slika 2: Viri harmonskega popačenja - enopolna shema omrežja.

Vaja 1

Kompensacija jalove moči – frekvenčne karakteristike impedance omrežja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja določite frekvenčne karakteristike njegove impedance in sicer:

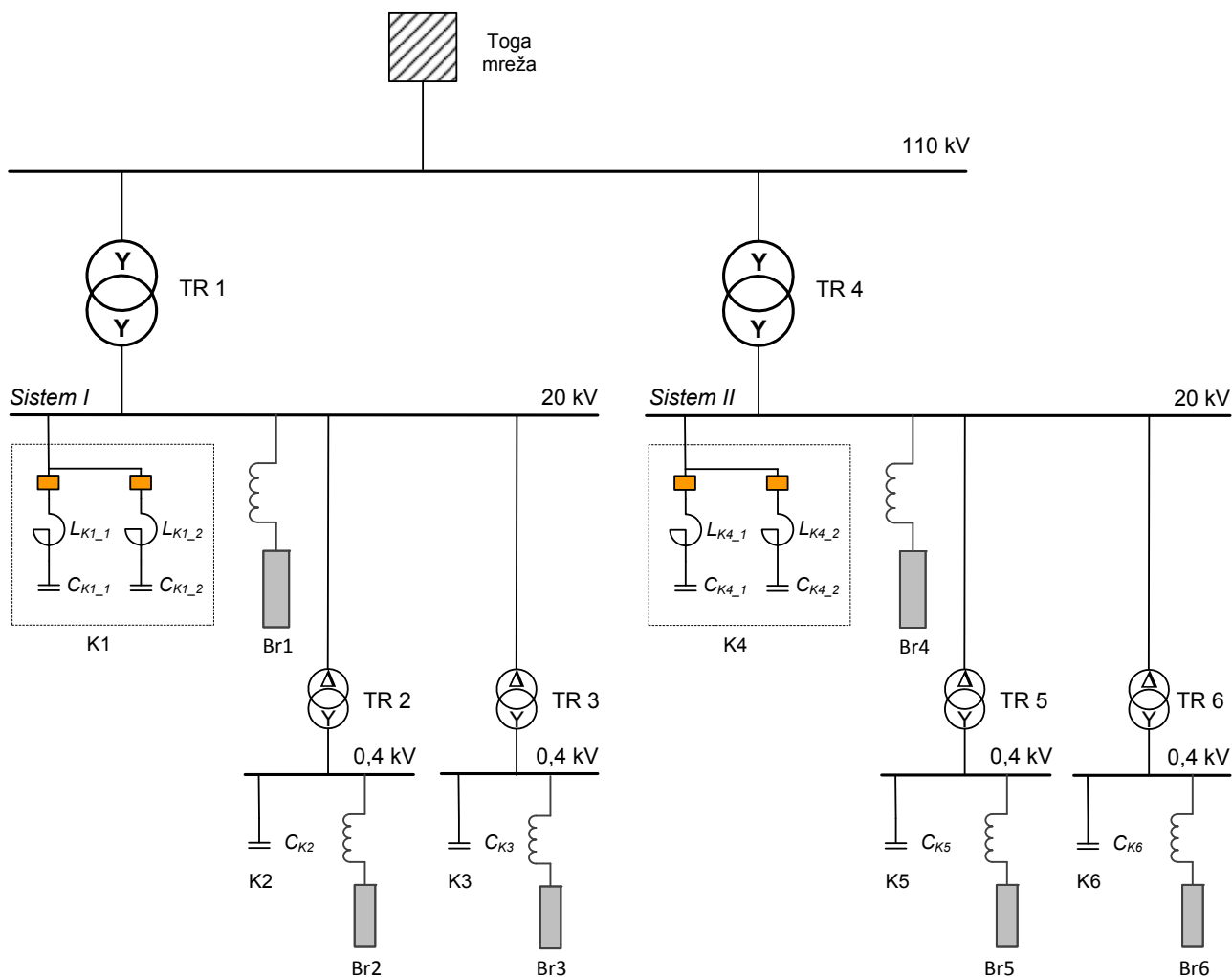
- frekvenčne karakteristike impedance z omrežne strani 110 kV,
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema I in
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema II.

Pri tem upoštevajte, da:

- so kompenzatorji na napetostnem nivoju 20 kV izvedeni v dveh enakih stopnjah,
- je vsak kompenzator lahko tudi odklopljen od omrežja,
- se lahko bremena, kratkostična moč omrežja in tudi transformatorji spremenijo.

Prikažite absolutno vrednost impedance glede na vrednost pri 50 Hz. Rezultate komentirajte.

Upoštevajte obratovalno stanje, ko so izklopljeni naslednji transformatorji: TR 3, TR 5 in TR 6.



Slika 1: Kompensacija jalove moči - enopolna shema omrežja.

Tabela 1: Podatki toge mreže.

Toga mreža	Un (kV)	Sk'' (MVA)	R/X
TM	110	1700	1/10

Tabela 2: Nazivni podatki transformatorjev.

Transformator	Nazivna napetost (kV/kV)	Nazivna moč (MVA)	u_k (%)	R/X
TR 1	110/20	31,5	12,8	1/20
TR 2	20/0,4	1,3	5,0	1/20
TR 3	20/0,4	2,0	6,0	1/20
TR 4	110/20	20,0	10,0	1/20
TR 5	20/0,4	1,0	5,0	1/20
TR 6	20/0,4	2,0	6,0	1/20

Tabela 3: Nazivni podatki kompenzatorjev.

Kompenzator	Nazivna napetost (kV)	Nazivna moč (MVar)	Resonančna frekvenca (Hz)	R/X _L	R/X _C
K1	20	1,8 + 1,8	970	1/10	1/4000
K2	0,4	0,6	/	1/10	1/4000
K3	0,4	0,3	/	1/10	1/4000
K4	20	2,4 + 2,4	1000	1/10	1/4000
K5	0,4	0,4	/	1/10	1/4000
K6	0,4	0,4	/	1/10	1/4000

Tabela 4: Podatki nadomestnih bremen.

Breme	Nazivna napetost (kV)	P (MW)	Q (MVar)
Br1	20	8	4
Br2	0,4	0,6	0,5
Br3	0,4	0,8	0,6
Br4	20	14	6
Br5	0,4	0,6	0,5
Br6	0,4	0,8	0,5

Vaja 2

Kompenzacija jalove moči – določanje parametrov kompenzatorja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja pri vaji 1 določite velikost dušilke kompenzatorjev na srednje-napetostnem nivoju. Kompenzatorje uglasite tako, da bo ojačenje harmonikov v omrežju čim manjše. Upoštevajte, da:

- v omrežju nastopajo značilni harmoniki reda 3, 5, 7, 11 in 13,
- so kompenzatorji dvostopenjski in da je vsaka stopnja lahko uglašena na drugačno frekvenco,
- da uglasitev kompenzatorja na nižjo frekvenco zahteva večjo in dražjo dušilko,
- da mora biti kompenzator opremljen vsaj z vklopno dušilko,
- da sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II lahko enaka.

Pri določanju parametrov kompenzatorja preverite tudi kako na frekvenčno karakteristiko vplivajo spremembe obremenitve, kratkostične moči omrežja in parametrov VN/SN transformatorja (moč, kratkostična napetost).

V primeru, da sta stopnji kompenzatorja uglašeni na različni frekvenci, določite tudi ustrezni vrstni red vklopa in izklopa stopenj.

Vaja 3

Kompenzacija jalove moči – simulacija modela omrežja

S pomočjo simulacijskega programa PSCAD preverite rešitev, ki ste jo predlagali v okviru vaje 2.

Harmonsko popačenje, ki ga v omrežju povzročajo bremena, simulirajte s harmonskima tokovnima viroma (za 5. in 7. harmonik) priključenima na SN nivo.

Tabela 5: Podatki harmonskih tokovnih virov.

Harmonski vir	Nazivna napetost (kV)	Frekvenca (Hz)	Tok – efektivna vrednost (A)
Ih 5	20	250	10,0
Ih 7	20	350	7,0

Simulirajte naslednje primere:

- obratovanje omrežja brez kompenzacije,
- obratovanje omrežja s kompenzatorji, kot so določeni v okviru vaje 1,
- obratovanje omrežja s kompenzacijo, ki ste jo določili pri vaji 2.

S pomočjo simulacij določite harmonsko popačenje naslednjih veličin:

- napetosti na SN nivoju,
- toka SN transformatorja,
- toka bremena, priključenega na SN nivo,
- toka kompenzatorja na SN nivoju.

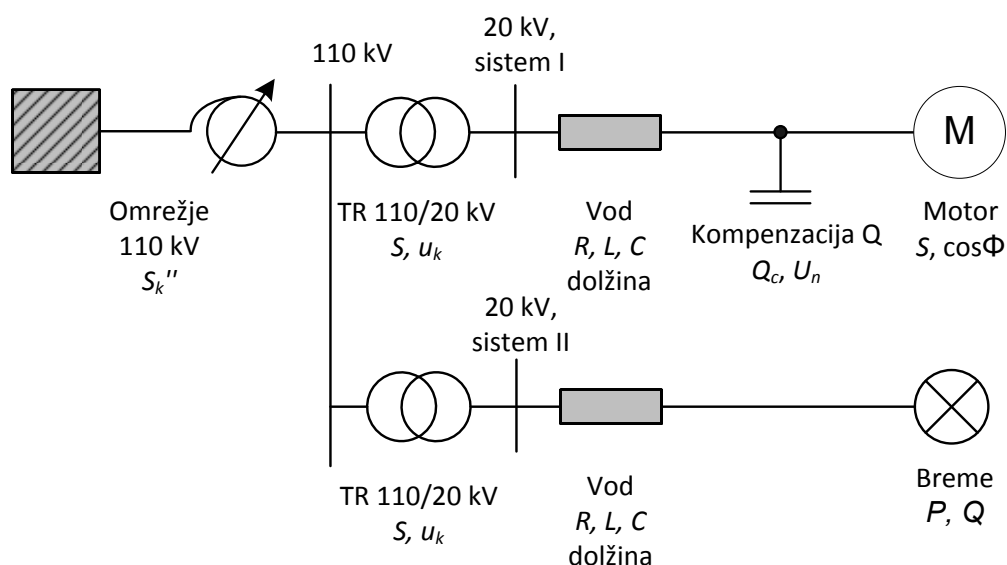
Če sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II enaka, podajte rezultate samo za en sistem.

Rezultate simulacij komentirajte.

Vaja 4 Meritve kakovosti napetosti

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite parametre kakovosti napetosti po standardu SIST EN 50160 na napetostnem nivoju 20 kV. Meritve opravite na 20 kV sistemu I in 20 kV sistemu II. Izmerite tudi bremenski tok. Na sistemu, kjer je priključen elektromotor opravite dve meritvi – eno z odklopljenim in eno s priklopljenim kompenzatorjem jalove moči.

Rezultate podajte v obliki poročila, kjer tabelarično in v grafični obliki prikažete rezultate meritev po SIST EN 50160 ter tudi poteke električnih veličin (U , I , P , Q , $\cos\varphi$, harmonske komponente...). Rezultate komentirajte, opišite tudi vpliv priklopa kompenzatorja na razmere v omrežju.

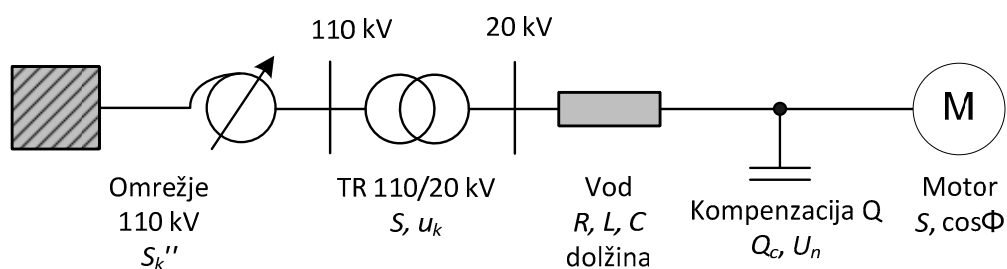


Slika 2: Meritve kakovosti napetosti - enopolna shema omrežja.

Vaja 5 Viri harmonskega popačenja

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite trenutne poteke napetosti ter toka. Meritve opravite pri priklopljenem in pri odklopljenem kompenzatorju.

S pomočjo metode harmonskih vektorjev z referenčnimi impedancami določite deleže harmonskega popačenja napetosti in toka z omrežne ter z bremenske strani. Izračunajte deleže za osnovno harmonsko komponento in 5., 7., 11. ter 13. harmonik. Izračune izvedite v dveh delovnih točkah omrežja – eni, ko je kompenzator odklopljen in eni, ko je kompenzator priklopljen. Rezultate komentirajte.



Slika 2: Viri harmonskega popačenja - enopolna shema omrežja.

Vaja 1

Kompensacija jalove moči – frekvenčne karakteristike impedance omrežja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja določite frekvenčne karakteristike njegove impedance in sicer:

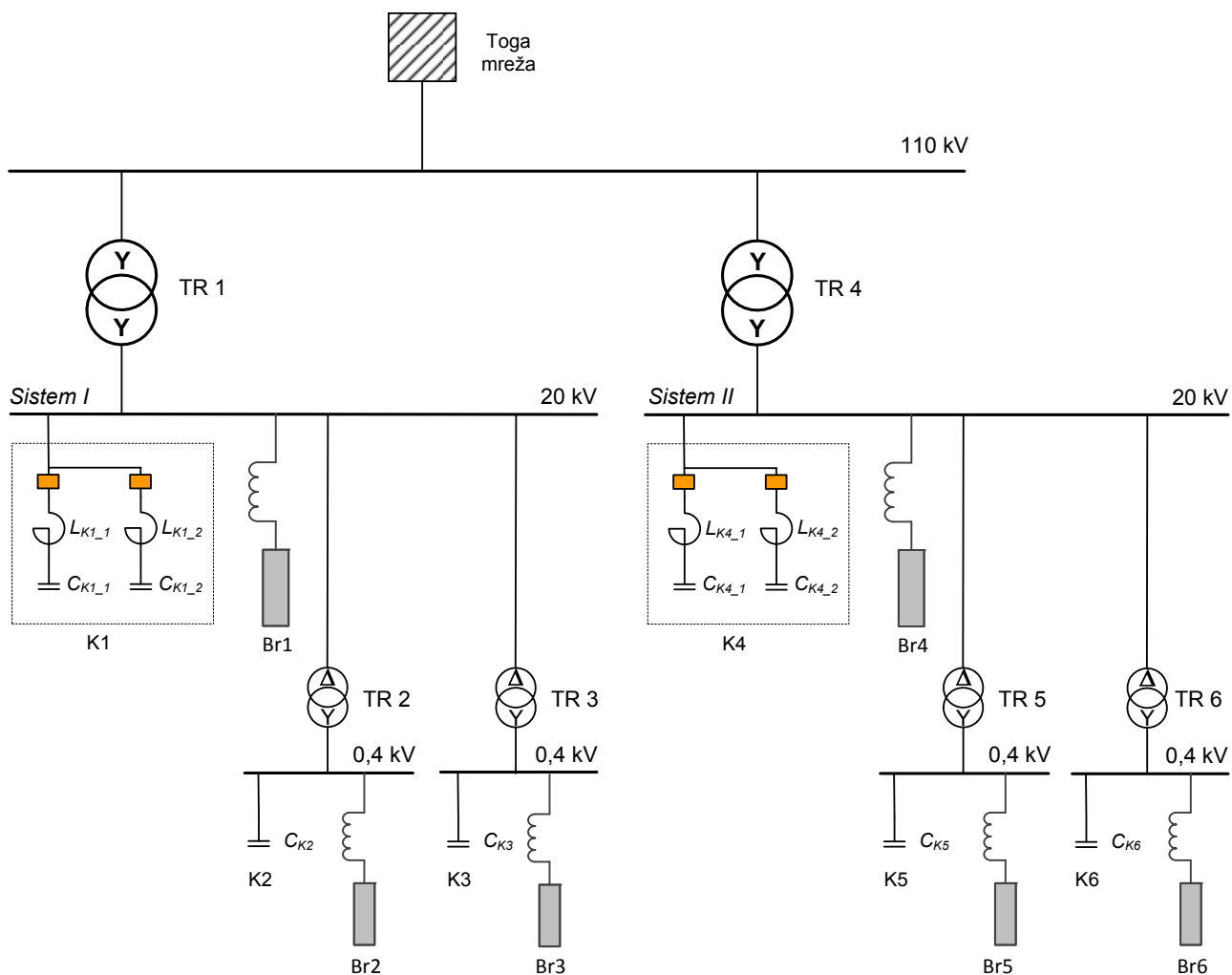
- frekvenčne karakteristike impedance z omrežne strani 110 kV,
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema I in
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema II.

Pri tem upoštevajte, da:

- so kompenzatorji na napetostnem nivoju 20 kV izvedeni v dveh enakih stopnjah,
- je vsak kompenzator lahko tudi odklopljen od omrežja,
- se lahko bremena, kratkostična moč omrežja in tudi transformatorji spremenijo.

Prikažite absolutno vrednost impedance glede na vrednost pri 50 Hz. Rezultate komentirajte.

Upoštevajte obratovalno stanje, ko so izklopljeni naslednji transformatorji: TR 2, TR 5 in TR 6.



Slika 1: Kompensacija jalove moči - enopolna shema omrežja.

Tabela 1: Podatki toge mreže.

Toga mreža	Un (kV)	Sk'' (MVA)	R/X
TM	110	1800	1/10

Tabela 2: Nazivni podatki transformatorjev.

Transformator	Nazivna napetost (kV/kV)	Nazivna moč (MVA)	u_k (%)	R/X
TR 1	110/20	31,5	13,0	1/20
TR 2	20/0,4	1,6	5,6	1/20
TR 3	20/0,4	1,0	5,2	1/20
TR 4	110/20	20,0	10,2	1/20
TR 5	20/0,4	1,3	5,0	1/20
TR 6	20/0,4	1,0	5,2	1/20

Tabela 3: Nazivni podatki kompenzatorjev.

Kompenzator	Nazivna napetost (kV)	Nazivna moč (MVar)	Resonančna frekvenca (Hz)	R/X _L	R/X _C
K1	20	2,0 + 2,0	940	1/10	1/4000
K2	0,4	0,3	/	1/10	1/4000
K3	0,4	0,6	/	1/10	1/4000
K4	20	2,6 + 2,6	970	1/10	1/4000
K5	0,4	0,3	/	1/10	1/4000
K6	0,4	0,5	/	1/10	1/4000

Tabela 4: Podatki nadomestnih bremen.

Breme	Nazivna napetost (kV)	P (MW)	Q (MVar)
Br1	20	8	4
Br2	0,4	0,6	0,5
Br3	0,4	0,8	0,6
Br4	20	14	6
Br5	0,4	0,6	0,5
Br6	0,4	0,8	0,5

Vaja 2

Kompenzacija jalove moči – določanje parametrov kompenzatorja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja pri vaji 1 določite velikost dušilke kompenzatorjev na srednje-napetostnem nivoju. Kompenzatorje uglasite tako, da bo ojačenje harmonikov v omrežju čim manjše. Upoštevajte, da:

- v omrežju nastopajo značilni harmoniki reda 3, 5, 7, 11 in 13,
- so kompenzatorji dvostopenjski in da je vsaka stopnja lahko uglašena na drugačno frekvenco,
- da uglasitev kompenzatorja na nižjo frekvenco zahteva večjo in dražjo dušilko,
- da mora biti kompenzator opremljen vsaj z vklopno dušilko,
- da sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II lahko enaka.

Pri določanju parametrov kompenzatorja preverite tudi kako na frekvenčno karakteristiko vplivajo spremembe obremenitve, kratkostične moči omrežja in parametrov VN/SN transformatorja (moč, kratkostična napetost).

V primeru, da sta stopnji kompenzatorja uglašeni na različni frekvenci, določite tudi ustrezni vrstni red vklopa in izklopa stopenj.

Vaja 3

Kompenzacija jalove moči – simulacija modela omrežja

S pomočjo simulacijskega programa PSCAD preverite rešitev, ki ste jo predlagali v okviru vaje 2.

Harmonsko popačenje, ki ga v omrežju povzročajo bremena, simulirajte s harmonskima tokovnim viroma (za 5. in 7. harmonik) priključenima na SN nivo.

Tabela 5: Podatki harmonskih tokovnih virov.

Harmonski vir	Nazivna napetost (kV)	Frekvenca (Hz)	Tok – efektivna vrednost (A)
Ih 5	20	250	8,0
Ih 7	20	350	8,0

Simulirajte naslednje primere:

- obratovanje omrežja brez kompenzacije,
- obratovanje omrežja s kompenzatorji, kot so določeni v okviru vaje 1,
- obratovanje omrežja s kompenzacijo, ki ste jo določili pri vaji 2.

S pomočjo simulacij določite harmonsko popačenje naslednjih veličin:

- napetosti na SN nivoju,
- toka SN transformatorja,
- toka bremena, priključenega na SN nivo,
- toka kompenzatorja na SN nivoju.

