

Analiza ukrepov za zmanjšanje flikerja v prenosnem omrežju Slovenije

Boštjan Blažič¹, Dejan Matvoz², Igor Papič¹

¹ Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Tržaška 25, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

² Elektrotehniški inštitut Milan Vidmar, Hajdrihova 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: bostjan.blazic@fe.uni-lj.si

Povzetek. Visoke jakosti flikerja, ki nastopajo v večjem delu prenosnega omrežja Slovenije, onemogočajo zagotavljanje ustrežne kakovosti napetosti v distribucijskih omrežjih. Glavni vir flikerja so tri obločne peči, ki obratujejo v jekelnah Jesenice, Ravne in Štore. V članku predstavljamo in analiziramo dve različni možnosti za zmanjšanje vrednosti flikerja v prenosnem omrežju Slovenije. Prva možnost so sistemski ukrepi, s katerimi spreminjamo topologijo ali elemente omrežja, druga pa dinamična kompenzacija, ki jo dosežemo s pomočjo statičnega kompenzatorja ali statičnega var kompenzatorja. Učinkovitost rešitev ocenjujemo z uporabo simulacijskega modela prenosnega omrežja, izdelanega v programskem paketu PSCAD. V sklepnem delu našega članka predlagamo celovito rešitev za znižanje flikerja v prenosnem omrežju na vrednost, ki omogoča zagotavljanje ustrežne kakovosti napetosti na nižjih napetostnih ravneh. Pri iskanju rešitve smo upoštevali veljavna tehnična in ekonomska merila ter možnost izvedljivosti konkretnih investicij.

Ključne besede: fliker, prenosno omrežje Slovenije, statični kompenzator, serijska dušilka.

Analysis of Measures for Flicker Mitigation in the Slovenian Transmission Network

Extended abstract. In the paper we evaluate different solutions for mitigating flicker which is giving rise to serious problems in the Slovenian transmission network. Flicker, which is known to be one of the major disturbances affecting the voltage quality, is in Slovenia caused by three large arc furnaces located at the ironworks of Jesenice, Ravne and Štore. According to the standard SIST EN 50160 [1], flicker at the transmission level makes it difficult, or even impossible, to maintain an adequate voltage quality at the distribution level.

In order to solve the issue, we started by implementing in PSCAD a simulation model of the Slovenian transmission network (Fig. 1). Additionally to the basic network elements we also developed an arc furnace model and an IEC flicker meter model [2] – [4]. To allow for flicker compensation, we used our static var compensator (SVC) and static compensator (STATCOM) models (Figs. 2 and 3). With the network model we tried to capture as much as possible of the real network conditions [2]. Thus obtained flicker values are given in the first column of Table 1.

Solutions enabling flicker mitigation can be divided into two groups, i.e. system solutions and compensation solutions. The first group involves changes in the network topology and network elements, whereas the second group foresees solutions achieved by using devices permitting compensation of the fluctuating reactive power. By using STATCOM for the case of the Ravne arc-furnace compensation (Fig. 4) [5], the reactive power from the network is close to zero. The ultimate result is reduced fluctuation of the network voltage and consequently also lower flicker.

In our investigation of the possible measures for flicker mitigation, we took into account also the cost and practical feasibility aspects of the various available solutions. Based on

the simulation results, we propose solutions for the three above mentioned Slovenian ironworks. The issue of Jesenice can be solved by adopting separate feeding (using one of the two 400/110 kV transformers) by means of which the flicker would be reduced to an acceptable level; by installing a STATCOM at Ravne the flicker value would be reduced by a factor of 4, and in case of Štore it would be quite sufficient to use a series inductor since the flicker levels are here relatively low. Reduced flicker levels obtained by using the proposed solutions are shown in Table 1. Results obtained by taking individual measures are shown in columns 'Kompenzacija Jesenice', 'Kompenzacija Ravne' and 'Kompenzacija Štore', and results obtained by using the complete solution to the flicker issue copped with in the Slovenian power transmission network are given in the last column.

Keywords: flicker, Slovenian power transmission network, STATCOM, series inductor.