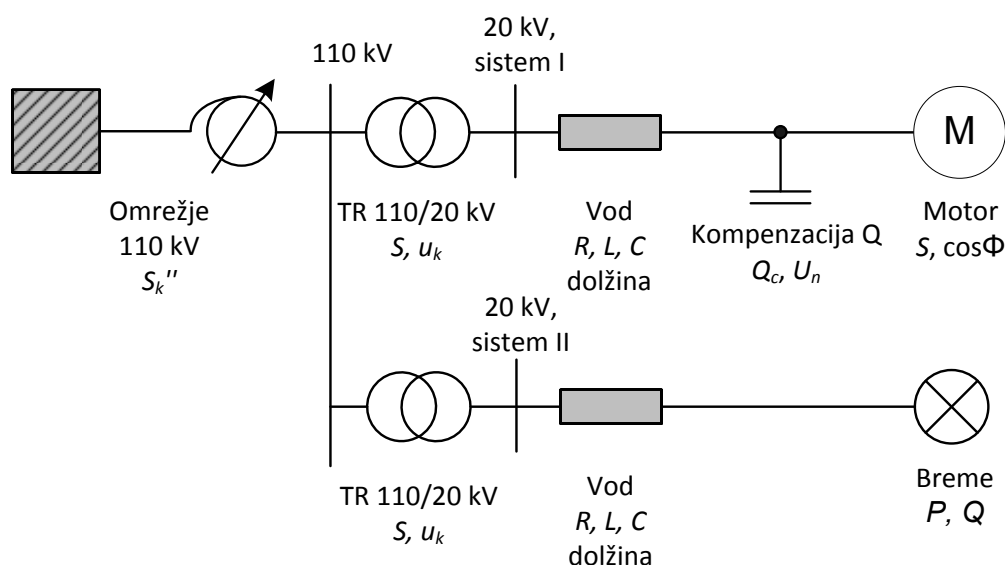
Če sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II enaka, podajte rezultate samo za en sistem.

Rezultate simulacij komentirajte.

Vaja 4 Meritve kakovosti napetosti

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite parametre kakovosti napetosti po standardu SIST EN 50160 na napetostnem nivoju 20 kV. Meritve opravite na 20 kV sistemu I in 20 kV sistemu II. Izmerite tudi bremenski tok. Na sistemu, kjer je priključen elektromotor opravite dve meritvi – eno z odklopljenim in eno s priklopljenim kompenzatorjem jalove moči.

Rezultate podajte v obliki poročila, kjer tabelarično in v grafični obliki prikažete rezultate meritev po SIST EN 50160 ter tudi poteke električnih veličin (U , I , P , Q , $\cos\varphi$, harmonske komponente...). Rezultate komentirajte, opišite tudi vpliv priklopa kompenzatorja na razmere v omrežju.

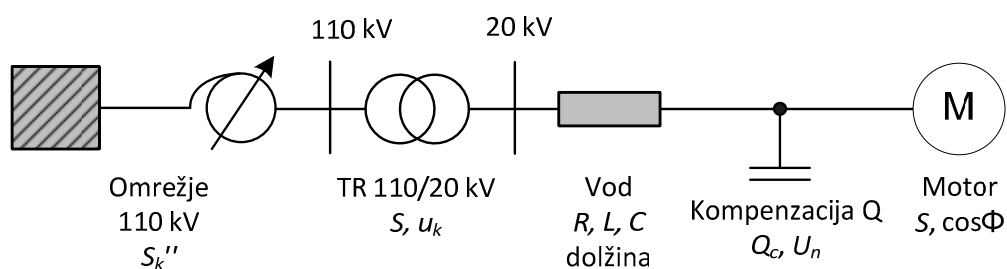


Slika 2: Meritve kakovosti napetosti - enopolna shema omrežja.

Vaja 5 Viri harmonskega popačenja

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite trenutne poteke napetosti ter toka. Meritve opravite pri priklopljenem in pri odklopljenem kompenzatorju.

S pomočjo metode harmonskih vektorjev z referenčnimi impedancami določite deleže harmonskega popačenja napetosti in toka z omrežne ter z bremenske strani. Izračunajte deleže za osnovno harmonsko komponento in 5., 7., 11. ter 13. harmonik. Izračune izvedite v dveh delovnih točkah omrežja – eni, ko je kompenzator odklopljen in eni, ko je kompenzator priklopljen. Rezultate komentirajte.



Slika 2: Viri harmonskega popačenja - enopolna shema omrežja.

Vaja 1

Kompensacija jalove moči – frekvenčne karakteristike impedance omrežja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja določite frekvenčne karakteristike njegove impedance in sicer:

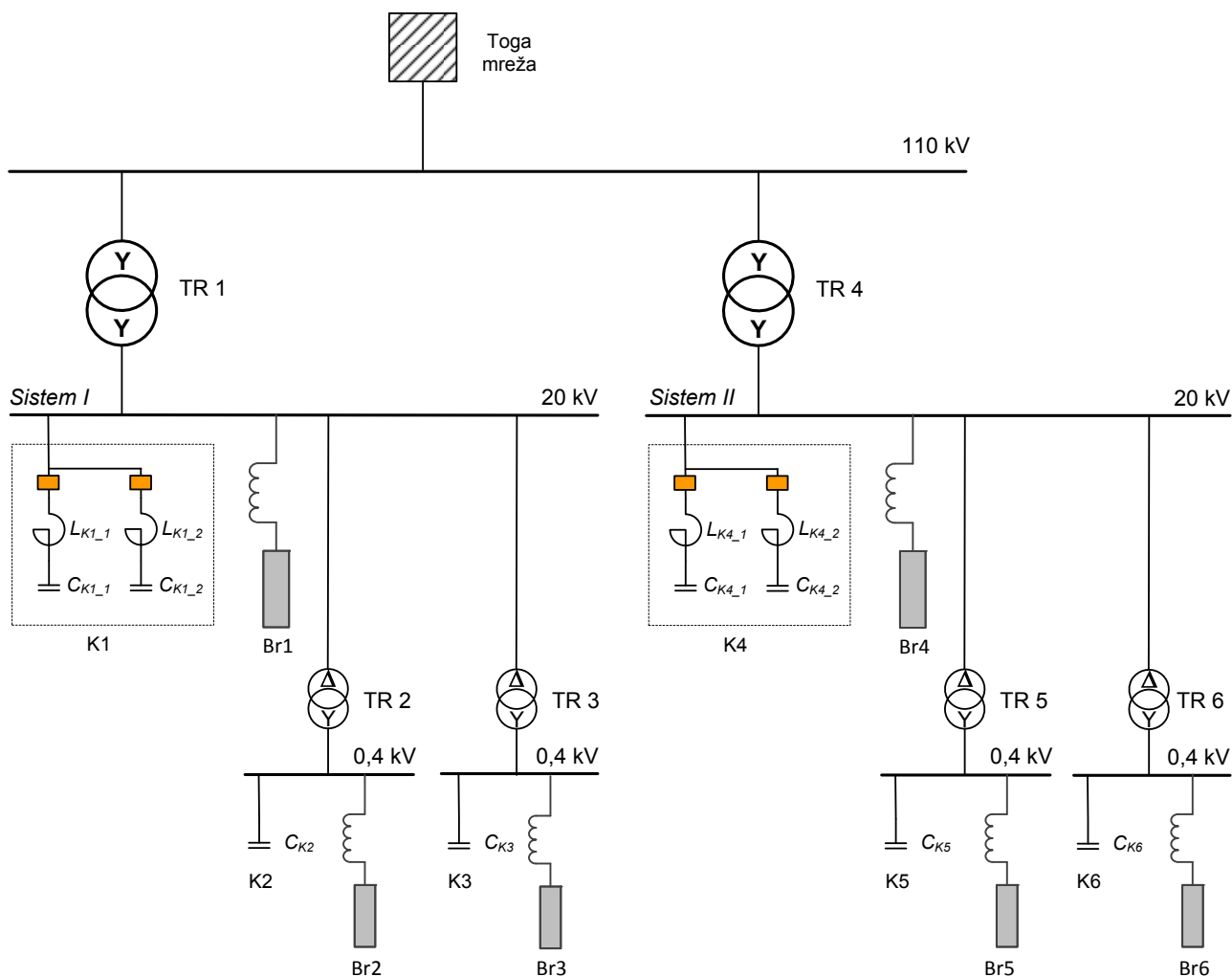
- frekvenčne karakteristike impedance z omrežne strani 110 kV,
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema I in
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema II.

Pri tem upoštevajte, da:

- so kompenzatorji na napetostnem nivoju 20 kV izvedeni v dveh enakih stopnjah,
- je vsak kompenzator lahko tudi odklopljen od omrežja,
- se lahko bremena, kratkostična moč omrežja in tudi transformatorji spremenijo.

Prikažite absolutno vrednost impedance glede na vrednost pri 50 Hz. Rezultate komentirajte.

Upoštevajte obratovalno stanje, ko so izklopljeni naslednji transformatorji: TR 1, TR 2 in TR 3.



Slika 1: Kompensacija jalove moči - enopolna shema omrežja.

Tabela 1: Podatki toge mreže.

Toga mreža	Un (kV)	Sk'' (MVA)	R/X
TM	110	1900	1/10

Tabela 2: Nazivni podatki transformatorjev.

Transformator	Nazivna napetost (kV/kV)	Nazivna moč (MVA)	u_k (%)	R/X
TR 1	110/20	31,5	13,2	1/20
TR 2	20/0,4	2,0	6,0	1/20
TR 3	20/0,4	1,0	5,0	1/20
TR 4	110/20	20,0	10,4	1/20
TR 5	20/0,4	1,6	5,6	1/20
TR 6	20/0,4	1,0	5,0	1/20

Tabela 3: Nazivni podatki kompenzatorjev.

Kompenzator	Nazivna napetost (kV)	Nazivna moč (MVar)	Resonančna frekvenca (Hz)	R/X _L	R/X _C
K1	20	2,2 + 2,2	910	1/10	1/4000
K2	0,4	0,4	/	1/10	1/4000
K3	0,4	0,5	/	1/10	1/4000
K4	20	2,8 + 2,8	940	1/10	1/4000
K5	0,4	0,2	/	1/10	1/4000
K6	0,4	0,6	/	1/10	1/4000

Tabela 4: Podatki nadomestnih bremen.

Breme	Nazivna napetost (kV)	P (MW)	Q (MVar)
Br1	20	8	4
Br2	0,4	0,6	0,5
Br3	0,4	0,8	0,6
Br4	20	14	6
Br5	0,4	0,6	0,5
Br6	0,4	0,8	0,5

Vaja 2

Kompenzacija jalove moči – določanje parametrov kompenzatorja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja pri vaji 1 določite velikost dušilke kompenzatorjev na srednje-napetostnem nivoju. Kompenzatorje uglasite tako, da bo ojačenje harmonikov v omrežju čim manjše. Upoštevajte, da:

- v omrežju nastopajo značilni harmoniki reda 3, 5, 7, 11 in 13,
- so kompenzatorji dvostopenjski in da je vsaka stopnja lahko uglašena na drugačno frekvenco,
- da uglasitev kompenzatorja na nižjo frekvenco zahteva večjo in dražjo dušilko,
- da mora biti kompenzator opremljen vsaj z vklopno dušilko,
- da sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II lahko enaka.

Pri določanju parametrov kompenzatorja preverite tudi kako na frekvenčno karakteristiko vplivajo spremembe obremenitve, kratkostične moči omrežja in parametrov VN/SN transformatorja (moč, kratkostična napetost).

V primeru, da sta stopnji kompenzatorja uglašeni na različni frekvenci, določite tudi ustrezni vrstni red vklopa in izklopa stopenj.

Vaja 3

Kompenzacija jalove moči – simulacija modela omrežja

S pomočjo simulacijskega programa PSCAD preverite rešitev, ki ste jo predlagali v okviru vaje 2.

Harmonsko popačenje, ki ga v omrežju povzročajo bremena, simulirajte s harmonskima tokovnima viroma (za 5. in 7. harmonik) priključenima na SN nivo.

Tabela 5: Podatki harmonskih tokovnih virov.

Harmonski vir	Nazivna napetost (kV)	Frekvenca (Hz)	Tok – efektivna vrednost (A)
Ih 5	20	250	7,0
Ih 7	20	350	10,0

Simulirajte naslednje primere:

- obratovanje omrežja brez kompenzacije,
- obratovanje omrežja s kompenzatorji, kot so določeni v okviru vaje 1,
- obratovanje omrežja s kompenzacijo, ki ste jo določili pri vaji 2.

S pomočjo simulacij določite harmonsko popačenje naslednjih veličin:

- napetosti na SN nivoju,
- toka SN transformatorja,
- toka bremena, priključenega na SN nivo,
- toka kompenzatorja na SN nivoju.

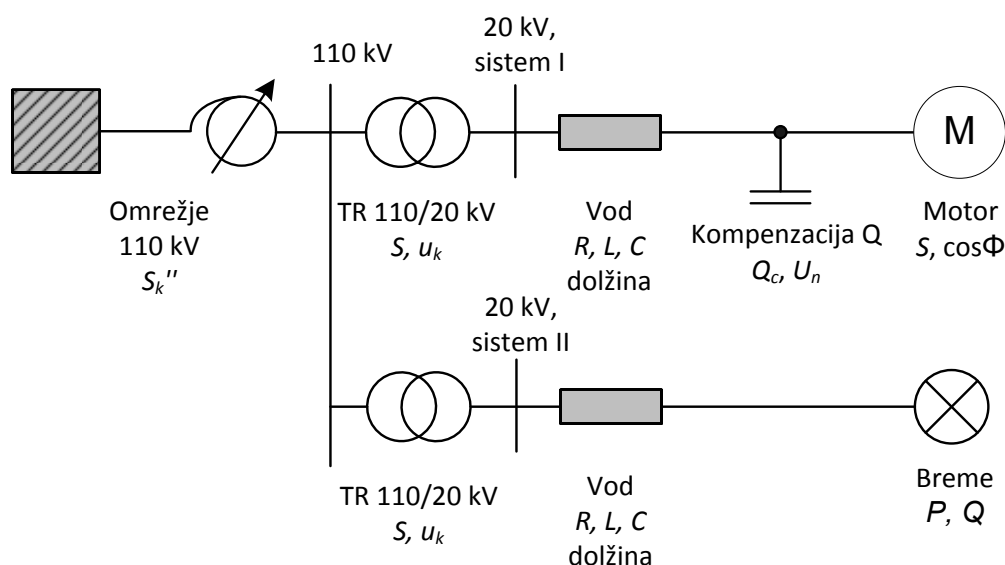
Če sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II enaka, podajte rezultate samo za en sistem.

Rezultate simulacij komentirajte.

Vaja 4 Meritve kakovosti napetosti

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite parametre kakovosti napetosti po standardu SIST EN 50160 na napetostnem nivoju 20 kV. Meritve opravite na 20 kV sistemu I in 20 kV sistemu II. Izmerite tudi bremenski tok. Na sistemu, kjer je priključen elektromotor opravite dve meritvi – eno z odklopljenim in eno s priklopljenim kompenzatorjem jalove moči.

Rezultate podajte v obliki poročila, kjer tabelarično in v grafični obliki prikažete rezultate meritev po SIST EN 50160 ter tudi poteke električnih veličin (U , I , P , Q , $\cos\varphi$, harmonske komponente...). Rezultate komentirajte, opišite tudi vpliv priklopa kompenzatorja na razmere v omrežju.

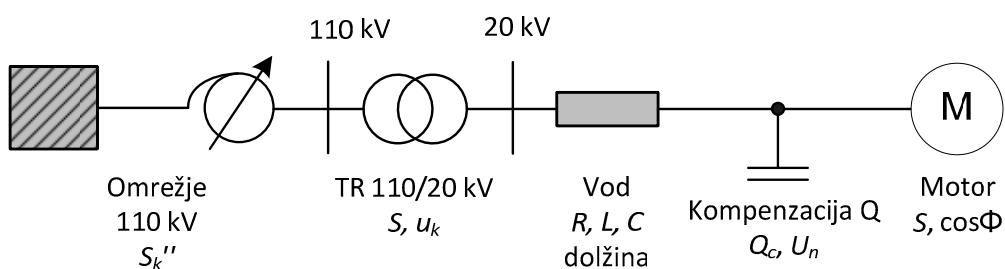


Slika 2: Meritve kakovosti napetosti - enopolna shema omrežja.

Vaja 5 Viri harmonskega popačenja

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite trenutne poteke napetosti ter toka. Meritve opravite pri priklopljenem in pri odklopljenem kompenzatorju.

S pomočjo metode harmonskih vektorjev z referenčnimi impedancami določite deleže harmonskega popačenja napetosti in toka z omrežne ter z bremenske strani. Izračunajte deleže za osnovno harmonsko komponento in 5., 7., 11. ter 13. harmonik. Izračune izvedite v dveh delovnih točkah omrežja – eni, ko je kompenzator odklopljen in eni, ko je kompenzator priklopljen. Rezultate komentirajte.



Slika 2: Viri harmonskega popačenja - enopolna shema omrežja.

Vaja 1

Kompensacija jalove moči – frekvenčne karakteristike impedance omrežja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja določite frekvenčne karakteristike njegove impedance in sicer:

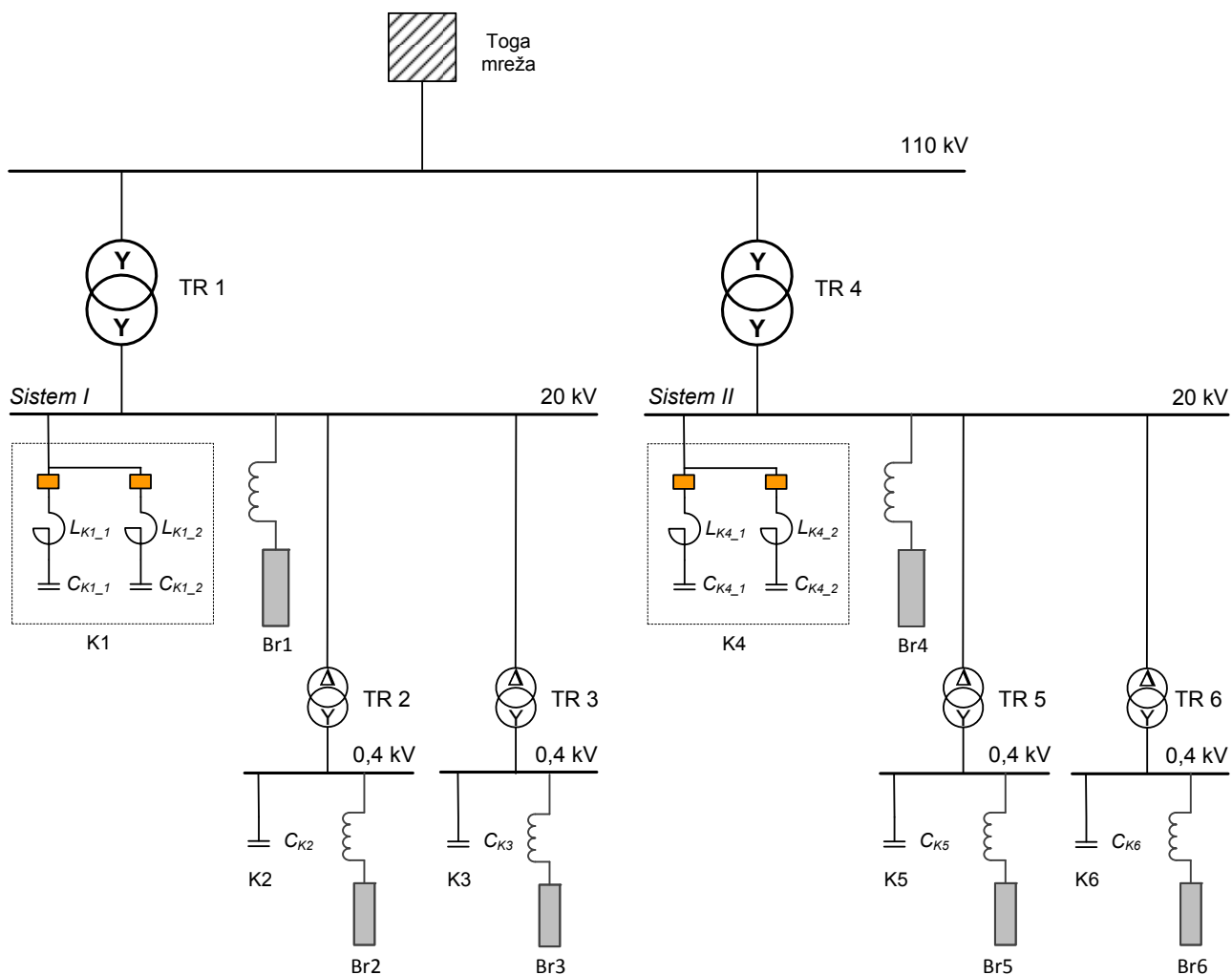
- frekvenčne karakteristike impedance z omrežne strani 110 kV,
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema I in
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema II.

Pri tem upoštevajte, da:

- so kompenzatorji na napetostnem nivoju 20 kV izvedeni v dveh enakih stopnjah,
- je vsak kompenzator lahko tudi odklopljen od omrežja,
- se lahko bremena, kratkostična moč omrežja in tudi transformatorji spremenijo.

Prikažite absolutno vrednost impedance glede na vrednost pri 50 Hz. Rezultate komentirajte.

Upoštevajte obratovalno stanje, ko so izklopljeni naslednji transformatorji: TR 4, TR 5 in TR 6.



Slika 1: Kompensacija jalove moči - enopolna shema omrežja.

Tabela 1: Podatki toge mreže.

Toga mreža	Un (kV)	Sk'' (MVA)	R/X
TM	110	2000	1/10

Tabela 2: Nazivni podatki transformatorjev.

Transformator	Nazivna napetost (kV/kV)	Nazivna moč (MVA)	u_k (%)	R/X
TR 1	110/20	31,5	13,4	1/20
TR 2	20/0,4	1,0	5,2	1/20
TR 3	20/0,4	1,3	5,0	1/20
TR 4	110/20	20,0	10,6	1/20
TR 5	20/0,4	2,0	6,0	1/20
TR 6	20/0,4	1,3	5,0	1/20

Tabela 3: Nazivni podatki kompenzatorjev.

Kompenzator	Nazivna napetost (kV)	Nazivna moč (MVar)	Resonančna frekvenca (Hz)	R/X _L	R/X _C
K1	20	2,4 + 2,4	880	1/10	1/4000
K2	0,4	0,5	/	1/10	1/4000
K3	0,4	0,4	/	1/10	1/4000
K4	20	3,0 + 3,0	910	1/10	1/4000
K5	0,4	0,6	/	1/10	1/4000
K6	0,4	0,2	/	1/10	1/4000

Tabela 4: Podatki nadomestnih bremen.

Breme	Nazivna napetost (kV)	P (MW)	Q (MVar)
Br1	20	8	4
Br2	0,4	0,6	0,5
Br3	0,4	0,8	0,6
Br4	20	14	6
Br5	0,4	0,6	0,5
Br6	0,4	0,8	0,5

Vaja 2

Kompenzacija jalove moči – določanje parametrov kompenzatorja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja pri vaji 1 določite velikost dušilke kompenzatorjev na srednje-napetostnem nivoju. Kompenzatorje uglasite tako, da bo ojačenje harmonikov v omrežju čim manjše. Upoštevajte, da:

- v omrežju nastopajo značilni harmoniki reda 3, 5, 7, 11 in 13,
- so kompenzatorji dvostopenjski in da je vsaka stopnja lahko uglašena na drugačno frekvenco,
- da uglasitev kompenzatorja na nižjo frekvenco zahteva večjo in dražjo dušilko,
- da mora biti kompenzator opremljen vsaj z vklopno dušilko,
- da sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II lahko enaka.

Pri določanju parametrov kompenzatorja preverite tudi kako na frekvenčno karakteristiko vplivajo spremembe obremenitve, kratkostične moči omrežja in parametrov VN/SN transformatorja (moč, kratkostična napetost).

V primeru, da sta stopnji kompenzatorja uglašeni na različni frekvenci, določite tudi ustrezni vrstni red vklopa in izklopa stopenj.

Vaja 3

Kompenzacija jalove moči – simulacija modela omrežja

S pomočjo simulacijskega programa PSCAD preverite rešitev, ki ste jo predlagali v okviru vaje 2.

Harmonsko popačenje, ki ga v omrežju povzročajo bremena, simulirajte s harmonskima tokovnima viroma (za 5. in 7. harmonik) priključenima na SN nivo.

Tabela 5: Podatki harmonskih tokovnih virov.

Harmonski vir	Nazivna napetost (kV)	Frekvenca (Hz)	Tok – efektivna vrednost (A)
Ih 5	20	250	9,0
Ih 7	20	350	7,0

Simulirajte naslednje primere:

- obratovanje omrežja brez kompenzacije,
- obratovanje omrežja s kompenzatorji, kot so določeni v okviru vaje 1,
- obratovanje omrežja s kompenzacijo, ki ste jo določili pri vaji 2.

S pomočjo simulacij določite harmonsko popačenje naslednjih veličin:

- napetosti na SN nivoju,
- toka SN transformatorja,
- toka bremena, priključenega na SN nivo,
- toka kompenzatorja na SN nivoju.

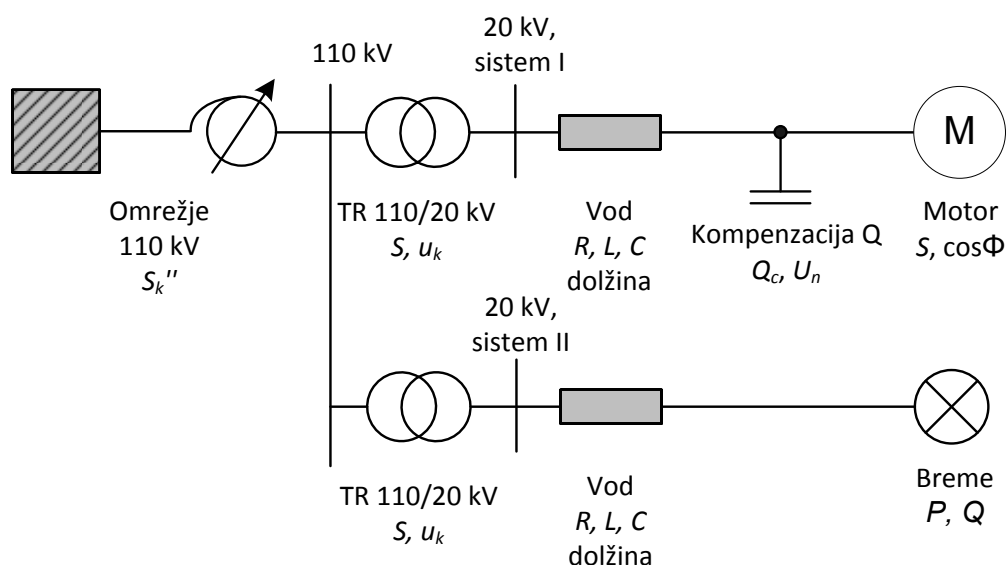
Če sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II enaka, podajte rezultate samo za en sistem.

Rezultate simulacij komentirajte.

Vaja 4 Meritve kakovosti napetosti

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite parametre kakovosti napetosti po standardu SIST EN 50160 na napetostnem nivoju 20 kV. Meritve opravite na 20 kV sistemu I in 20 kV sistemu II. Izmerite tudi bremenski tok. Na sistemu, kjer je priključen elektromotor opravite dve meritvi – eno z odklopljenim in eno s priklopljenim kompenzatorjem jalove moči.

Rezultate podajte v obliki poročila, kjer tabelarično in v grafični obliki prikažete rezultate meritev po SIST EN 50160 ter tudi poteke električnih veličin (U , I , P , Q , $\cos\varphi$, harmonske komponente...). Rezultate komentirajte, opišite tudi vpliv priklopa kompenzatorja na razmere v omrežju.

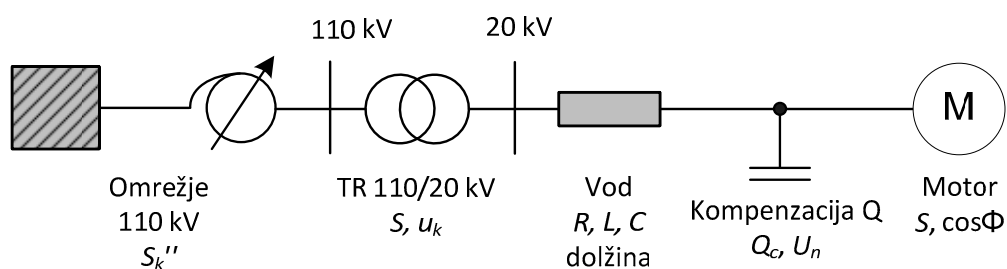


Slika 2: Meritve kakovosti napetosti - enopolna shema omrežja.

Vaja 5 Viri harmonskega popačenja

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite trenutne poteke napetosti ter toka. Meritve opravite pri priklopljenem in pri odklopljenem kompenzatorju.

S pomočjo metode harmonskih vektorjev z referenčnimi impedancami določite deleže harmonskega popačenja napetosti in toka z omrežne ter z bremenske strani. Izračunajte deleže za osnovno harmonsko komponento in 5., 7., 11. ter 13. harmonik. Izračune izvedite v dveh delovnih točkah omrežja – eni, ko je kompenzator odklopljen in eni, ko je kompenzator priklopljen. Rezultate komentirajte.



Slika 2: Viri harmonskega popačenja - enopolna shema omrežja.

Vaja 1

Kompensacija jalove moči – frekvenčne karakteristike impedance omrežja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja določite frekvenčne karakteristike njegove impedance in sicer:

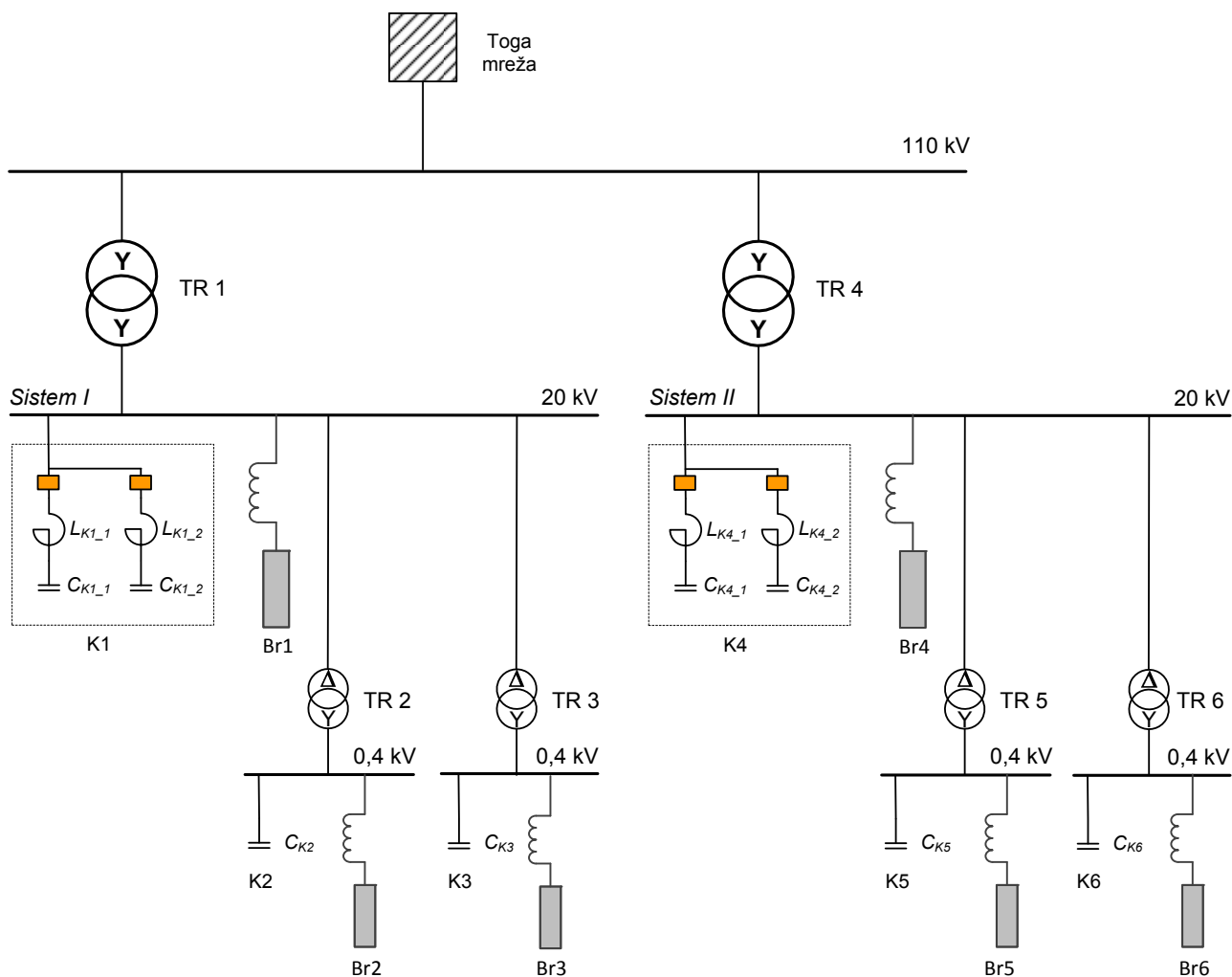
- frekvenčne karakteristike impedance z omrežne strani 110 kV,
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema I in
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema II.

Pri tem upoštevajte, da:

- so kompenzatorji na napetostnem nivoju 20 kV izvedeni v dveh enakih stopnjah,
- je vsak kompenzator lahko tudi odklopljen od omrežja,
- se lahko bremena, kratkostična moč omrežja in tudi transformatorji spremenijo.

Prikažite absolutno vrednost impedance glede na vrednost pri 50 Hz. Rezultate komentirajte.

Upoštevajte obratovalno stanje, ko so izklopljeni naslednji transformatorji: TR 2, TR 3 in TR 5.



Slika 1: Kompensacija jalove moči - enopolna shema omrežja.

Tabela 1: Podatki toge mreže.

Toga mreža	Un (kV)	Sk'' (MVA)	R/X
TM	110	2100	1/10

Tabela 2: Nazivni podatki transformatorjev.

Transformator	Nazivna napetost (kV/kV)	Nazivna moč (MVA)	u_k (%)	R/X
TR 1	110/20	31,5	13,6	1/20
TR 2	20/0,4	1,0	5,0	1/20
TR 3	20/0,4	1,6	5,6	1/20
TR 4	110/20	20,0	10,8	1/20
TR 5	20/0,4	1,0	5,2	1/20
TR 6	20/0,4	1,6	5,6	1/20

Tabela 3: Nazivni podatki kompenzatorjev.

Kompenzator	Nazivna napetost (kV)	Nazivna moč (MVar)	Resonančna frekvenca (Hz)	R/X _L	R/X _C
K1	20	2,6 + 2,6	850	1/10	1/4000
K2	0,4	0,6	/	1/10	1/4000
K3	0,4	0,3	/	1/10	1/4000
K4	20	3,2 + 3,2	880	1/10	1/4000
K5	0,4	0,5	/	1/10	1/4000
K6	0,4	0,3	/	1/10	1/4000

Tabela 4: Podatki nadomestnih bremen.

Breme	Nazivna napetost (kV)	P (MW)	Q (MVar)
Br1	20	8	4
Br2	0,4	0,6	0,5
Br3	0,4	0,8	0,6
Br4	20	14	6
Br5	0,4	0,6	0,5
Br6	0,4	0,8	0,5

Vaja 2

Kompenzacija jalove moči – določanje parametrov kompenzatorja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja pri vaji 1 določite velikost dušilke kompenzatorjev na srednje-napetostnem nivoju. Kompenzatorje uglasite tako, da bo ojačenje harmonikov v omrežju čim manjše. Upoštevajte, da:

- v omrežju nastopajo značilni harmoniki reda 3, 5, 7, 11 in 13,
- so kompenzatorji dvostopenjski in da je vsaka stopnja lahko uglašena na drugačno frekvenco,
- da uglasitev kompenzatorja na nižjo frekvenco zahteva večjo in dražjo dušilko,
- da mora biti kompenzator opremljen vsaj z vklopno dušilko,
- da sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II lahko enaka.

Pri določanju parametrov kompenzatorja preverite tudi kako na frekvenčno karakteristiko vplivajo spremembe obremenitve, kratkostične moči omrežja in parametrov VN/SN transformatorja (moč, kratkostična napetost).

V primeru, da sta stopnji kompenzatorja uglašeni na različni frekvenci, določite tudi ustrezni vrstni red vklopa in izklopa stopenj.

Vaja 3

Kompenzacija jalove moči – simulacija modela omrežja

S pomočjo simulacijskega programa PSCAD preverite rešitev, ki ste jo predlagali v okviru vaje 2.

Harmonsko popačenje, ki ga v omrežju povzročajo bremena, simulirajte s harmonskima tokovnima viroma (za 5. in 7. harmonik) priključenima na SN nivo.

Tabela 5: Podatki harmonskih tokovnih virov.

Harmonski vir	Nazivna napetost (kV)	Frekvenca (Hz)	Tok – efektivna vrednost (A)
Ih 5	20	250	10,0
Ih 7	20	350	7,0

Simulirajte naslednje primere:

- obratovanje omrežja brez kompenzacije,
- obratovanje omrežja s kompenzatorji, kot so določeni v okviru vaje 1,
- obratovanje omrežja s kompenzacijo, ki ste jo določili pri vaji 2.

S pomočjo simulacij določite harmonsko popačenje naslednjih veličin:

- napetosti na SN nivoju,
- toka SN transformatorja,
- toka bremena, priključenega na SN nivo,
- toka kompenzatorja na SN nivoju.

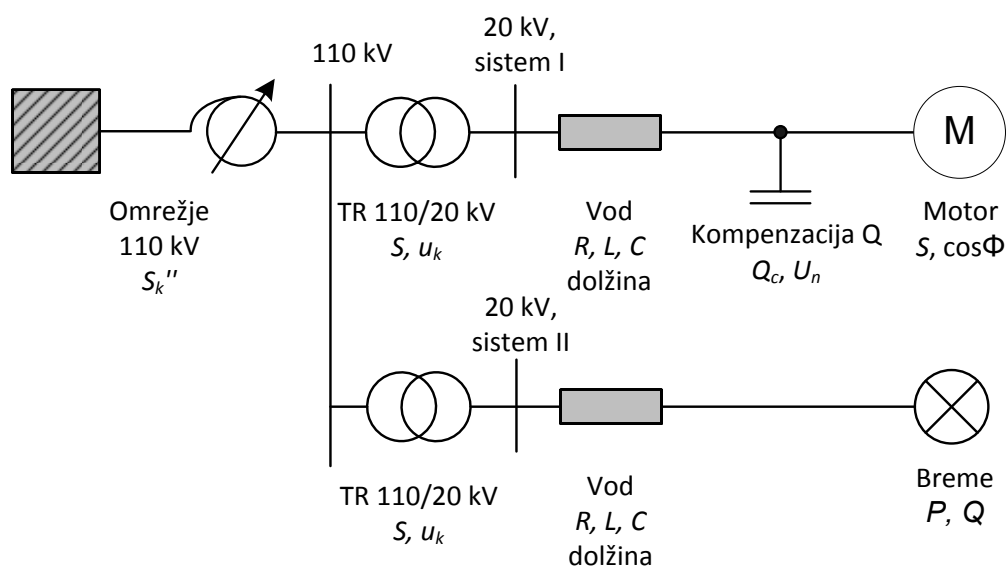
Če sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II enaka, podajte rezultate samo za en sistem.

Rezultate simulacij komentirajte.

Vaja 4 Meritve kakovosti napetosti

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite parametre kakovosti napetosti po standardu SIST EN 50160 na napetostnem nivoju 20 kV. Meritve opravite na 20 kV sistemu I in 20 kV sistemu II. Izmerite tudi bremenski tok. Na sistemu, kjer je priključen elektromotor opravite dve meritvi – eno z odklopljenim in eno s priklopljenim kompenzatorjem jalove moči.

Rezultate podajte v obliki poročila, kjer tabelarično in v grafični obliki prikažete rezultate meritev po SIST EN 50160 ter tudi poteke električnih veličin (U , I , P , Q , $\cos\varphi$, harmonske komponente...). Rezultate komentirajte, opišite tudi vpliv priklopa kompenzatorja na razmere v omrežju.

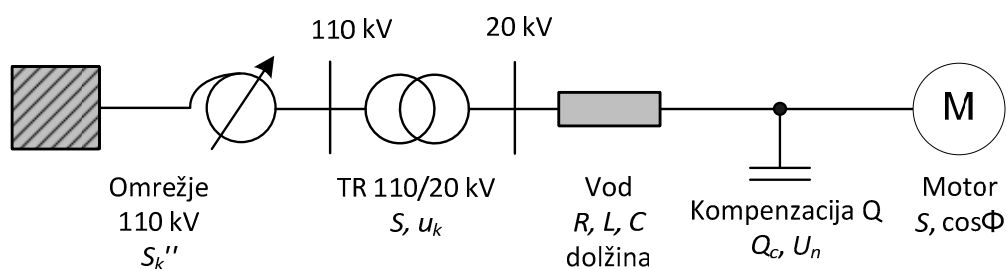


Slika 2: Meritve kakovosti napetosti - enopolna shema omrežja.

Vaja 5 Viri harmonskega popačenja

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite trenutne poteke napetosti ter toka. Meritve opravite pri priklopljenem in pri odklopljenem kompenzatorju.

S pomočjo metode harmonskih vektorjev z referenčnimi impedancami določite deleže harmonskega popačenja napetosti in toka z omrežne ter z bremenske strani. Izračunajte deleže za osnovno harmonsko komponento in 5., 7., 11. ter 13. harmonik. Izračune izvedite v dveh delovnih točkah omrežja – eni, ko je kompenzator odklopljen in eni, ko je kompenzator priklopljen. Rezultate komentirajte.