1 Uvod

Eden izmed parametrov kakovosti električne energije, kot jo določa standard SIST EN 50160 [1], je tudi fliker. Zaznamo ga kot spreminjanje svetilnosti svetil, ki je za človeka moteče in je posledica nihanja efektivne napetosti. Fliker povzročajo bremena, ki iz omrežja odjemajo nihajočo delovno in jalovo moč. Glavni vir flikerja v prenosnih omrežjih so zlasti obločne peči, v distribucijskih omrežjih pa npr. varilni in obdelovalni stroji, žage in drugi motorski pogoni s spremenljivo obremenitvijo. Za fliker v prenosnem omrežju lahko rečemo, da se od vira širi daleč po omrežju in da je ob

prehodu na nižje napetostne nivoje slabo dušen. Čeprav standard SIST EN 50160 velja le za nizkonapetostna (NN) in sredjenapetostna (SN) omrežja, ga lahko smiselno uporabimo tudi za visokonapetostna (VN) omrežja. Za ohranjanje flikerja v predpisanih mejah na distribucijskem nivoju je namreč nujno učinkovito omejevanje flikerja v prenosnem omrežju.

V prenosnem elektroenergetskem omrežju Slovenije so glavni povzročitelji flikerja obločne peči v jeklnah Ravne, Štore in Jesenice, kar potrjujejo številne meritve kakovosti napetosti, izvedene na različnih mestih prenosnega omrežja [2]. S pomočjo simulacijskih modelov prenosnega omrežja Slovenije je bilo ocenjeno, da je v relativno velikem delu omrežja fliker večji od 1 [2], [3], t.j. večji od mejne vrednosti, ki jo določa standard SIST EN 50160.

V tem članku bomo obravnavali različne možnosti zmanjšanja flikerja v prenosnem omrežju Slovenije. S pomočjo simulacij bomo preverili učinkovitost sistemskih ukrepov (npr. povečanje kratkostične moči prenosnega omrežja, vgradnja serijske dušilke, ločeno napajanje...) in dinamične kompenzacije s pomočjo statičnega var kompenzatorja (SVC) in statičnega kompenzatorja (STATCOM). Na koncu članka je predstavljena celovita rešitev problema flikerja v slovenskem prenosnem omrežju, pri čemer smo upoštevali tako tehnična kot tudi ekonomska merila.

1.1 Razširjanje flikerja po omrežju

Obločna peč je nelinearno breme, ki iz omrežja odjema nihajočo delovno in zlasti jalovo moč. Opišemo jo lahko tudi kot vir medharmonskih napetosti. Nivo flikerja na priključnem mestu peči na prenosno omrežje je odvisen od delovanja peči, kratkostične moči omrežja in od impedance transformatorjev ter vodov, prek katerih je peč priključena. Na razširjanje flikerja po omrežju pa poleg impedanc omrežja vplivata še obratovanje generatorjev (regulacija napetosti) in interakcija posameznih virov flikerja. Analiza razširjanja flikerja v omrežjih je mogoča v programih za simulacijo elektroenergetskih sistemov, kjer moramo pazljivo modelirati topologijo omrežja, generatorje in vire flikerja.

V nadaljevanju bo predstavljen simulacijski model prenosnega elektroenergetskega omrežja Slovenije, izdelan v programskem paketu PSCAD, s pomočjo katerega so bili ovrednoteni ukrepi za zmanjšanje flikerja.

2 Simulacijski model omrežja

Poleg simulacijskega modela omrežja Slovenije z osnovnimi elementi (vodi, transformatorji, linearna

bremena) so bili razviti še nelinearni model obločne peči, model flikermetra in modela SVC ter STATCOM. Model omrežja je opisan v nadaljevanju.

2.1 Opis modela omrežja

Na podlagi podatkov o topologiji in elementih omrežja ter z upoštevanjem rezultatov meritev [2] smo v PSCAD izdelali simulacijski model 110 kV, 220 kV in 400 kV elektroenergetskega omrežja Slovenije s prisotnimi dinamičnimi motnjami (fliker). Upoštewane so bile tudi povezave s tujino. Poenostavljena shema omrežja je prikazana na sliki 1.