Slika 2: Viri harmonskega popačenja - enopolna shema omrežja.

Vaja 1

Kompensacija jalove moči – frekvenčne karakteristike impedance omrežja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja določite frekvenčne karakteristike njegove impedance in sicer:

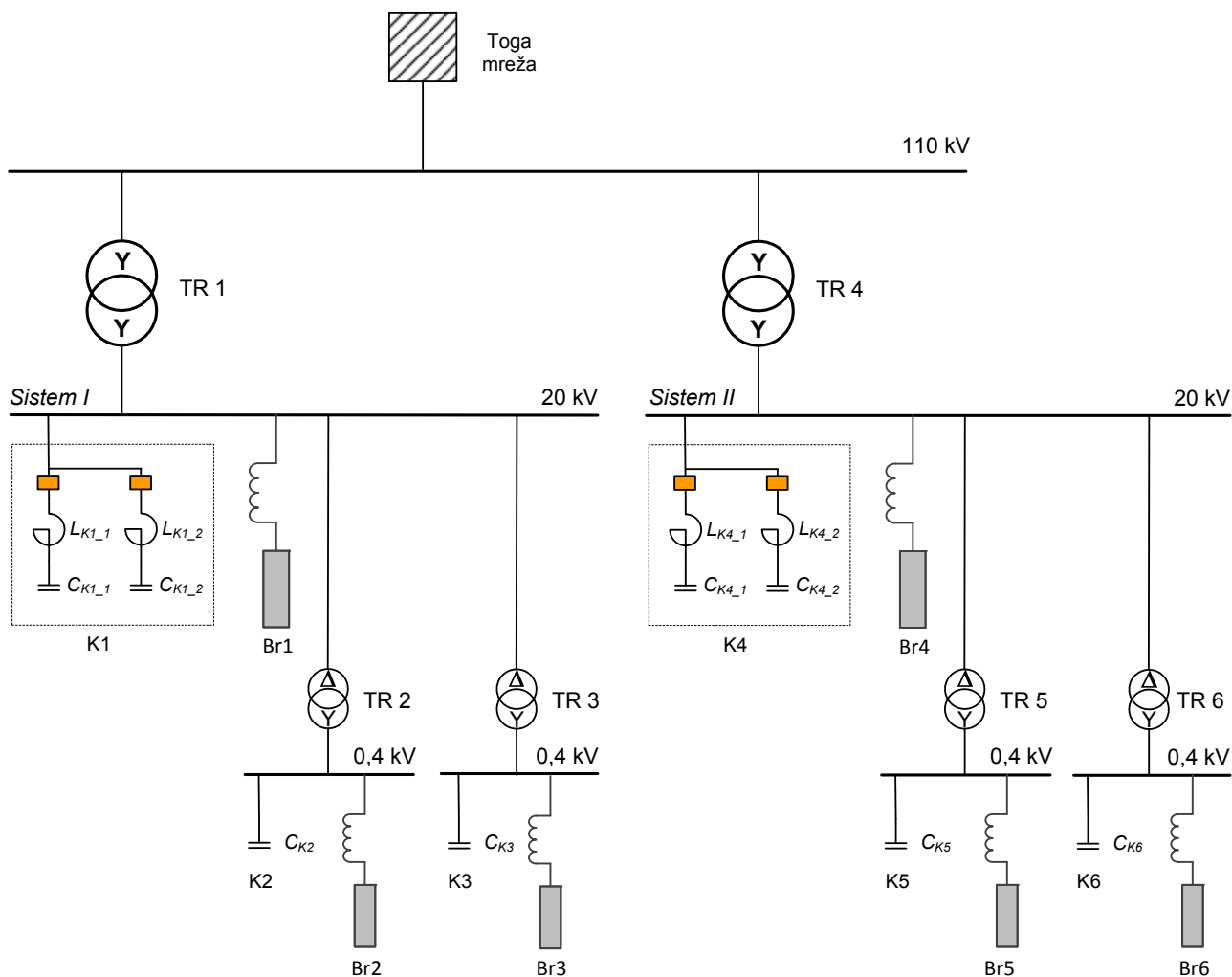
- frekvenčne karakteristike impedance z omrežne strani 110 kV,
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema I in
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema II.

Pri tem upoštevajte, da:

- so kompenzatorji na napetostnem nivoju 20 kV izvedeni v dveh enakih stopnjah,
- je vsak kompenzator lahko tudi odklopljen od omrežja,
- se lahko bremena, kratkostična moč omrežja in tudi transformatorji spremenijo.

Prikažite absolutno vrednost impedance glede na vrednost pri 50 Hz. Rezultate komentirajte.

Upoštevajte obratovalno stanje, ko so izklopljeni naslednji transformatorji: TR 3, TR 5 in TR 6.



Slika 1: Kompensacija jalove moči - enopolna shema omrežja.

Tabela 1: Podatki toge mreže.

Toga mreža	Un (kV)	Sk'' (MVA)	R/X
TM	110	2200	1/10

Tabela 2: Nazivni podatki transformatorjev.

Transformator	Nazivna napetost (kV/kV)	Nazivna moč (MVA)	u_k (%)	R/X
TR 1	110/20	31,5	13,8	1/20
TR 2	20/0,4	1,3	5,0	1/20
TR 3	20/0,4	2,0	6,0	1/20
TR 4	110/20	20,0	11,0	1/20
TR 5	20/0,4	1,0	5,0	1/20
TR 6	20/0,4	2,0	6,0	1/20

Tabela 3: Nazivni podatki kompenzatorjev.

Kompenzator	Nazivna napetost (kV)	Nazivna moč (MVar)	Resonančna frekvenca (Hz)	R/X _L	R/X _C
K1	20	2,8 + 2,8	1000	1/10	1/4000
K2	0,4	0,3	/	1/10	1/4000
K3	0,4	0,6	/	1/10	1/4000
K4	20	3,4 + 3,4	850	1/10	1/4000
K5	0,4	0,4	/	1/10	1/4000
K6	0,4	0,4	/	1/10	1/4000

Tabela 4: Podatki nadomestnih bremen.

Breme	Nazivna napetost (kV)	P (MW)	Q (MVar)
Br1	20	8	4
Br2	0,4	0,6	0,5
Br3	0,4	0,8	0,6
Br4	20	14	6
Br5	0,4	0,6	0,5
Br6	0,4	0,8	0,5

Vaja 2

Kompenzacija jalove moči – določanje parametrov kompenzatorja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja pri vaji 1 določite velikost dušilke kompenzatorjev na srednje-napetostnem nivoju. Kompenzatorje uglasite tako, da bo ojačenje harmonikov v omrežju čim manjše. Upoštevajte, da:

- v omrežju nastopajo značilni harmoniki reda 3, 5, 7, 11 in 13,
- so kompenzatorji dvostopenjski in da je vsaka stopnja lahko uglašena na drugačno frekvenco,
- da uglasitev kompenzatorja na nižjo frekvenco zahteva večjo in dražjo dušilko,
- da mora biti kompenzator opremljen vsaj z vklopno dušilko,
- da sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II lahko enaka.

Pri določanju parametrov kompenzatorja preverite tudi kako na frekvenčno karakteristiko vplivajo spremembe obremenitve, kratkostične moči omrežja in parametrov VN/SN transformatorja (moč, kratkostična napetost).

V primeru, da sta stopnji kompenzatorja uglašeni na različni frekvenci, določite tudi ustrezni vrstni red vklopa in izklopa stopenj.

Vaja 3

Kompensacija jalove moči – simulacija modela omrežja

S pomočjo simulacijskega programa PSCAD preverite rešitev, ki ste jo predlagali v okviru vaje 2.

Harmonsko popačenje, ki ga v omrežju povzročajo bremena, simulirajte s harmonskima tokovnima viroma (za 5. in 7. harmonik) priključenima na SN nivo.

Tabela 5: Podatki harmonskih tokovnih virov.

Harmonski vir	Nazivna napetost (kV)	Frekvenca (Hz)	Tok – efektivna vrednost (A)
Ih 5	20	250	8,0
Ih 7	20	350	8,0

Simulirajte naslednje primere:

- obratovanje omrežja brez kompenzacije,
- obratovanje omrežja s kompenzatorji, kot so določeni v okviru vaje 1,
- obratovanje omrežja s kompenzacijo, ki ste jo določili pri vaji 2.

S pomočjo simulacij določite harmonsko popačenje naslednjih veličin:

- napetosti na SN nivoju,
- toka SN transformatorja,
- toka bremena, priključenega na SN nivo,
- toka kompenzatorja na SN nivoju.

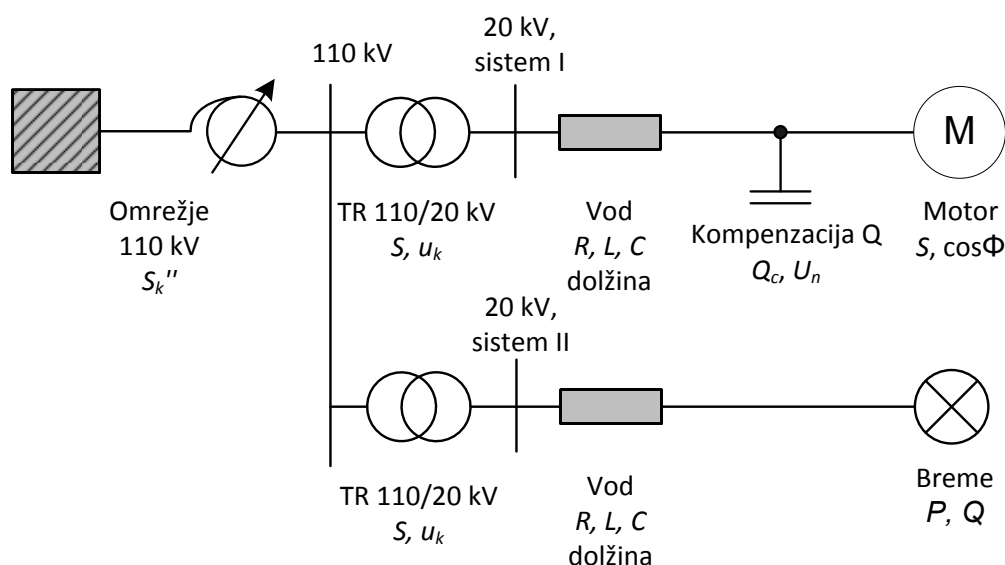
Če sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II enaka, podajte rezultate samo za en sistem.

Rezultate simulacij komentirajte.

Vaja 4 Meritve kakovosti napetosti

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite parametre kakovosti napetosti po standardu SIST EN 50160 na napetostnem nivoju 20 kV. Meritve opravite na 20 kV sistemu I in 20 kV sistemu II. Izmerite tudi bremenski tok. Na sistemu, kjer je priključen elektromotor opravite dve meritvi – eno z odklopljenim in eno s priklopljenim kompenzatorjem jalove moči.

Rezultate podajte v obliki poročila, kjer tabelarično in v grafični obliki prikažete rezultate meritev po SIST EN 50160 ter tudi poteke električnih veličin (U , I , P , Q , $\cos\varphi$, harmonske komponente...). Rezultate komentirajte, opišite tudi vpliv priklopa kompenzatorja na razmere v omrežju.

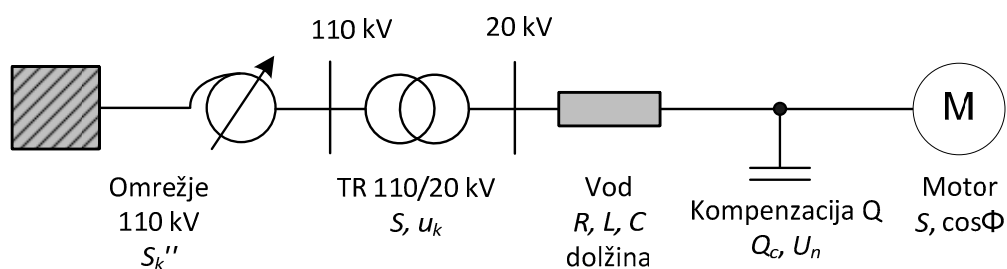


Slika 2: Meritve kakovosti napetosti - enopolna shema omrežja.

Vaja 5 Viri harmonskega popačenja

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite trenutne poteke napetosti ter toka. Meritve opravite pri priklopljenem in pri odklopljenem kompenzatorju.

S pomočjo metode harmonskih vektorjev z referenčnimi impedancami določite deleže harmonskega popačenja napetosti in toka z omrežne ter z bremenske strani. Izračunajte deleže za osnovno harmonsko komponento in 5., 7., 11. ter 13. harmonik. Izračune izvedite v dveh delovnih točkah omrežja – eni, ko je kompenzator odklopljen in eni, ko je kompenzator priklopljen. Rezultate komentirajte.



Slika 2: Viri harmonskega popačenja - enopolna shema omrežja.

Vaja 1

Kompensacija jalove moči – frekvenčne karakteristike impedance omrežja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja določite frekvenčne karakteristike njegove impedance in sicer:

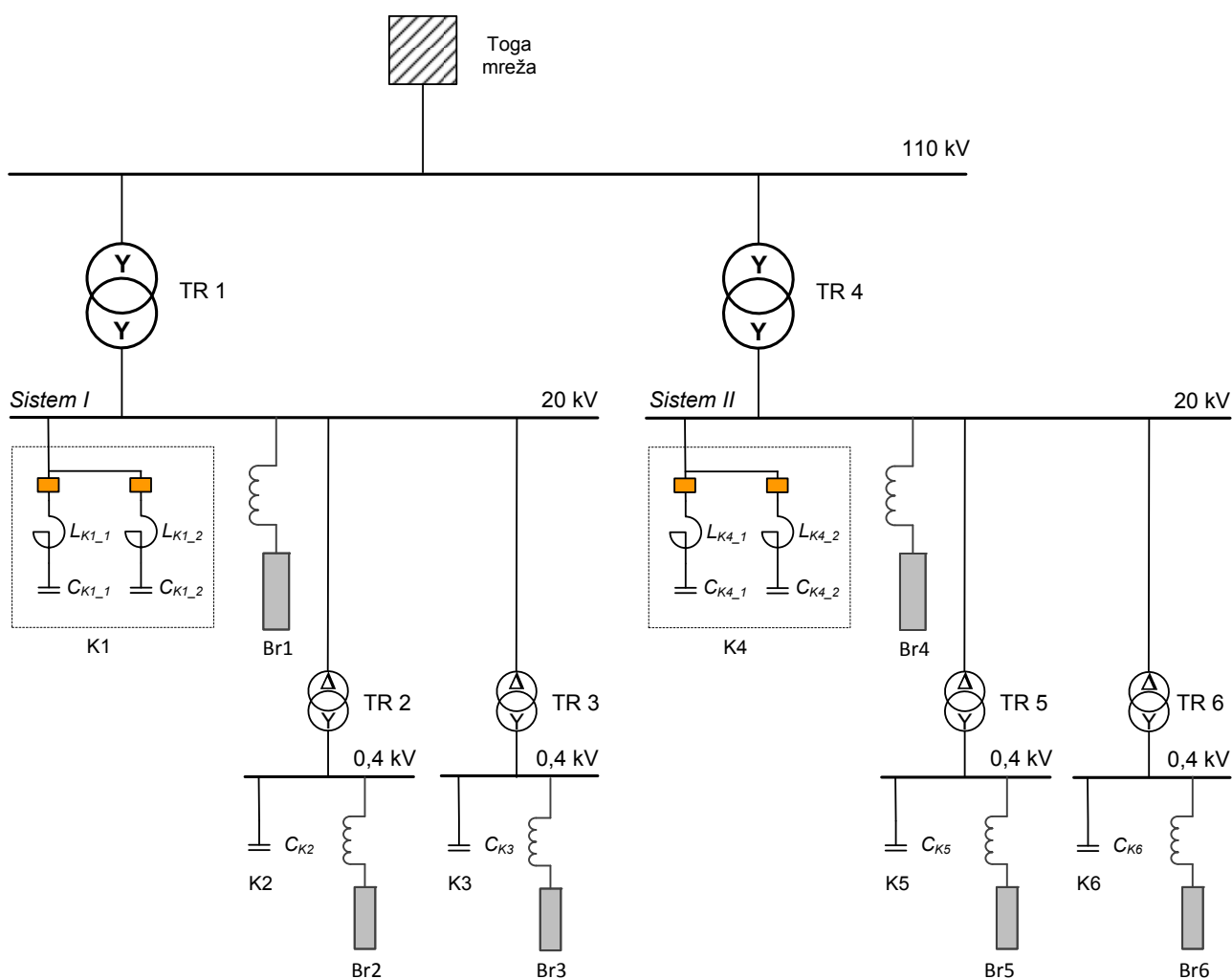
- frekvenčne karakteristike impedance z omrežne strani 110 kV,
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema I in
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema II.

Pri tem upoštevajte, da:

- so kompenzatorji na napetostnem nivoju 20 kV izvedeni v dveh enakih stopnjah,
- je vsak kompenzator lahko tudi odklopljen od omrežja,
- se lahko bremena, kratkostična moč omrežja in tudi transformatorji spremenijo.

Prikažite absolutno vrednost impedance glede na vrednost pri 50 Hz. Rezultate komentirajte.

Upoštevajte obratovalno stanje, ko so izklopljeni naslednji transformatorji: TR 2, TR 5 in TR 6.



Slika 1: Kompensacija jalove moči - enopolna shema omrežja.

Tabela 1: Podatki toge mreže.

Toga mreža	Un (kV)	Sk'' (MVA)	R/X
TM	110	2300	1/10

Tabela 2: Nazivni podatki transformatorjev.

Transformator	Nazivna napetost (kV/kV)	Nazivna moč (MVA)	u_k (%)	R/X
TR 1	110/20	31,5	14,0	1/20
TR 2	20/0,4	1,6	5,6	1/20
TR 3	20/0,4	1,0	5,2	1/20
TR 4	110/20	20,0	11,2	1/20
TR 5	20/0,4	1,3	5,0	1/20
TR 6	20/0,4	1,0	5,2	1/20

Tabela 3: Nazivni podatki kompenzatorjev.

Kompenzator	Nazivna napetost (kV)	Nazivna moč (MVar)	Resonančna frekvenca (Hz)	R/X _L	R/X _C
K1	20	3,0 + 3,0	970	1/10	1/4000
K2	0,4	0,4	/	1/10	1/4000
K3	0,4	0,5	/	1/10	1/4000
K4	20	3,6 + 3,6	1000	1/10	1/4000
K5	0,4	0,3	/	1/10	1/4000
K6	0,4	0,5	/	1/10	1/4000

Tabela 4: Podatki nadomestnih bremen.

Breme	Nazivna napetost (kV)	P (MW)	Q (MVar)
Br1	20	8	4
Br2	0,4	0,6	0,5
Br3	0,4	0,8	0,6
Br4	20	14	6
Br5	0,4	0,6	0,5
Br6	0,4	0,8	0,5

Vaja 2

Kompenzacija jalove moči – določanje parametrov kompenzatorja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja pri vaji 1 določite velikost dušilke kompenzatorjev na srednje-napetostnem nivoju. Kompenzatorje uglasite tako, da bo ojačenje harmonikov v omrežju čim manjše. Upoštevajte, da:

- v omrežju nastopajo značilni harmoniki reda 3, 5, 7, 11 in 13,
- so kompenzatorji dvostopenjski in da je vsaka stopnja lahko uglašena na drugačno frekvenco,
- da uglasitev kompenzatorja na nižjo frekvenco zahteva večjo in dražjo dušilko,
- da mora biti kompenzator opremljen vsaj z vklopno dušilko,
- da sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II lahko enaka.

Pri določanju parametrov kompenzatorja preverite tudi kako na frekvenčno karakteristiko vplivajo spremembe obremenitve, kratkostične moči omrežja in parametrov VN/SN transformatorja (moč, kratkostična napetost).

V primeru, da sta stopnji kompenzatorja uglašeni na različni frekvenci, določite tudi ustrezni vrstni red vklopa in izklopa stopenj.

Vaja 3

Kompenzacija jalove moči – simulacija modela omrežja

S pomočjo simulacijskega programa PSCAD preverite rešitev, ki ste jo predlagali v okviru vaje 2.

Harmonsko popačenje, ki ga v omrežju povzročajo bremena, simulirajte s harmonskima tokovnima viroma (za 5. in 7. harmonik) priključenima na SN nivo.

Tabela 5: Podatki harmonskih tokovnih virov.

Harmonski vir	Nazivna napetost (kV)	Frekvenca (Hz)	Tok – efektivna vrednost (A)
Ih 5	20	250	7,0
Ih 7	20	350	10,0

Simulirajte naslednje primere:

- obratovanje omrežja brez kompenzacije,
- obratovanje omrežja s kompenzatorji, kot so določeni v okviru vaje 1,
- obratovanje omrežja s kompenzacijo, ki ste jo določili pri vaji 2.