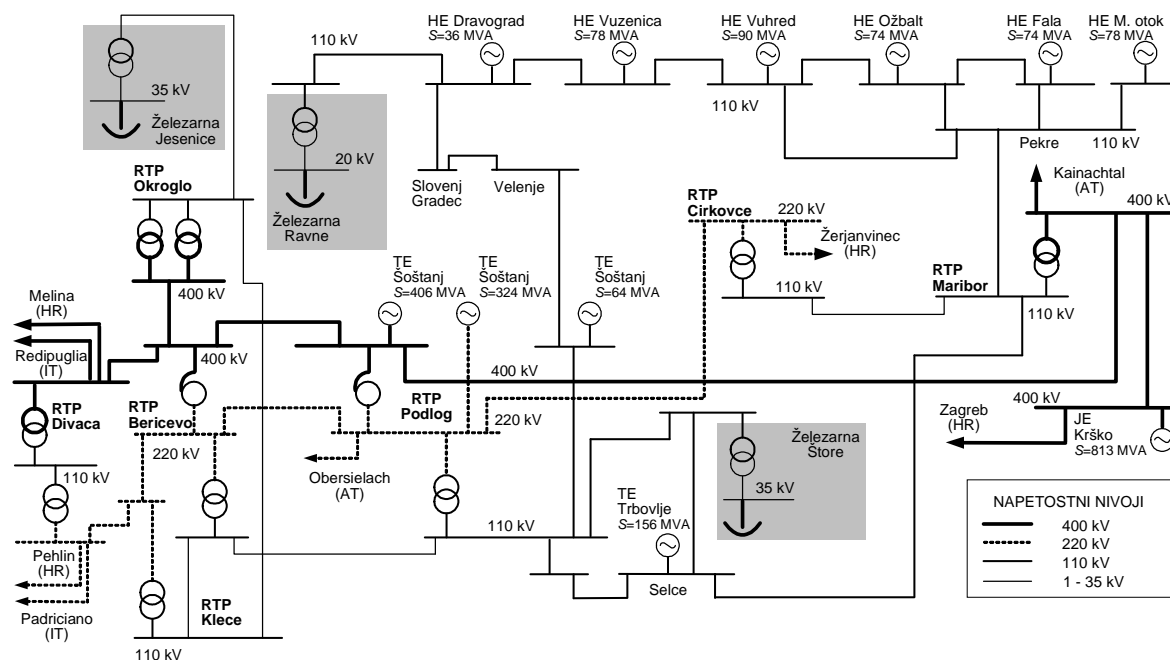
Dodatno so bili razviti še model obločne peči s sinusno modulacijo dolžine obloka in z upoštevanjem harmonskega popačenja ter model flikermetra za deterministične signale. V modelu omrežja smo preizkušali različne kompenzacijske ukrepe. Modela SVC in STATCOM sta bila izdelana na podlagi sedanje komercialne ponudbe izdelovalcev tovrstne opreme.

V model omrežja so vključene vse transformatorske postaje na napetostnih nivojih 400 kV, 220 kV in 110 kV, transformacija na nižje napetostne nivoje pa ni bila modelirana. Izjema so RTP, kjer so priključene obločne peči (RTP Železarna Ravne, RTP Lipa, RTP Jeklarna Jesenice), ki so bili natančneje modelirani. V model so bile zajete tudi vse elektrarne, priključene v VN omrežju. Manjši generatorji so bili modelirani z ekvivalentnim nadomestnim virom.

V simulacijskem programu je bila nelinearna obločna peč ponazorjena s tremi krmiljenimi enofaznimi napetostnimi viri, priključenimi na omrežje prek SN/NN pečnega transformatorja. Napetost virov se je spreminjala v skladu s spreminjanjem dolžine obloka. Za ovrednotenje flikerja v simulacijskem modelu je bil v skladu s standardoma EN 60868-0:2001 in EN 60868-0:2001 razvit model flikermetra. Modela sta bila natančneje predstavljena v [2] – [4].

2.2 Modela SVC in STATCOM

Pri simulaciji SVC-ja smo izbrali šestpulzno napravo, ki je v praksi najbolj razširjena. Naprava je sestavljena iz tiristorsko krmiljene dušilke in fiksno priključenih kondenzatorjev. Kondenzatorji zagotavljajo stalen vir kapacitivne jalove energije, s krmiljeno dušilko pa lahko generiramo želeno induktivno jalovo energije in s tem v določenem trenutku dosežemo želeno izmenjavo jalove energije SVC z omrežjem. Fiksni kondenzatorji so navadno izvedeni kot filterški kompenzatorji, uglašeni na določeno harmonsko frekvenco. Poenostavljena enopolna shema SVC je prikazana na sliki 2.



Slika 1: Poenostavljena enopolna shema prenosnega omrežja Slovenije
Figure 1: Simplified single-phase diagram of the Slovenian transmission network

STATCOM lahko na splošno opišemo kot napetostni vir s spremenljivo amplitudo, frekvenco in faznim kotom generirane napetosti [5]. Kompenzator temelji na 3-faznem napetostnem pretvorniku, ki je sestavljen iz močnostnih stikalnih elementov. Kompenzator je na omrežje priključen prek serijske dušilke ali sklopnega transformatorja. Izmenjava moči med kompenzatorjem in omrežjem je odvisna od napetostne razlike med generirano napetostjo pretvornika in omrežno napetostjo. Naprave večjih moči se praviloma uporabljajo kot vir jalove energije, saj je za izmenjavo delovne energije potreben energijski vir na enosmerni strani pretvornika.