S pomočjo simulacij določite harmonsko popačenje naslednjih veličin:

- napetosti na SN nivoju,
- toka SN transformatorja,
- toka bremena, priključenega na SN nivo,
- toka kompenzatorja na SN nivoju.

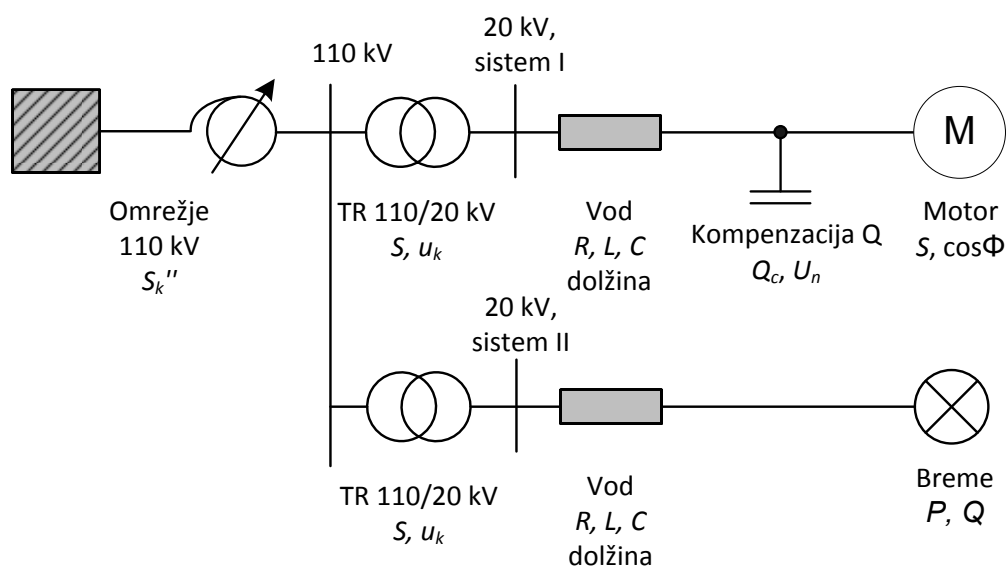
Če sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II enaka, podajte rezultate samo za en sistem.

Rezultate simulacij komentirajte.

Vaja 4 Meritve kakovosti napetosti

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite parametre kakovosti napetosti po standardu SIST EN 50160 na napetostnem nivoju 20 kV. Meritve opravite na 20 kV sistemu I in 20 kV sistemu II. Izmerite tudi bremenski tok. Na sistemu, kjer je priključen elektromotor opravite dve meritvi – eno z odklopljenim in eno s priklopljenim kompenzatorjem jalove moči.

Rezultate podajte v obliki poročila, kjer tabelarično in v grafični obliki prikažete rezultate meritev po SIST EN 50160 ter tudi poteke električnih veličin (U , I , P , Q , $\cos\varphi$, harmonske komponente...). Rezultate komentirajte, opišite tudi vpliv priklopa kompenzatorja na razmere v omrežju.

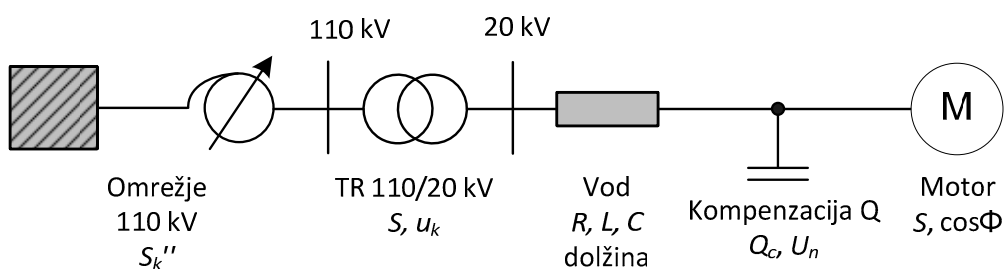


Slika 2: Meritve kakovosti napetosti - enopolna shema omrežja.

Vaja 5 Viri harmonskega popačenja

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite trenutne poteke napetosti ter toka. Meritve opravite pri priklopljenem in pri odklopljenem kompenzatorju.

S pomočjo metode harmonskih vektorjev z referenčnimi impedancami določite deleže harmonskega popačenja napetosti in toka z omrežne ter z bremenske strani. Izračunajte deleže za osnovno harmonsko komponento in 5., 7., 11. ter 13. harmonik. Izračune izvedite v dveh delovnih točkah omrežja – eni, ko je kompenzator odklopljen in eni, ko je kompenzator priklopljen. Rezultate komentirajte.



Slika 2: Viri harmonskega popačenja - enopolna shema omrežja.

Vaja 1

Kompensacija jalove moči – frekvenčne karakteristike impedance omrežja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja določite frekvenčne karakteristike njegove impedance in sicer:

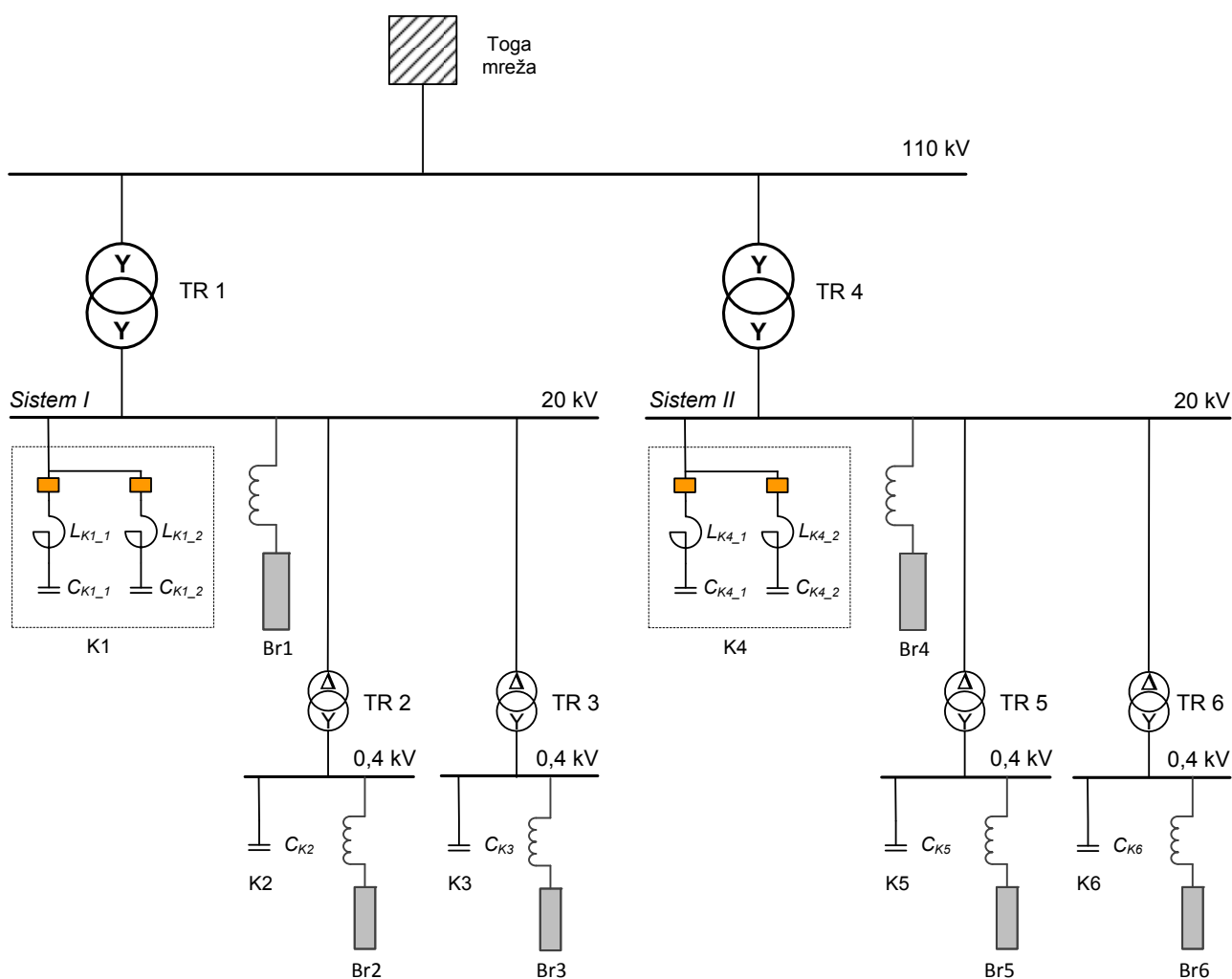
- frekvenčne karakteristike impedance z omrežne strani 110 kV,
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema I in
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema II.

Pri tem upoštevajte, da:

- so kompenzatorji na napetostnem nivoju 20 kV izvedeni v dveh enakih stopnjah,
- je vsak kompenzator lahko tudi odklopljen od omrežja,
- se lahko bremena, kratkostična moč omrežja in tudi transformatorji spremenijo.

Prikažite absolutno vrednost impedance glede na vrednost pri 50 Hz. Rezultate komentirajte.

Upoštevajte obratovalno stanje, ko so izklopljeni naslednji transformatorji: TR 1, TR 2 in TR 3.



Slika 1: Kompensacija jalove moči - enopolna shema omrežja.

Tabela 1: Podatki toge mreže.

Toga mreža	Un (kV)	Sk'' (MVA)	R/X
TM	110	2400	1/10

Tabela 2: Nazivni podatki transformatorjev.

Transformator	Nazivna napetost (kV/kV)	Nazivna moč (MVA)	u_k (%)	R/X
TR 1	110/20	40,0	14,0	1/20
TR 2	20/0,4	2,0	6,0	1/20
TR 3	20/0,4	1,0	5,0	1/20
TR 4	110/20	40,0	14,0	1/20
TR 5	20/0,4	1,6	5,6	1/20
TR 6	20/0,4	1,0	5,0	1/20

Tabela 3: Nazivni podatki kompenzatorjev.

Kompenzator	Nazivna napetost (kV)	Nazivna moč (MVar)	Resonančna frekvenca (Hz)	R/X _L	R/X _C
K1	20	1,8 + 1,8	940	1/10	1/4000
K2	0,4	0,5	/	1/10	1/4000
K3	0,4	0,4	/	1/10	1/4000
K4	20	2,4 + 2,4	970	1/10	1/4000
K5	0,4	0,2	/	1/10	1/4000
K6	0,4	0,6	/	1/10	1/4000

Tabela 4: Podatki nadomestnih bremen.

Breme	Nazivna napetost (kV)	P (MW)	Q (MVar)
Br1	20	8	4
Br2	0,4	0,6	0,5
Br3	0,4	0,8	0,6
Br4	20	14	6
Br5	0,4	0,6	0,5
Br6	0,4	0,8	0,5

Vaja 2

Kompenzacija jalove moči – določanje parametrov kompenzatorja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja pri vaji 1 določite velikost dušilke kompenzatorjev na srednje-napetostnem nivoju. Kompenzatorje uglasite tako, da bo ojačenje harmonikov v omrežju čim manjše. Upoštevajte, da:

- v omrežju nastopajo značilni harmoniki reda 3, 5, 7, 11 in 13,
- so kompenzatorji dvostopenjski in da je vsaka stopnja lahko uglašena na drugačno frekvenco,
- da uglasitev kompenzatorja na nižjo frekvenco zahteva večjo in dražjo dušilko,
- da mora biti kompenzator opremljen vsaj z vklopno dušilko,
- da sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II lahko enaka.

Pri določanju parametrov kompenzatorja preverite tudi kako na frekvenčno karakteristiko vplivajo spremembe obremenitve, kratkostične moči omrežja in parametrov VN/SN transformatorja (moč, kratkostična napetost).

V primeru, da sta stopnji kompenzatorja uglašeni na različni frekvenci, določite tudi ustrezni vrstni red vklopa in izklopa stopenj.

Vaja 3

Kompenzacija jalove moči – simulacija modela omrežja

S pomočjo simulacijskega programa PSCAD preverite rešitev, ki ste jo predlagali v okviru vaje 2.

Harmonsko popačenje, ki ga v omrežju povzročajo bremena, simulirajte s harmonskima tokovnima viroma (za 5. in 7. harmonik) priključenima na SN nivo.

Tabela 5: Podatki harmonskih tokovnih virov.

Harmonski vir	Nazivna napetost (kV)	Frekvenca (Hz)	Tok – efektivna vrednost (A)
Ih 5	20	250	9,0
Ih 7	20	350	7,0

Simulirajte naslednje primere:

- obratovanje omrežja brez kompenzacije,
- obratovanje omrežja s kompenzatorji, kot so določeni v okviru vaje 1,
- obratovanje omrežja s kompenzacijo, ki ste jo določili pri vaji 2.

S pomočjo simulacij določite harmonsko popačenje naslednjih veličin:

- napetosti na SN nivoju,
- toka SN transformatorja,
- toka bremena, priključenega na SN nivo,
- toka kompenzatorja na SN nivoju.

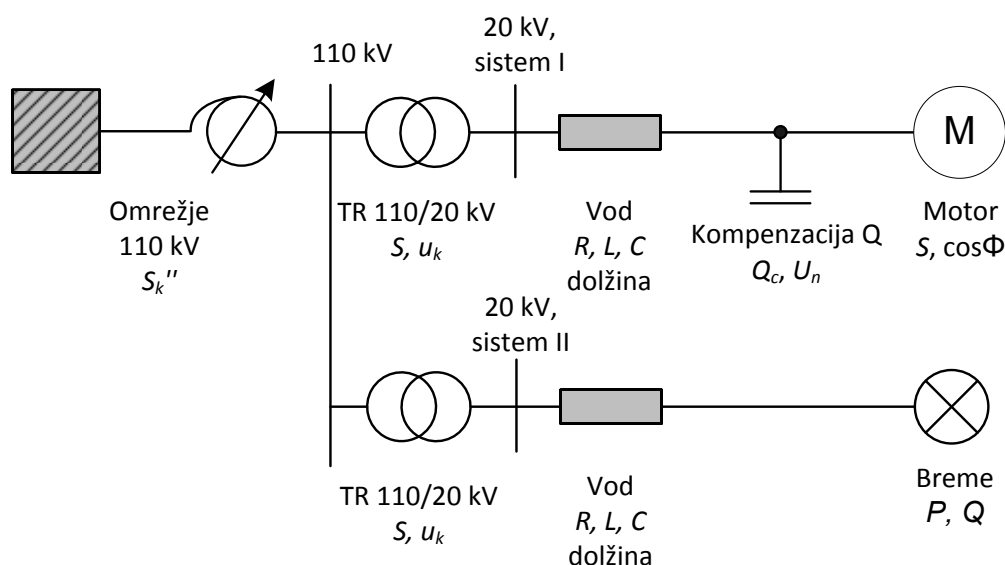
Če sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II enaka, podajte rezultate samo za en sistem.

Rezultate simulacij komentirajte.

Vaja 4 Meritve kakovosti napetosti

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite parametre kakovosti napetosti po standardu SIST EN 50160 na napetostnem nivoju 20 kV. Meritve opravite na 20 kV sistemu I in 20 kV sistemu II. Izmerite tudi bremenski tok. Na sistemu, kjer je priključen elektromotor opravite dve meritvi – eno z odklopljenim in eno s priklopljenim kompenzatorjem jalove moči.

Rezultate podajte v obliki poročila, kjer tabelarično in v grafični obliki prikažete rezultate meritev po SIST EN 50160 ter tudi poteke električnih veličin (U , I , P , Q , $\cos\varphi$, harmonske komponente...). Rezultate komentirajte, opišite tudi vpliv priklopa kompenzatorja na razmere v omrežju.

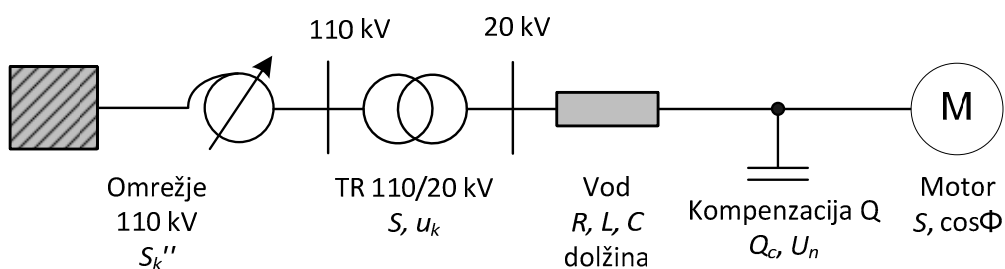


Slika 2: Meritve kakovosti napetosti - enopolna shema omrežja.

Vaja 5 Viri harmonskega popačenja

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite trenutne poteke napetosti ter toka. Meritve opravite pri priklopljenem in pri odklopljenem kompenzatorju.

S pomočjo metode harmonskih vektorjev z referenčnimi impedancami določite deleže harmonskega popačenja napetosti in toka z omrežne ter z bremenske strani. Izračunajte deleže za osnovno harmonsko komponento in 5., 7., 11. ter 13. harmonik. Izračune izvedite v dveh delovnih točkah omrežja – eni, ko je kompenzator odklopljen in eni, ko je kompenzator priklopljen. Rezultate komentirajte.



Slika 2: Viri harmonskega popačenja - enopolna shema omrežja.

Vaja 1

Kompensacija jalove moči – frekvenčne karakteristike impedance omrežja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja določite frekvenčne karakteristike njegove impedance in sicer:

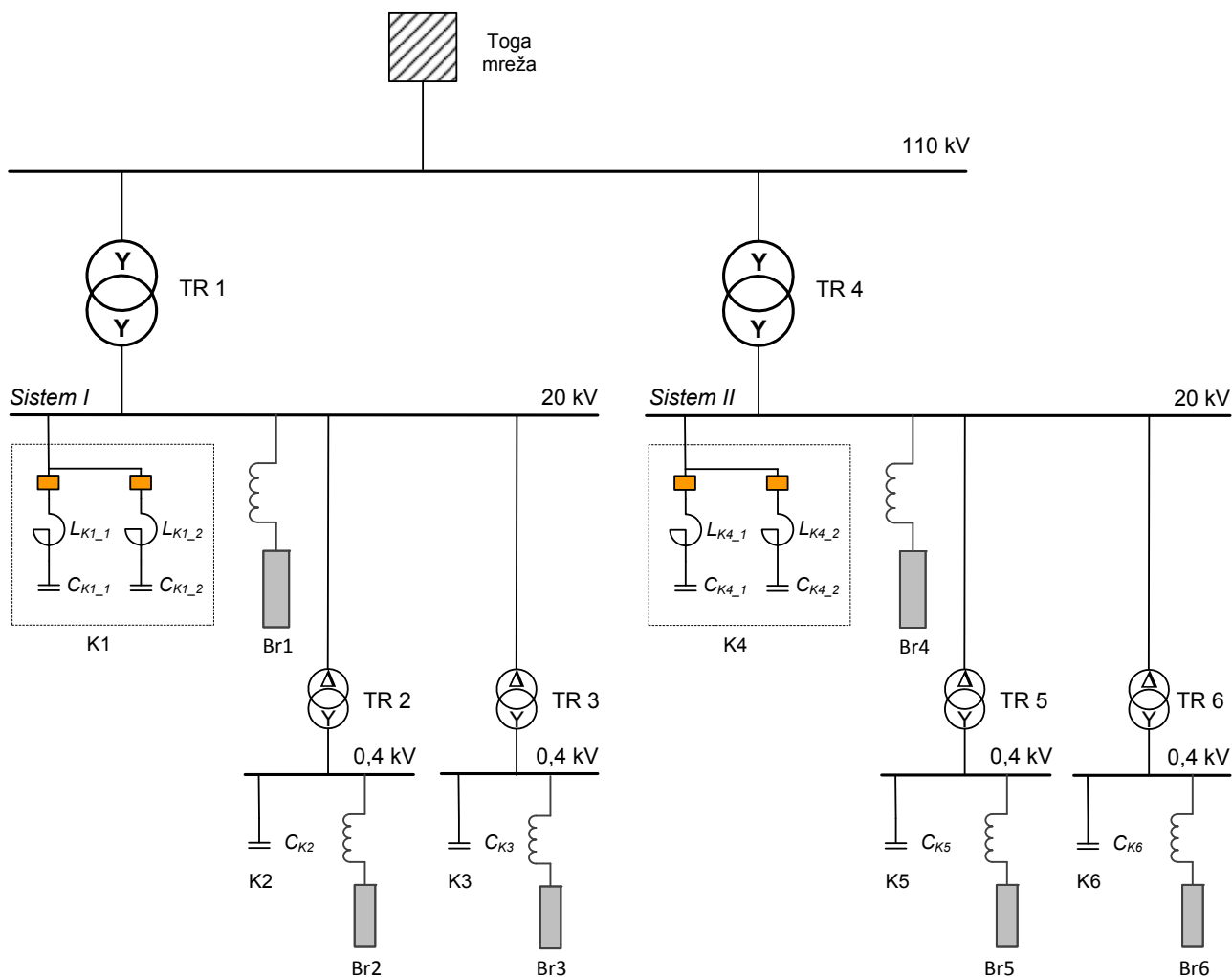
- frekvenčne karakteristike impedance z omrežne strani 110 kV,
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema I in
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema II.