3 Ukrepi za zmanjšanje flikerja

Ukrepe za zmanjšanje flikerja lahko razdelimo v dve skupini. V prvo spadajo sistemski ukrepi in zamenjave elementov elektroenergetskega sistema, v drugo pa kompenzacijske naprave, ki omogočajo dinamično kompenzacijo nihajoče jalove moči bremena.

S sistemskimi ukrepi želimo povečati kratkostično moč omrežja na priključnem mestu peči (zmanjšanje impedance omrežja), ali pa povečati impedanco med oblačno pečjo in prenosnim omrežjem. Pri tem moramo upoštevati, da omenjene rešitve vplivajo na obratovanje peči in tudi na razširjanje flikerja po omrežju.

Napravi, kot sta SVC in STATCOM, omogočata znižanje flikerja s kompenzacijo nihajoče jalove moči. Kompenzirana oblačna peč odjema iz omrežja manj nihajoče jalove moči, kar zmanjša nihanje napetosti in

posledično tudi fliker. Fliker dejansko povzroča tudi nihajoča delovna moč, vendar je ta komponenta pri oblačnih pečeh manjša od nihajoče jalove moči. Poleg tega v prenosnem omrežju delovna moč manj vpliva na napetost kot jalova.

S pomočjo simulacijskega modela prenosnega omrežja Slovenije smo preizkusili učinkovitost različnih ukrepov, ki omogočajo znižanje flikerja. Rezultati so predstavljeni v nadaljevanju.

3.1 Vrednosti flikerja v prenosnem omrežju Slovenije

Simulacijski model omrežja je bil umerjen na podlagi merilnih rezultatov [2] in na podlagi razpoložljivih podatkov o obratovanju generatorjev. S simulacijo dobljene vrednosti flikerja v različnih RTP in na različnih napetostnih nivojih so podane v tabeli 1, stolpec 'Obstoječe stanje'.

3.2 Sistemski ukrepi za zmanjšanje flikerja

S pomočjo simulacij smo raziskali razmere glede flikerja v omrežju ob uvedbi določenih sistemskih ukrepov. Za vsako od treh lokacij (Ravne, Jesenice, Štore) smo glede na izvedljivost preverili učinkovitost različnih sprememb topologije in elementov omrežja, ki bi omogočile znižanje vrednosti flikerja.

Na področju jeklarne Ravne je bil cilj sistemskih rešitev predvsem povečanje kratkostično moči na priključnem mestu RTP Železarna Ravne. Simuliran je bil vpliv naslednjih sistemskih rešitev:

- V omrežje je dodan 110 kV daljnovod TE Šoštanj–HE Dravograd.
- V omrežje je dodan 110 kV daljnovod TE Šoštanj–HE Dravograd, enosistemski 110 kV daljnovod HE Dravograd–RTP Železarna Ravne pa je zamenjan z dvosistemskim daljnovodom.
- V omrežje je dodan 110 kV neposredni daljnovod TE Šoštanj–RTP Železarna Ravne.
- V omrežje je dodan 220 kV daljnovod RTP Podlog–RTP Železarna Ravne in transformator 220/110 kV, 100 MVA, v RTP Železarna Ravne.
- Priključitev dodatne elektrarne (plin) na območju Raven.

Izmed preizkušenih sistemskih ukrepov bi največje zmanjšanje flikerja omogočila gradnja dodatnega 220 kV daljnovođa RTP Podlog–RTP Železarna Ravne. Fliker v RTP Železarna Ravne (110 kV) bi se zmanjšal za približno 30 odstotkov, poleg tega bi se zmanjšal tudi fliker v vseh opazovanih RTP. Rešitev sicer ni najbolj verjetna, saj se 220 kV nivo opušča. Na 110 kV napetostnem nivoju je najugodnejša rešitev dodatni 110 kV daljnovod iz TE Šoštanj do HE Dravograd in dodatni daljnovod HE Dravograd–RTP Železarna Ravne. Fliker na 110 kV v RTP Železarna Ravne bi se zmanjšal za približno 25 odstotkov, zmanjšal bi se pa tudi fliker na celotnem območju Koroške. Na drugi strani pa povzroči ta ukrep dvig flikerja v Podlogu (za približno 30 odstotkov) in tudi v sosednjih RTP. Dodatna generacija nazivne moči 100 MVA priključena na 110 kV v RTP Železarna Ravne, bi omogočila zmanjšanje flikerja v 110 kV omrežju za približno 15 odstotkov. Rezultati kažejo, da zaradi visokega flikerja na območju Raven (več kot 3), sistemski ukrepi ne omogočajo zadostnega znižanja flikerja.