Pri tem upoštevajte, da:

- so kompenzatorji na napetostnem nivoju 20 kV izvedeni v dveh enakih stopnjah,
- je vsak kompenzator lahko tudi odklopljen od omrežja,
- se lahko bremena, kratkostična moč omrežja in tudi transformatorji spremenijo.

Prikažite absolutno vrednost impedance glede na vrednost pri 50 Hz. Rezultate komentirajte.

Upoštevajte obratovalno stanje, ko so izklopljeni naslednji transformatorji: TR 4, TR 5 in TR 6.



Slika 1: Kompensacija jalove moči - enopolna shema omrežja.

Tabela 1: Podatki toge mreže.

Toga mreža	Un (kV)	Sk'' (MVA)	R/X
TM	110	2500	1/10

Tabela 2: Nazivni podatki transformatorjev.

Transformator	Nazivna napetost (kV/kV)	Nazivna moč (MVA)	u_k (%)	R/X
TR 1	110/20	40,0	14,2	1/20
TR 2	20/0,4	1,0	5,2	1/20
TR 3	20/0,4	1,3	5,0	1/20
TR 4	110/20	40,0	14,2	1/20
TR 5	20/0,4	2,0	6,0	1/20
TR 6	20/0,4	1,3	5,0	1/20

Tabela 3: Nazivni podatki kompenzatorjev.

Kompenzator	Nazivna napetost (kV)	Nazivna moč (MVar)	Resonančna frekvenca (Hz)	R/X _L	R/X _C
K1	20	2,0 + 2,0	910	1/10	1/4000
K2	0,4	0,6	/	1/10	1/4000
K3	0,4	0,3	/	1/10	1/4000
K4	20	2,6 + 2,6	1000	1/10	1/4000
K5	0,4	0,6	/	1/10	1/4000
K6	0,4	0,2	/	1/10	1/4000

Tabela 4: Podatki nadomestnih bremen.

Breme	Nazivna napetost (kV)	P (MW)	Q (MVar)
Br1	20	8	4
Br2	0,4	0,6	0,5
Br3	0,4	0,8	0,6
Br4	20	14	6
Br5	0,4	0,6	0,5
Br6	0,4	0,8	0,5

Vaja 2

Kompenzacija jalove moči – določanje parametrov kompenzatorja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja pri vaji 1 določite velikost dušilke kompenzatorjev na srednje-napetostnem nivoju. Kompenzatorje uglasite tako, da bo ojačenje harmonikov v omrežju čim manjše. Upoštevajte, da:

- v omrežju nastopajo značilni harmoniki reda 3, 5, 7, 11 in 13,
- so kompenzatorji dvostopenjski in da je vsaka stopnja lahko uglašena na drugačno frekvenco,
- da uglasitev kompenzatorja na nižjo frekvenco zahteva večjo in dražjo dušilko,
- da mora biti kompenzator opremljen vsaj z vklopno dušilko,
- da sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II lahko enaka.

Pri določanju parametrov kompenzatorja preverite tudi kako na frekvenčno karakteristiko vplivajo spremembe obremenitve, kratkostične moči omrežja in parametrov VN/SN transformatorja (moč, kratkostična napetost).

V primeru, da sta stopnji kompenzatorja uglašeni na različni frekvenci, določite tudi ustrezni vrstni red vklopa in izklopa stopenj.

Vaja 3

Kompenzacija jalove moči – simulacija modela omrežja

S pomočjo simulacijskega programa PSCAD preverite rešitev, ki ste jo predlagali v okviru vaje 2.

Harmonsko popačenje, ki ga v omrežju povzročajo bremena, simulirajte s harmonskima tokovnim viroma (za 5. in 7. harmonik) priključenima na SN nivo.

Tabela 5: Podatki harmonskih tokovnih virov.

Harmonski vir	Nazivna napetost (kV)	Frekvenca (Hz)	Tok – efektivna vrednost (A)
Ih 5	20	250	10,0
Ih 7	20	350	7,0

Simulirajte naslednje primere:

- obratovanje omrežja brez kompenzacije,
- obratovanje omrežja s kompenzatorji, kot so določeni v okviru vaje 1,
- obratovanje omrežja s kompenzacijo, ki ste jo določili pri vaji 2.

S pomočjo simulacij določite harmonsko popačenje naslednjih veličin:

- napetosti na SN nivoju,
- toka SN transformatorja,
- toka bremena, priključenega na SN nivo,
- toka kompenzatorja na SN nivoju.

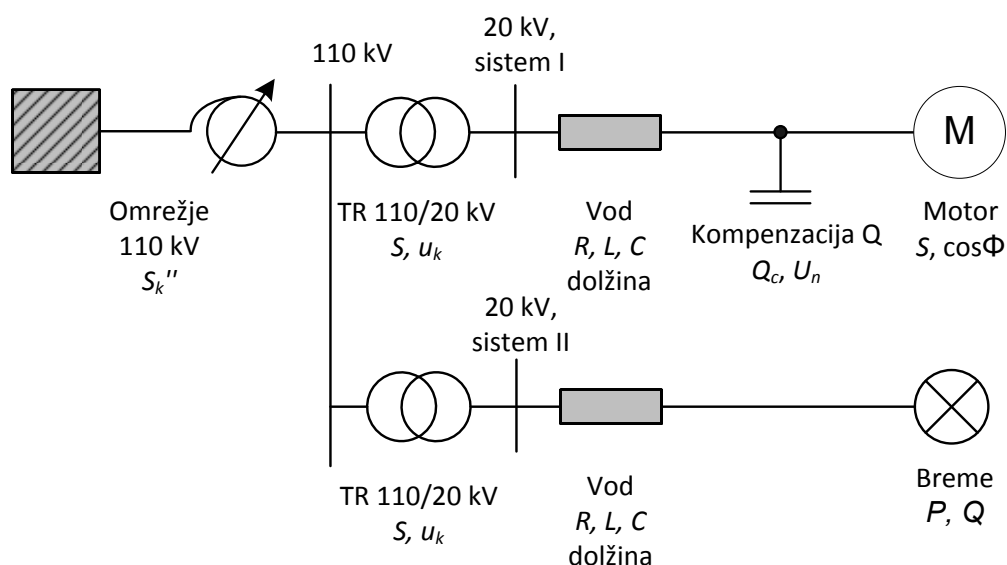
Če sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II enaka, podajte rezultate samo za en sistem.

Rezultate simulacij komentirajte.

Vaja 4 Meritve kakovosti napetosti

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite parametre kakovosti napetosti po standardu SIST EN 50160 na napetostnem nivoju 20 kV. Meritve opravite na 20 kV sistemu I in 20 kV sistemu II. Izmerite tudi bremenski tok. Na sistemu, kjer je priključen elektromotor opravite dve meritvi – eno z odklopljenim in eno s priklopljenim kompenzatorjem jalove moči.

Rezultate podajte v obliki poročila, kjer tabelarično in v grafični obliki prikažete rezultate meritev po SIST EN 50160 ter tudi poteke električnih veličin (U , I , P , Q , $\cos\varphi$, harmonske komponente...). Rezultate komentirajte, opišite tudi vpliv priklopa kompenzatorja na razmere v omrežju.

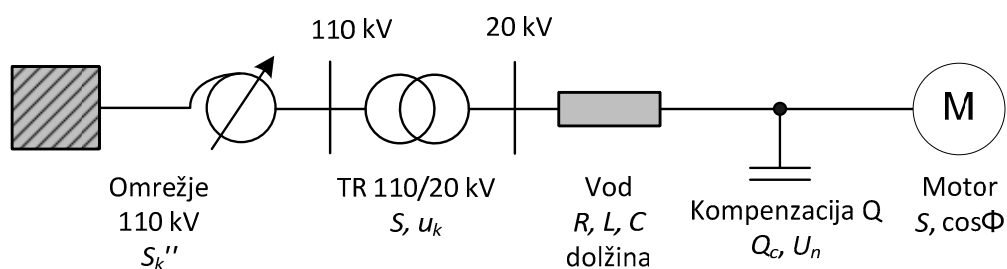


Slika 2: Meritve kakovosti napetosti - enopolna shema omrežja.

Vaja 5 Viri harmonskega popačenja

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite trenutne poteke napetosti ter toka. Meritve opravite pri priklopljenem in pri odklopljenem kompenzatorju.

S pomočjo metode harmonskih vektorjev z referenčnimi impedancami določite deleže harmonskega popačenja napetosti in toka z omrežne ter z bremenske strani. Izračunajte deleže za osnovno harmonsko komponento in 5., 7., 11. ter 13. harmonik. Izračune izvedite v dveh delovnih točkah omrežja – eni, ko je kompenzator odklopljen in eni, ko je kompenzator priklopljen. Rezultate komentirajte.



Slika 2: Viri harmonskega popačenja - enopolna shema omrežja.

Vaja 1

Kompensacija jalove moči – frekvenčne karakteristike impedance omrežja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja določite frekvenčne karakteristike njegove impedance in sicer:

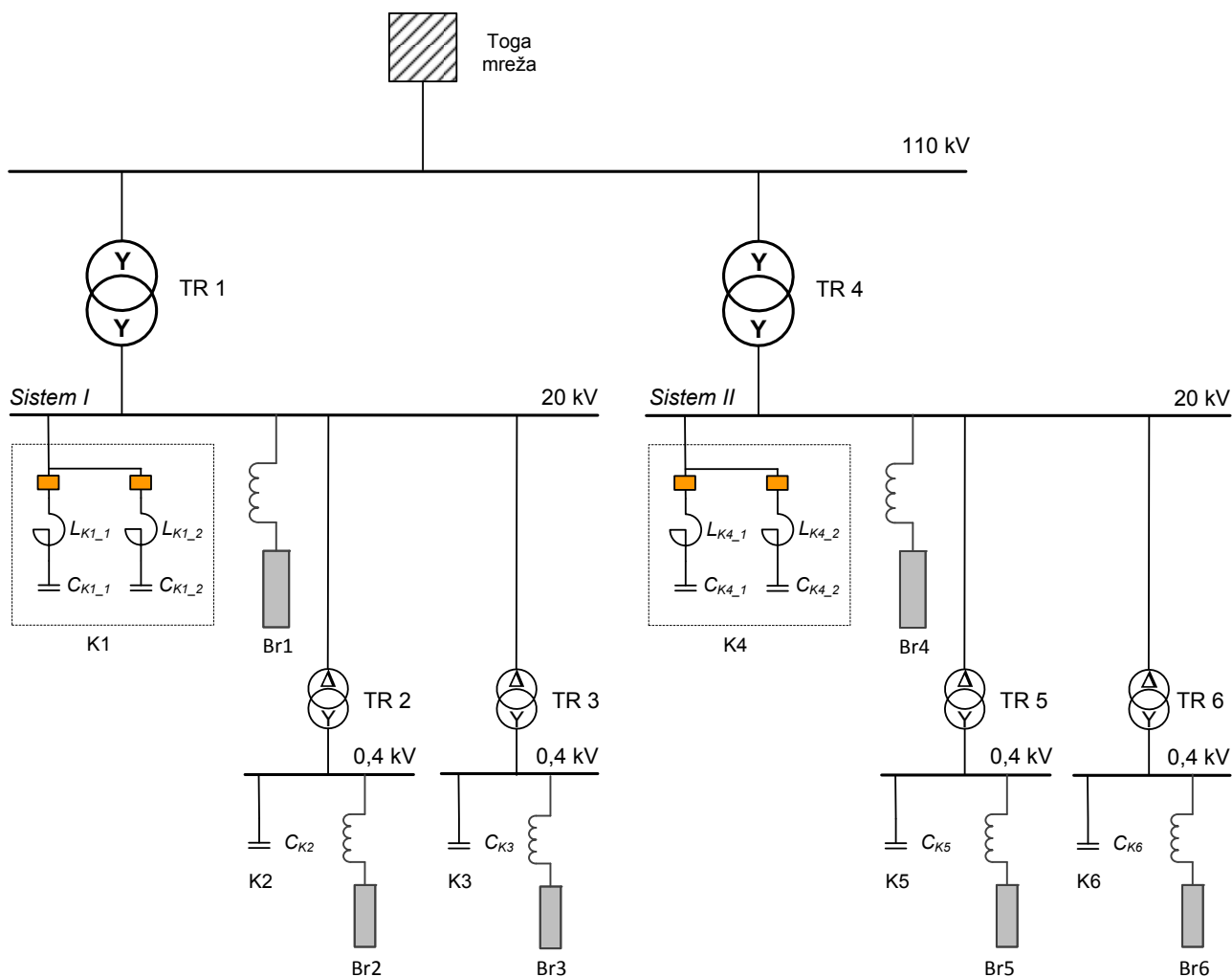
- frekvenčne karakteristike impedance z omrežne strani 110 kV,
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema I in
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema II.

Pri tem upoštevajte, da:

- so kompenzatorji na napetostnem nivoju 20 kV izvedeni v dveh enakih stopnjah,
- je vsak kompenzator lahko tudi odklopljen od omrežja,
- se lahko bremena, kratkostična moč omrežja in tudi transformatorji spremenijo.

Prikažite absolutno vrednost impedance glede na vrednost pri 50 Hz. Rezultate komentirajte.

Upoštevajte obratovalno stanje, ko so izklopljeni naslednji transformatorji: TR 2, TR 3 in TR 5.



Slika 1: Kompensacija jalove moči - enopolna shema omrežja.

Tabela 1: Podatki toge mreže.

Toga mreža	Un (kV)	Sk'' (MVA)	R/X
TM	110	2600	1/10

Tabela 2: Nazivni podatki transformatorjev.

Transformator	Nazivna napetost (kV/kV)	Nazivna moč (MVA)	u_k (%)	R/X
TR 1	110/20	40,0	14,4	1/20
TR 2	20/0,4	1,0	5,0	1/20
TR 3	20/0,4	1,6	5,6	1/20
TR 4	110/20	40,0	14,4	1/20
TR 5	20/0,4	1,0	5,2	1/20
TR 6	20/0,4	1,6	5,6	1/20

Tabela 3: Nazivni podatki kompenzatorjev.

Kompenzator	Nazivna napetost (kV)	Nazivna moč (MVar)	Resonančna frekvenca (Hz)	R/X _L	R/X _C
K1	20	2,2 + 2,2	880	1/10	1/4000
K2	0,4	0,3	/	1/10	1/4000
K3	0,4	0,6	/	1/10	1/4000
K4	20	2,8 + 2,8	970	1/10	1/4000
K5	0,4	0,5	/	1/10	1/4000
K6	0,4	0,3	/	1/10	1/4000

Tabela 4: Podatki nadomestnih bremen.

Breme	Nazivna napetost (kV)	P (MW)	Q (MVar)
Br1	20	8	4
Br2	0,4	0,6	0,5
Br3	0,4	0,8	0,6
Br4	20	14	6
Br5	0,4	0,6	0,5
Br6	0,4	0,8	0,5

Vaja 2

Kompenzacija jalove moči – določanje parametrov kompenzatorja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja pri vaji 1 določite velikost dušilke kompenzatorjev na srednje-napetostnem nivoju. Kompenzatorje uglasite tako, da bo ojačenje harmonikov v omrežju čim manjše. Upoštevajte, da:

- v omrežju nastopajo značilni harmoniki reda 3, 5, 7, 11 in 13,
- so kompenzatorji dvostopenjski in da je vsaka stopnja lahko uglašena na drugačno frekvenco,
- da uglasitev kompenzatorja na nižjo frekvenco zahteva večjo in dražjo dušilko,
- da mora biti kompenzator opremljen vsaj z vklopno dušilko,
- da sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II lahko enaka.

Pri določanju parametrov kompenzatorja preverite tudi kako na frekvenčno karakteristiko vplivajo spremembe obremenitve, kratkostične moči omrežja in parametrov VN/SN transformatorja (moč, kratkostična napetost).

V primeru, da sta stopnji kompenzatorja uglašeni na različni frekvenci, določite tudi ustrezni vrstni red vklopa in izklopa stopenj.

Vaja 3 Kompenzacija jalove moči – simulacija modela omrežja

S pomočjo simulacijskega programa PSCAD preverite rešitev, ki ste jo predlagali v okviru vaje 2.

Harmonsko popačenje, ki ga v omrežju povzročajo bremena, simulirajte s harmonskima tokovnima viroma (za 5. in 7. harmonik) priključenima na SN nivo.

Tabela 5: Podatki harmonskih tokovnih virov.

Harmonski vir	Nazivna napetost (kV)	Frekvenca (Hz)	Tok – efektivna vrednost (A)
Ih 5	20	250	8,0
Ih 7	20	350	8,0

Simulirajte naslednje primere:

- obratovanje omrežja brez kompenzacije,
- obratovanje omrežja s kompenzatorji, kot so določeni v okviru vaje 1,
- obratovanje omrežja s kompenzacijo, ki ste jo določili pri vaji 2.

S pomočjo simulacij določite harmonsko popačenje naslednjih veličin:

- napetosti na SN nivoju,
- toka SN transformatorja,
- toka bremena, priključenega na SN nivo,
- toka kompenzatorja na SN nivoju.

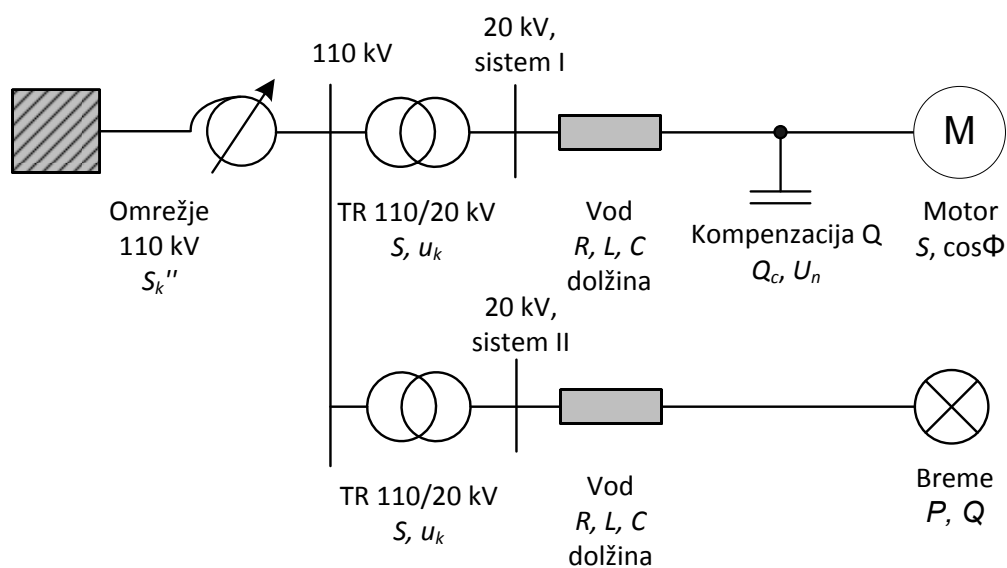
Če sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II enaka, podajte rezultate samo za en sistem.

Rezultate simulacij komentirajte.

Vaja 4 Meritve kakovosti napetosti

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite parametre kakovosti napetosti po standardu SIST EN 50160 na napetostnem nivoju 20 kV. Meritve opravite na 20 kV sistemu I in 20 kV sistemu II. Izmerite tudi bremenski tok. Na sistemu, kjer je priključen elektromotor opravite dve meritvi – eno z odklopljenim in eno s priklopljenim kompenzatorjem jalove moči.

Rezultate podajte v obliki poročila, kjer tabelarično in v grafični obliki prikažete rezultate meritev po SIST EN 50160 ter tudi poteke električnih veličin (U , I , P , Q , $\cos\varphi$, harmonske komponente...). Rezultate komentirajte, opišite tudi vpliv priklopa kompenzatorja na razmere v omrežju.

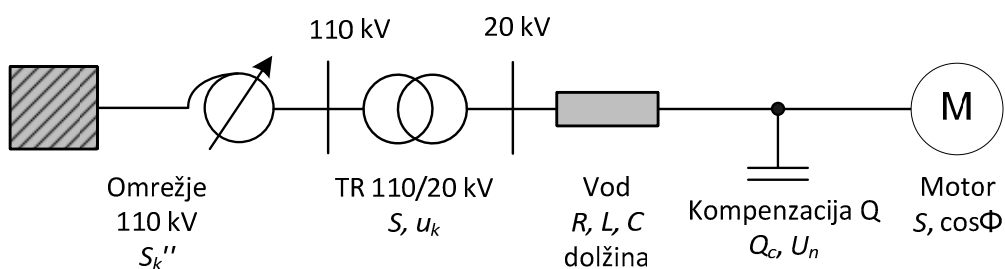


Slika 2: Meritve kakovosti napetosti - enopolna shema omrežja.

Vaja 5 Viri harmonskega popačenja

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite trenutne poteke napetosti ter toka. Meritve opravite pri priklopljenem in pri odklopljenem kompenzatorju.

S pomočjo metode harmonskih vektorjev z referenčnimi impedancami določite deleže harmonskega popačenja napetosti in toka z omrežne ter z bremenske strani. Izračunajte deleže za osnovno harmonsko komponento in 5., 7., 11. ter 13. harmonik. Izračune izvedite v dveh delovnih točkah omrežja – eni, ko je kompenzator odklopljen in eni, ko je kompenzator priklopljen. Rezultate komentirajte.



Slika 2: Viri harmonskega popačenja - enopolna shema omrežja.

Vaja 1

Kompensacija jalove moči – frekvenčne karakteristike impedance omrežja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja določite frekvenčne karakteristike njegove impedance in sicer:

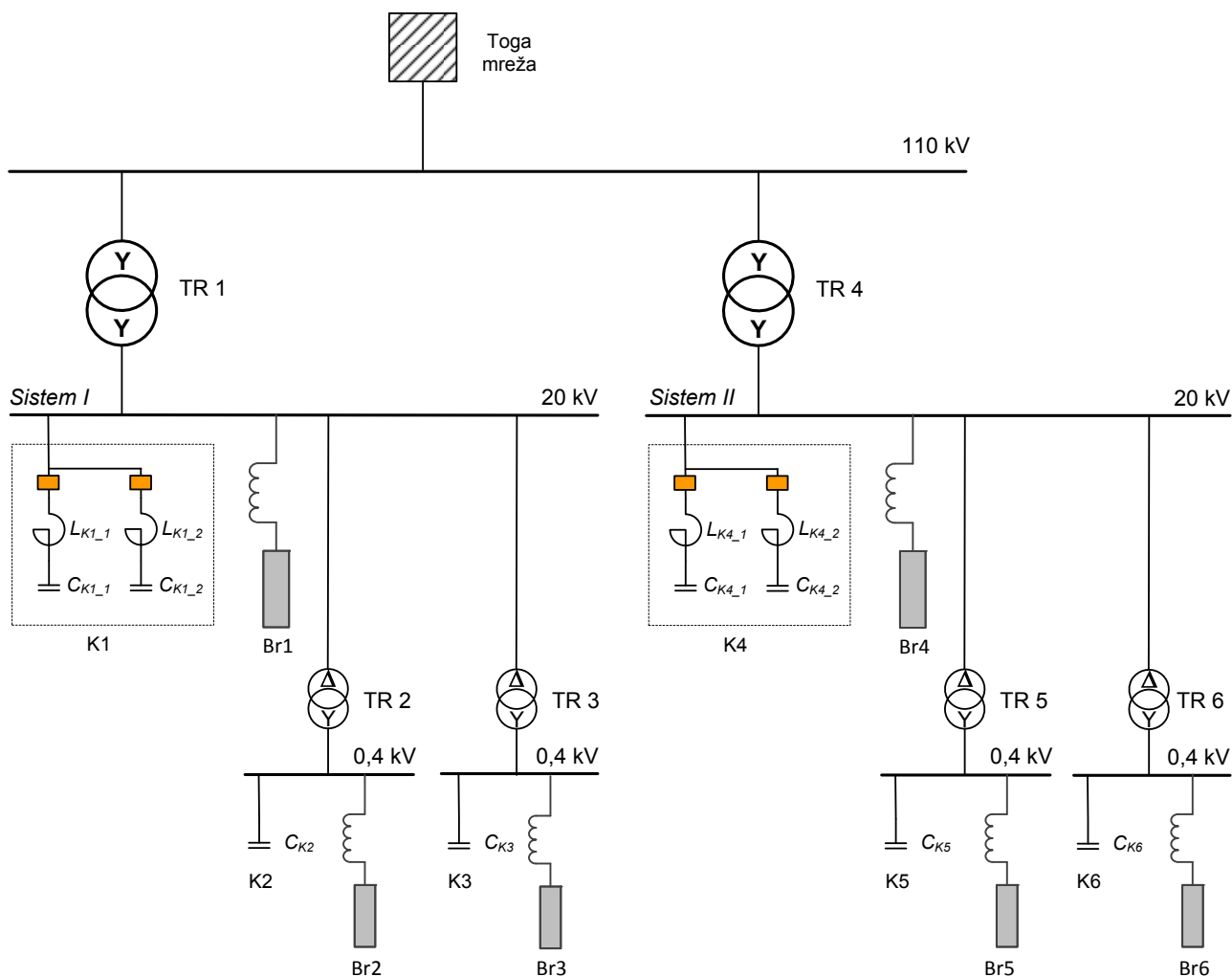
- frekvenčne karakteristike impedance z omrežne strani 110 kV,
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema I in
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema II.

Pri tem upoštevajte, da:

- so kompenzatorji na napetostnem nivoju 20 kV izvedeni v dveh enakih stopnjah,
- je vsak kompenzator lahko tudi odklopljen od omrežja,
- se lahko bremena, kratkostična moč omrežja in tudi transformatorji spremenijo.

Prikažite absolutno vrednost impedance glede na vrednost pri 50 Hz. Rezultate komentirajte.

Upoštevajte obratovalno stanje, ko so izklopljeni naslednji transformatorji: TR 3, TR 5 in TR 6.



Slika 1: Kompensacija jalove moči - enopolna shema omrežja.

Tabela 1: Podatki toge mreže.

Toga mreža	Un (kV)	Sk'' (MVA)	R/X
TM	110	2700	1/10

Tabela 2: Nazivni podatki transformatorjev.

Transformator	Nazivna napetost (kV/kV)	Nazivna moč (MVA)	u_k (%)	R/X
TR 1	110/20	40,0	14,6	1/20
TR 2	20/0,4	1,3	5,0	1/20
TR 3	20/0,4	2,0	6,0	1/20
TR 4	110/20	40,0	14,6	1/20
TR 5	20/0,4	1,0	5,0	1/20
TR 6	20/0,4	2,0	6,0	1/20

Tabela 3: Nazivni podatki kompenzatorjev.

Kompenzator	Nazivna napetost (kV)	Nazivna moč (MVar)	Resonančna frekvenca (Hz)	R/X _L	R/X _C
K1	20	2,4 + 2,4	850	1/10	1/4000
K2	0,4	0,4	/	1/10	1/4000
K3	0,4	0,5	/	1/10	1/4000
K4	20	3,0 + 3,0	940	1/10	1/4000
K5	0,4	0,4	/	1/10	1/4000
K6	0,4	0,4	/	1/10	1/4000

Tabela 4: Podatki nadomestnih bremen.

Breme	Nazivna napetost (kV)	P (MW)	Q (MVar)
Br1	20	8	4
Br2	0,4	0,6	0,5
Br3	0,4	0,8	0,6
Br4	20	14	6
Br5	0,4	0,6	0,5
Br6	0,4	0,8	0,5

Vaja 2

Kompenzacija jalove moči – določanje parametrov kompenzatorja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja pri vaji 1 določite velikost dušilke kompenzatorjev na srednje-napetostnem nivoju. Kompenzatorje uglasite tako, da bo ojačenje harmonikov v omrežju čim manjše. Upoštevajte, da:

- v omrežju nastopajo značilni harmoniki reda 3, 5, 7, 11 in 13,
- so kompenzatorji dvostopenjski in da je vsaka stopnja lahko uglašena na drugačno frekvenco,
- da uglasitev kompenzatorja na nižjo frekvenco zahteva večjo in dražjo dušilko,
- da mora biti kompenzator opremljen vsaj z vklopno dušilko,
- da sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II lahko enaka.

Pri določanju parametrov kompenzatorja preverite tudi kako na frekvenčno karakteristiko vplivajo spremembe obremenitve, kratkostične moči omrežja in parametrov VN/SN transformatorja (moč, kratkostična napetost).

V primeru, da sta stopnji kompenzatorja uglašeni na različni frekvenci, določite tudi ustrezni vrstni red vklopa in izklopa stopenj.

Vaja 3

Kompenzacija jalove moči – simulacija modela omrežja

S pomočjo simulacijskega programa PSCAD preverite rešitev, ki ste jo predlagali v okviru vaje 2.

Harmonsko popačenje, ki ga v omrežju povzročajo bremena, simulirajte s harmonskima tokovnima viroma (za 5. in 7. harmonik) priključenima na SN nivo.

Tabela 5: Podatki harmonskih tokovnih virov.

Harmonski vir	Nazivna napetost (kV)	Frekvenca (Hz)	Tok – efektivna vrednost (A)
Ih 5	20	250	7,0
Ih 7	20	350	10,0

Simulirajte naslednje primere:

- obratovanje omrežja brez kompenzacije,
- obratovanje omrežja s kompenzatorji, kot so določeni v okviru vaje 1,
- obratovanje omrežja s kompenzacijo, ki ste jo določili pri vaji 2.

S pomočjo simulacij določite harmonsko popačenje naslednjih veličin:

- napetosti na SN nivoju,
- toka SN transformatorja,
- toka bremena, priključenega na SN nivo,
- toka kompenzatorja na SN nivoju.

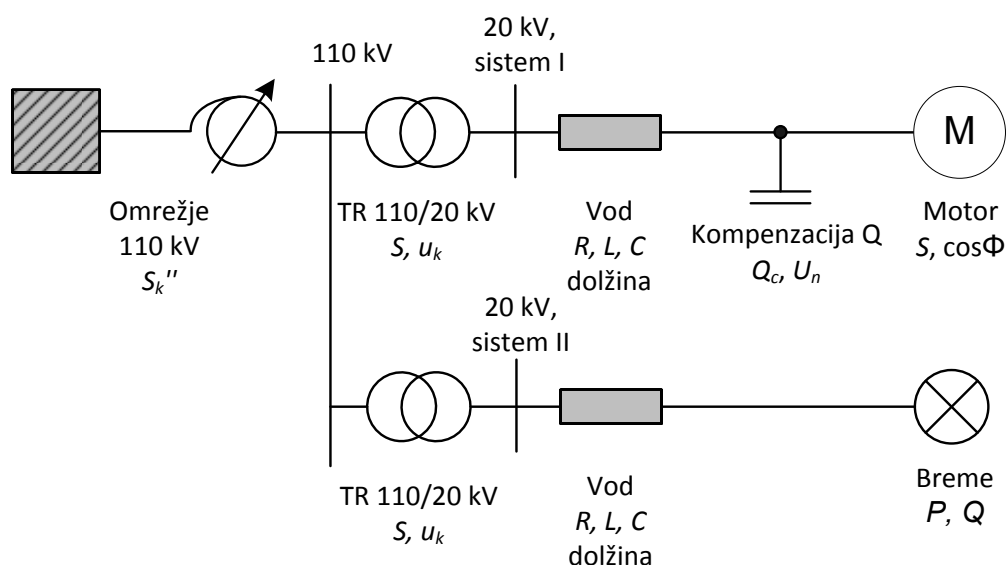
Če sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II enaka, podajte rezultate samo za en sistem.

Rezultate simulacij komentirajte.

Vaja 4 Meritve kakovosti napetosti

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite parametre kakovosti napetosti po standardu SIST EN 50160 na napetostnem nivoju 20 kV. Meritve opravite na 20 kV sistemu I in 20 kV sistemu II. Izmerite tudi bremenski tok. Na sistemu, kjer je priključen elektromotor opravite dve meritvi – eno z odklopljenim in eno s priklopljenim kompenzatorjem jalove moči.

Rezultate podajte v obliki poročila, kjer tabelarično in v grafični obliki prikažete rezultate meritev po SIST EN 50160 ter tudi poteke električnih veličin (U , I , P , Q , $\cos\varphi$, harmonske komponente...). Rezultate komentirajte, opišite tudi vpliv priklopa kompenzatorja na razmere v omrežju.

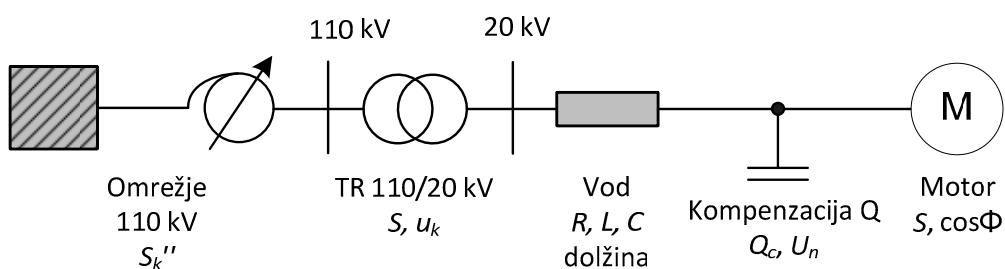


Slika 2: Meritve kakovosti napetosti - enopolna shema omrežja.

Vaja 5 Viri harmonskega popačenja

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite trenutne poteke napetosti ter toka. Meritve opravite pri priklopljenem in pri odklopljenem kompenzatorju.

S pomočjo metode harmonskih vektorjev z referenčnimi impedancami določite deleže harmonskega popačenja napetosti in toka z omrežne ter z bremenske strani. Izračunajte deleže za osnovno harmonsko komponento in 5., 7., 11. ter 13. harmonik. Izračune izvedite v dveh delovnih točkah omrežja – eni, ko je kompenzator odklopljen in eni, ko je kompenzator priklopljen. Rezultate komentirajte.



Slika 2: Viri harmonskega popačenja - enopolna shema omrežja.

Tabela 1: Podatki toge mreže.

Toga mreža	Un (kV)	Sk'' (MVA)	R/X
TM	110	2800	1/10

Tabela 2: Nazivni podatki transformatorjev.

Transformator	Nazivna napetost (kV/kV)	Nazivna moč (MVA)	u_k (%)	R/X
TR 1	110/20	40,0	14,8	1/20
TR 2	20/0,4	1,6	5,6	1/20
TR 3	20/0,4	1,0	5,2	1/20
TR 4	110/20	40,0	14,8	1/20
TR 5	20/0,4	1,3	5,0	1/20
TR 6	20/0,4	1,0	5,2	1/20

Tabela 3: Nazivni podatki kompenzatorjev.

Kompenzator	Nazivna napetost (kV)	Nazivna moč (MVar)	Resonančna frekvenca (Hz)	R/X _L	R/X _C
K1	20	2,6 + 2,6	1000	1/10	1/4000
K2	0,4	0,5	/	1/10	1/4000
K3	0,4	0,4	/	1/10	1/4000
K4	20	3,2 + 3,2	910	1/10	1/4000
K5	0,4	0,3	/	1/10	1/4000
K6	0,4	0,5	/	1/10	1/4000

Tabela 4: Podatki nadomestnih bremen.

Breme	Nazivna napetost (kV)	P (MW)	Q (MVar)
Br1	20	8	4
Br2	0,4	0,6	0,5
Br3	0,4	0,8	0,6
Br4	20	14	6
Br5	0,4	0,6	0,5
Br6	0,4	0,8	0,5

Vaja 2

Kompenzacija jalove moči – določanje parametrov kompenzatorja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja pri vaji 1 določite velikost dušilke kompenzatorjev na srednje-napetostnem nivoju. Kompenzatorje uglasite tako, da bo ojačenje harmonikov v omrežju čim manjše. Upoštevajte, da:

- v omrežju nastopajo značilni harmoniki reda 3, 5, 7, 11 in 13,
- so kompenzatorji dvostopenjski in da je vsaka stopnja lahko uglašena na drugačno frekvenco,
- da uglasitev kompenzatorja na nižjo frekvenco zahteva večjo in dražjo dušilko,
- da mora biti kompenzator opremljen vsaj z vklopno dušilko,
- da sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II lahko enaka.

Pri določanju parametrov kompenzatorja preverite tudi kako na frekvenčno karakteristiko vplivajo spremembe obremenitve, kratkostične moči omrežja in parametrov VN/SN transformatorja (moč, kratkostična napetost).

V primeru, da sta stopnji kompenzatorja uglašeni na različni frekvenci, določite tudi ustrezni vrstni red vklopa in izklopa stopenj.

Vaja 3

Kompensacija jalove moči – simulacija modela omrežja

S pomočjo simulacijskega programa PSCAD preverite rešitev, ki ste jo predlagali v okviru vaje 2.

Harmonsko popačenje, ki ga v omrežju povzročajo bremena, simulirajte s harmonskima tokovnima viroma (za 5. in 7. harmonik) priključenima na SN nivo.

Tabela 5: Podatki harmonskih tokovnih virov.

Harmonski vir	Nazivna napetost (kV)	Frekvenca (Hz)	Tok – efektivna vrednost (A)
Ih 5	20	250	9,0
Ih 7	20	350	7,0

Simulirajte naslednje primere:

- obratovanje omrežja brez kompenzacije,
- obratovanje omrežja s kompenzatorji, kot so določeni v okviru vaje 1,
- obratovanje omrežja s kompenzacijo, ki ste jo določili pri vaji 2.

S pomočjo simulacij določite harmonsko popačenje naslednjih veličin:

- napetosti na SN nivoju,
- toka SN transformatorja,
- toka bremena, priključenega na SN nivo,
- toka kompenzatorja na SN nivoju.

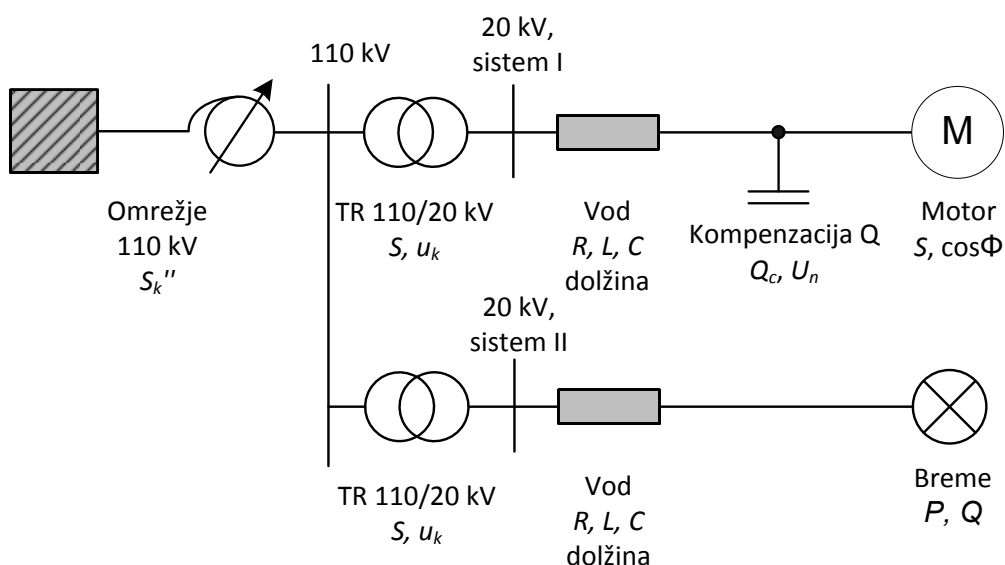
Če sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II enaka, podajte rezultate samo za en sistem.

Rezultate simulacij komentirajte.

Vaja 4 Meritve kakovosti napetosti

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite parametre kakovosti napetosti po standardu SIST EN 50160 na napetostnem nivoju 20 kV. Meritve opravite na 20 kV sistemu I in 20 kV sistemu II. Izmerite tudi bremenski tok. Na sistemu, kjer je priključen elektromotor opravite dve meritvi – eno z odklopljenim in eno s priklopljenim kompenzatorjem jalove moči.

Rezultate podajte v obliki poročila, kjer tabelarično in v grafični obliki prikažete rezultate meritev po SIST EN 50160 ter tudi poteke električnih veličin (U , I , P , Q , $\cos\varphi$, harmonske komponente...). Rezultate komentirajte, opišite tudi vpliv priklopa kompenzatorja na razmere v omrežju.

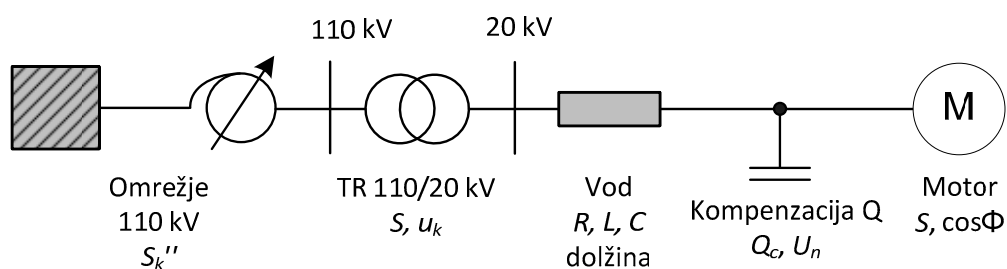


Slika 2: Meritve kakovosti napetosti - enopolna shema omrežja.

Vaja 5 Viri harmonskega popačenja

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite trenutne poteke napetosti ter toka. Meritve opravite pri priklopljenem in pri odklopljenem kompenzatorju.

S pomočjo metode harmonskih vektorjev z referenčnimi impedancami določite deleže harmonskega popačenja napetosti in toka z omrežne ter z bremenske strani. Izračunajte deleže za osnovno harmonsko komponento in 5., 7., 11. ter 13. harmonik. Izračune izvedite v dveh delovnih točkah omrežja – eni, ko je kompenzator odklopljen in eni, ko je kompenzator priklopljen. Rezultate komentirajte.



Slika 2: Viri harmonskega popačenja - enopolna shema omrežja.

Tabela 1: Podatki toge mreže.

Toga mreža	Un (kV)	Sk'' (MVA)	R/X
TM	110	2900	1/10

Tabela 2: Nazivni podatki transformatorjev.

Transformator	Nazivna napetost (kV/kV)	Nazivna moč (MVA)	u_k (%)	R/X
TR 1	110/20	40,0	15,0	1/20
TR 2	20/0,4	2,0	6,0	1/20
TR 3	20/0,4	1,0	5,0	1/20
TR 4	110/20	40,0	15,0	1/20
TR 5	20/0,4	1,6	5,6	1/20
TR 6	20/0,4	1,0	5,0	1/20

Tabela 3: Nazivni podatki kompenzatorjev.

Kompenzator	Nazivna napetost (kV)	Nazivna moč (MVar)	Resonančna frekvenca (Hz)	R/X _L	R/X _C
K1	20	2,8 + 2,8	970	1/10	1/4000
K2	0,4	0,6	/	1/10	1/4000
K3	0,4	0,3	/	1/10	1/4000
K4	20	3,4 + 3,4	880	1/10	1/4000
K5	0,4	0,2	/	1/10	1/4000
K6	0,4	0,6	/	1/10	1/4000

Tabela 4: Podatki nadomestnih bremen.

Breme	Nazivna napetost (kV)	P (MW)	Q (MVar)
Br1	20	8	4
Br2	0,4	0,6	0,5
Br3	0,4	0,8	0,6
Br4	20	14	6
Br5	0,4	0,6	0,5
Br6	0,4	0,8	0,5

Vaja 2

Kompenzacija jalove moči – določanje parametrov kompenzatorja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja pri vaji 1 določite velikost dušilke kompenzatorjev na srednje-napetostnem nivoju. Kompenzatorje uglasite tako, da bo ojačenje harmonikov v omrežju čim manjše. Upoštevajte, da:

- v omrežju nastopajo značilni harmoniki reda 3, 5, 7, 11 in 13,
- so kompenzatorji dvostopenjski in da je vsaka stopnja lahko uglašena na drugačno frekvenco,
- da uglasitev kompenzatorja na nižjo frekvenco zahteva večjo in dražjo dušilko,
- da mora biti kompenzator opremljen vsaj z vklopno dušilko,
- da sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II lahko enaka.

Pri določanju parametrov kompenzatorja preverite tudi kako na frekvenčno karakteristiko vplivajo spremembe obremenitve, kratkostične moči omrežja in parametrov VN/SN transformatorja (moč, kratkostična napetost).

V primeru, da sta stopnji kompenzatorja uglašeni na različni frekvenci, določite tudi ustrezni vrstni red vklopa in izklopa stopenj.

Vaja 3

Kompenzacija jalove moči – simulacija modela omrežja

S pomočjo simulacijskega programa PSCAD preverite rešitev, ki ste jo predlagali v okviru vaje 2.

Harmonsko popačenje, ki ga v omrežju povzročajo bremena, simulirajte s harmonskima tokovnima viroma (za 5. in 7. harmonik) priključenima na SN nivo.

Tabela 5: Podatki harmonskih tokovnih virov.

Harmonski vir	Nazivna napetost (kV)	Frekvenca (Hz)	Tok – efektivna vrednost (A)
Ih 5	20	250	10,0
Ih 7	20	350	7,0

Simulirajte naslednje primere:

- obratovanje omrežja brez kompenzacije,
- obratovanje omrežja s kompenzatorji, kot so določeni v okviru vaje 1,
- obratovanje omrežja s kompenzacijo, ki ste jo določili pri vaji 2.

S pomočjo simulacij določite harmonsko popačenje naslednjih veličin:

- napetosti na SN nivoju,
- toka SN transformatorja,
- toka bremena, priključenega na SN nivo,
- toka kompenzatorja na SN nivoju.

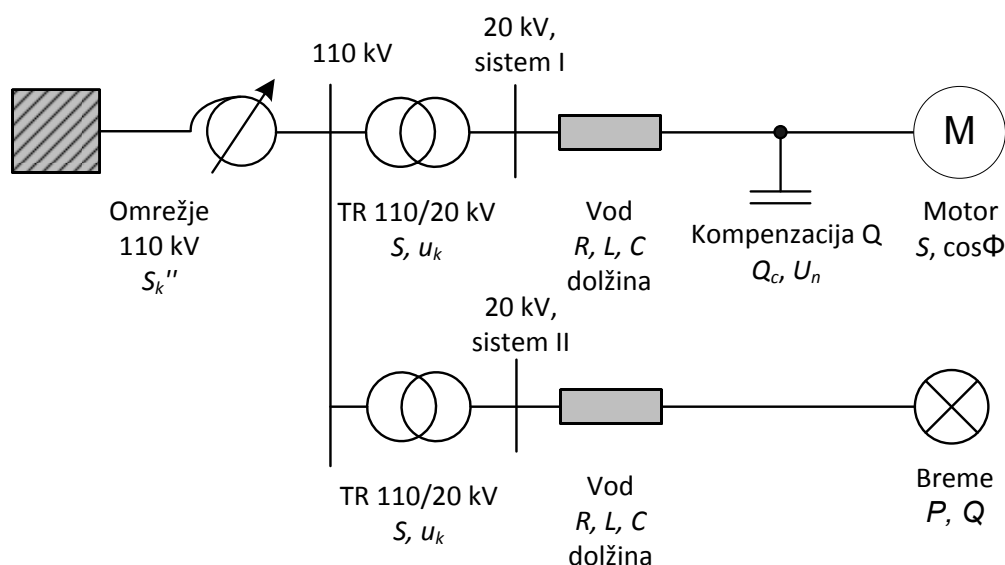
Če sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II enaka, podajte rezultate samo za en sistem.

Rezultate simulacij komentirajte.

Vaja 4 Meritve kakovosti napetosti

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite parametre kakovosti napetosti po standardu SIST EN 50160 na napetostnem nivoju 20 kV. Meritve opravite na 20 kV sistemu I in 20 kV sistemu II. Izmerite tudi bremenski tok. Na sistemu, kjer je priključen elektromotor opravite dve meritvi – eno z odklopljenim in eno s priklopljenim kompenzatorjem jalove moči.

Rezultate podajte v obliki poročila, kjer tabelarično in v grafični obliki prikažete rezultate meritev po SIST EN 50160 ter tudi poteke električnih veličin (U , I , P , Q , $\cos\varphi$, harmonske komponente...). Rezultate komentirajte, opišite tudi vpliv priklopa kompenzatorja na razmere v omrežju.

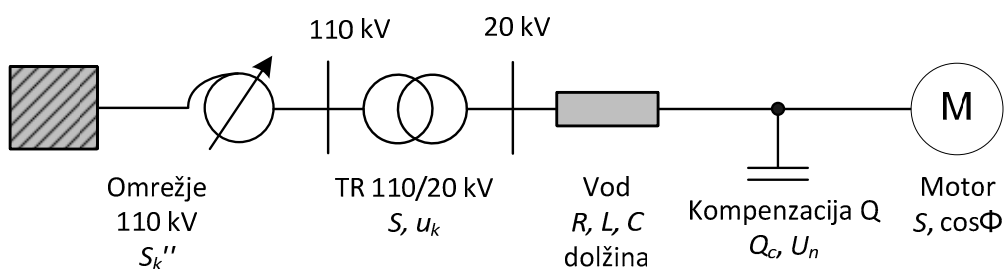


Slika 2: Meritve kakovosti napetosti - enopolna shema omrežja.

Vaja 5 Viri harmonskega popačenja

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite trenutne poteke napetosti ter toka. Meritve opravite pri priklopljenem in pri odklopljenem kompenzatorju.

S pomočjo metode harmonskih vektorjev z referenčnimi impedancami določite deleže harmonskega popačenja napetosti in toka z omrežne ter z bremenske strani. Izračunajte deleže za osnovno harmonsko komponento in 5., 7., 11. ter 13. harmonik. Izračune izvedite v dveh delovnih točkah omrežja – eni, ko je kompenzator odklopljen in eni, ko je kompenzator priklopljen. Rezultate komentirajte.



Slika 2: Viri harmonskega popačenja - enopolna shema omrežja.

Vaja 1

Kompensacija jalove moči – frekvenčne karakteristike impedance omrežja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja določite frekvenčne karakteristike njegove impedance in sicer:

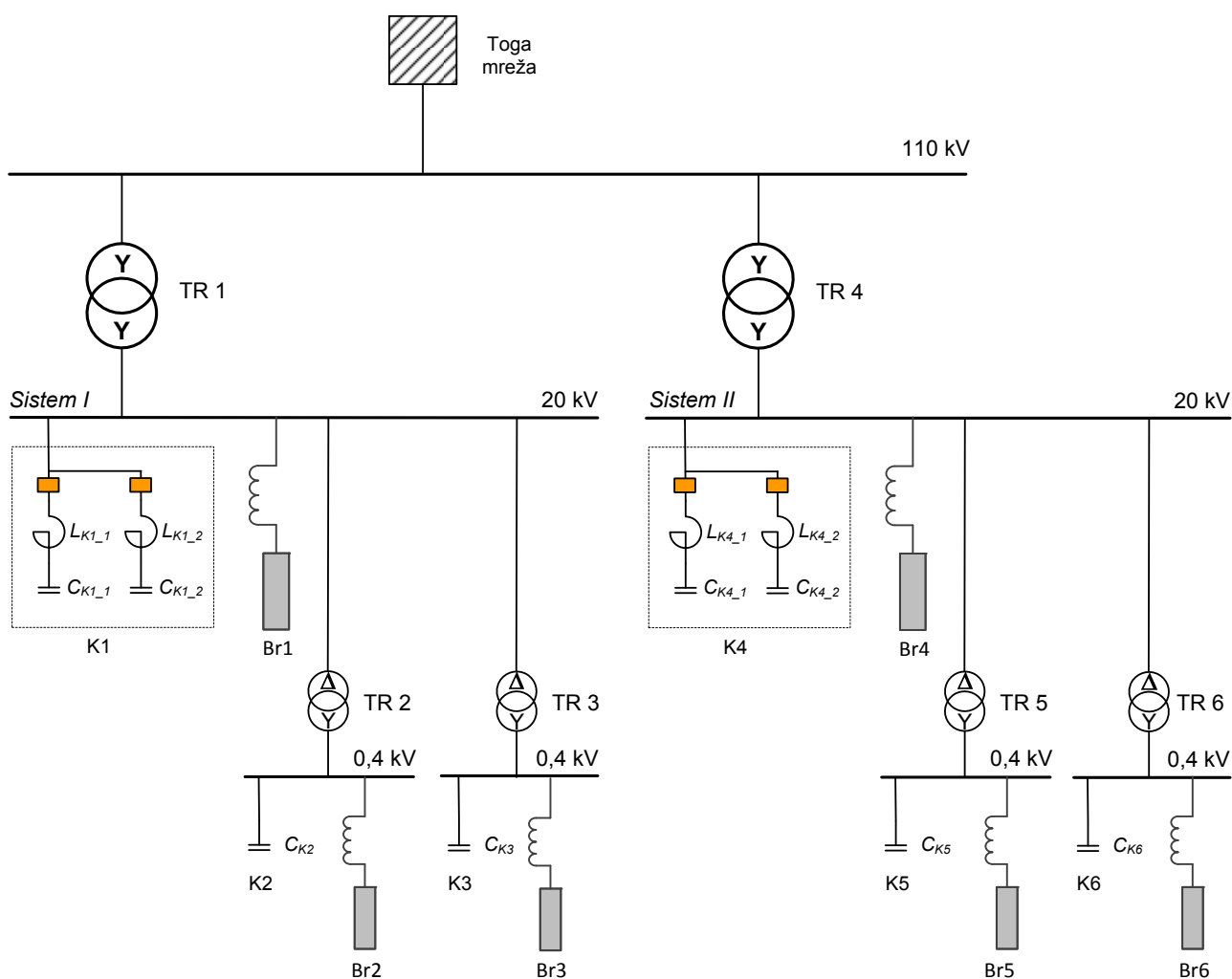
- frekvenčne karakteristike impedance z omrežne strani 110 kV,
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema I in
- frekvenčne karakteristike impedance z bremenske strani 20 kV Sistema II.

Pri tem upoštevajte, da:

- so kompenzatorji na napetostnem nivoju 20 kV izvedeni v dveh enakih stopnjah,
- je vsak kompenzator lahko tudi odklopljen od omrežja,
- se lahko bremena, kratkostična moč omrežja in tudi transformatorji spremenijo.

Prikažite absolutno vrednost impedance glede na vrednost pri 50 Hz. Rezultate komentirajte.

Upoštevajte obratovalno stanje, ko so izklopljeni naslednji transformatorji: TR 2, TR 3 in TR 5.



Slika 1: Kompensacija jalove moči - enopolna shema omrežja.

Tabela 1: Podatki toge mreže.

Toga mreža	Un (kV)	Sk'' (MVA)	R/X
TM	110	3000	1/10

Tabela 2: Nazivni podatki transformatorjev.

Transformator	Nazivna napetost (kV/kV)	Nazivna moč (MVA)	u_k (%)	R/X
TR 1	110/20	40,0	12,0	1/20
TR 2	20/0,4	1,6	5,6	1/20
TR 3	20/0,4	1,0	5,2	1/20
TR 4	110/20	40,0	15,0	1/20
TR 5	20/0,4	1,3	5,0	1/20
TR 6	20/0,4	1,0	5,2	1/20

Tabela 3: Nazivni podatki kompenzatorjev.

Kompenzator	Nazivna napetost (kV)	Nazivna moč (MVar)	Resonančna frekvenca (Hz)	R/X _L	R/X _C
K1	20	2,6 + 2,6	970	1/10	1/4000
K2	0,4	0,6	/	1/10	1/4000
K3	0,4	0,3	/	1/10	1/4000
K4	20	3,2 + 3,2	880	1/10	1/4000
K5	0,4	0,2	/	1/10	1/4000
K6	0,4	0,6	/	1/10	1/4000

Tabela 4: Podatki nadomestnih bremen.

Breme	Nazivna napetost (kV)	P (MW)	Q (MVar)
Br1	20	8	4
Br2	0,4	0,6	0,5
Br3	0,4	0,8	0,6
Br4	20	14	6
Br5	0,4	0,6	0,5
Br6	0,4	0,8	0,5

Vaja 2

Kompenzacija jalove moči – določanje parametrov kompenzatorja

Na osnovi enopolne sheme in podatkov omrežja pri vaji 1 določite velikost dušilke kompenzatorjev na srednje-napetostnem nivoju. Kompenzatorje uglasite tako, da bo ojačenje harmonikov v omrežju čim manjše. Upoštevajte, da:

- v omrežju nastopajo značilni harmoniki reda 3, 5, 7, 11 in 13,
- so kompenzatorji dvostopenjski in da je vsaka stopnja lahko uglašena na drugačno frekvenco,
- da uglasitev kompenzatorja na nižjo frekvenco zahteva večjo in dražjo dušilko,
- da mora biti kompenzator opremljen vsaj z vklopno dušilko,
- da sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II lahko enaka.

Pri določanju parametrov kompenzatorja preverite tudi kako na frekvenčno karakteristiko vplivajo spremembe obremenitve, kratkostične moči omrežja in parametrov VN/SN transformatorja (moč, kratkostična napetost).

V primeru, da sta stopnji kompenzatorja uglašeni na različni frekvenci, določite tudi ustrezni vrstni red vklopa in izklopa stopenj.

Vaja 3

Kompenzacija jalove moči – simulacija modela omrežja

S pomočjo simulacijskega programa PSCAD preverite rešitev, ki ste jo predlagali v okviru vaje 2.

Harmonsko popačenje, ki ga v omrežju povzročajo bremena, simulirajte s harmonskima tokovnima viroma (za 5. in 7. harmonik) priključenima na SN nivo.

Tabela 5: Podatki harmonskih tokovnih virov.

Harmonski vir	Nazivna napetost (kV)	Frekvenca (Hz)	Tok – efektivna vrednost (A)
Ih 5	20	250	10,0
Ih 7	20	350	7,0

Simulirajte naslednje primere:

- obratovanje omrežja brez kompenzacije,
- obratovanje omrežja s kompenzatorji, kot so določeni v okviru vaje 1,
- obratovanje omrežja s kompenzacijo, ki ste jo določili pri vaji 2.

S pomočjo simulacij določite harmonsko popačenje naslednjih veličin:

- napetosti na SN nivoju,
- toka SN transformatorja,
- toka bremena, priključenega na SN nivo,
- toka kompenzatorja na SN nivoju.

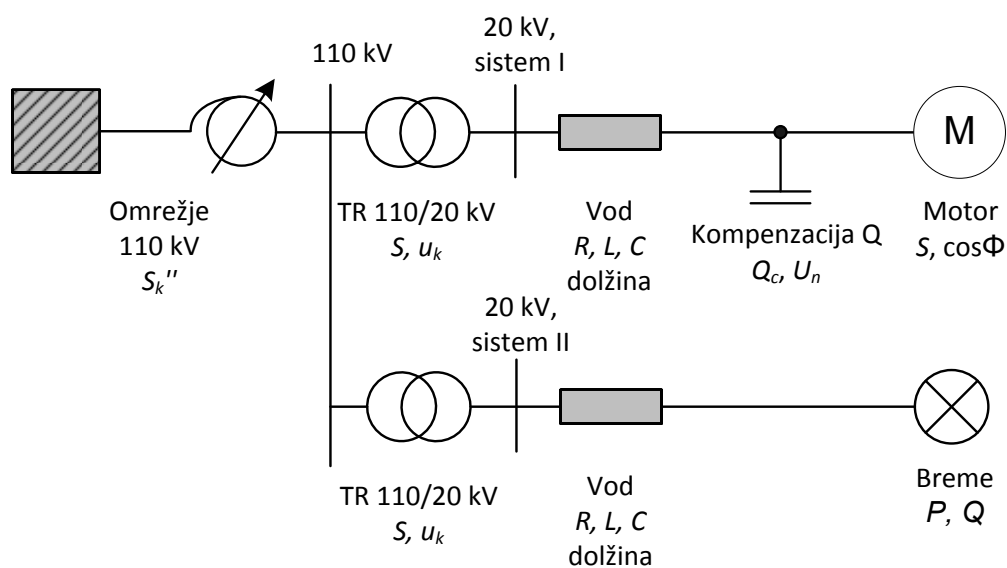
Če sta kompenzatorja Sistema I in Sistema II enaka, podajte rezultate samo za en sistem.

Rezultate simulacij komentirajte.

Vaja 4 Meritve kakovosti napetosti

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite parametre kakovosti napetosti po standardu SIST EN 50160 na napetostnem nivoju 20 kV. Meritve opravite na 20 kV sistemu I in 20 kV sistemu II. Izmerite tudi bremenski tok. Na sistemu, kjer je priključen elektromotor opravite dve meritvi – eno z odklopljenim in eno s priklopljenim kompenzatorjem jalove moči.

Rezultate podajte v obliki poročila, kjer tabelarično in v grafični obliki prikažete rezultate meritev po SIST EN 50160 ter tudi poteke električnih veličin (U , I , P , Q , $\cos\varphi$, harmonske komponente...). Rezultate komentirajte, opišite tudi vpliv priklopa kompenzatorja na razmere v omrežju.

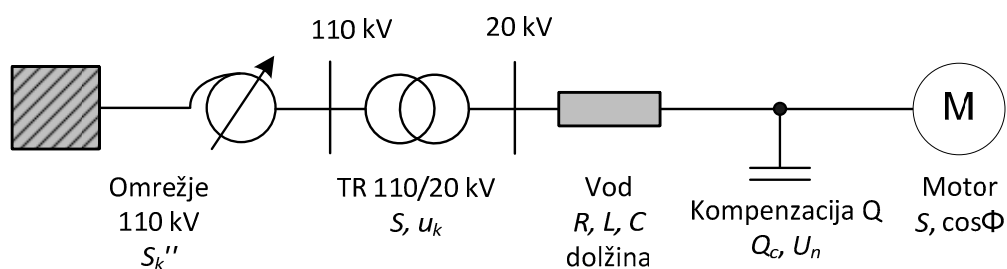


Slika 2: Meritve kakovosti napetosti - enopolna shema omrežja.

Vaja 5 Viri harmonskega popačenja

Po spodnji enopolni shemi sestavite laboratorijski model omrežja in izmerite trenutne poteke napetosti ter toka. Meritve opravite pri priklopljenem in pri odklopljenem kompenzatorju.

S pomočjo metode harmonskih vektorjev z referenčnimi impedancami določite deleže harmonskega popačenja napetosti in toka z omrežne ter z bremenske strani. Izračunajte deleže za osnovno harmonsko komponento in 5., 7., 11. ter 13. harmonik. Izračune izvedite v dveh delovnih točkah omrežja – eni, ko je kompenzator odklopljen in eni, ko je kompenzator priklopljen. Rezultate komentirajte.



Slika 2: Viri harmonskega popačenja - enopolna shema omrežja.