Na območju jeklarne Štore je kratkostična moč omrežja visoka, poleg tega pa je gradnja dodatnega daljnovođa malo verjetna.

Na območju RTP Okroglo, kjer je priključen RTP Jeklarna Jesenice, smo proučili vpliv nekaterih predvidenih sprememb v omrežju. Simulirane so bile naslednje obratovalne situacije:

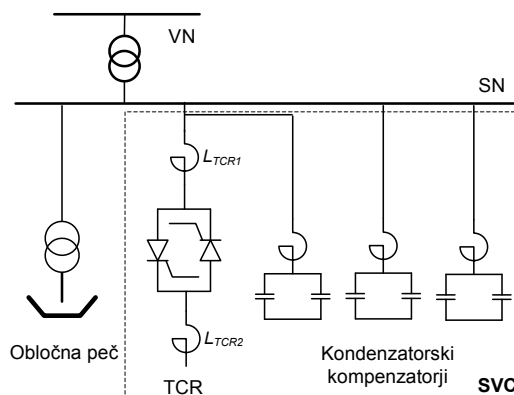
- Nov transformator 400/110 kV v RTP Okroglo napaja le RTP Jeklarna Jesenice (prek DV Jeklarna I in Jeklarna II).
- Dodana je bila povezava 400 kV RTP Okroglo–RTP Udine.

Iz rezultatov simulacij lahko razberemo, da kadar nov transformator napaja le RTP Jeklarna (prek daljnovođov Jeklarna 1 in Jeklarna 2), se fliker v RTP Jeklarna poveča, v RTP Okroglo pa zmanjša, in sicer za približno 55 odstotkov, kar je precej pod določili standarda SIST EN 50160. Fliker se zmanjša tudi v preostalih RTP na Gorenjskem. Do povečanja pride v 400 kV RTP Beričevo (za približno 10 odstotkov). V 110 kV RTP Beričevo pa je fliker za 25 odstotkov nižji od izhodišnega. Povzamemo lahko, da bi uporaba transformatorja, ki bi napajal le RTP Jeklarna Jesenice,

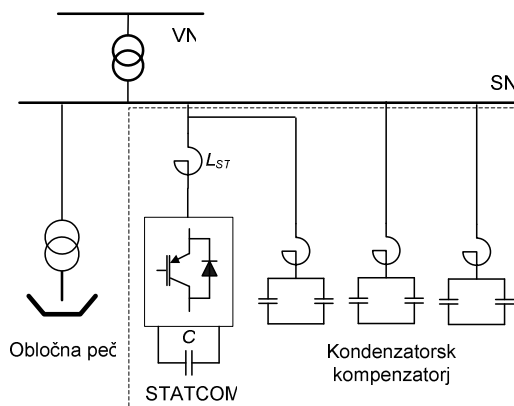
precej znižala nivoje flikerja na tem področju. Povečal pa bi se fliker v sami jeklarni. Nov daljnovod RTP Okroglo–RTP Udine bi nivo flikerja v RTP Okroglo 110 kV znižal za približno 20 odstotkov.

3.3 Vgradnja serijske dušilke

Serijska dušilka poveča impedanco med obločno pečjo in omrežjem, posledica pa je manjši fliker v VN omrežju. Serijska dušilka je vgrajena pred pečni transformator in močno vpliva na obratovanje obločne peči. Z vgradnjo serijske dušilke se poveča poraba jalove moči (osnovna komponenta). Ker je serijska dušilka relativno velika (večja dušilka pomeni tudi manjši fliker), se zaradi padca napetosti na njej zmanjša tudi največja delovna moč obločne peči. Za ohranjanje enake delovne moči je treba pri vgradnji dušilke povečati sekundarno napetost pečnega transformatorja. Zato največjo dušilko, ki jo lahko serijsko vgradimo, omejuje najvišja napetost, ki jo lahko nastavimo na sekundarju pečnega transformatorja.



Slika 2: Shema SVC
Figure 2: SVC diagram



Slika 3: Shema STATCOM
Figure 3: STATCOM diagram

Merilno mesto	Napetostni nivo	Fliker P_{It}				
		Obstoječe stanje	Kompensacija Ravne	Kompensacija Štore	Kompensacija Jesenice	Kompensacija skupaj
RTP Jeklarna Jesenice	110 kV	3,28	3,25	3,13	4,73	4,65
RTP Okroglo	110 kV	1,24	1,23	1,10	0,56	0,42
RTP Kleče	220 kV	0,54	0,52	0,42	0,48	0,37
RTP Kleče	110 kV	0,92	0,92	0,78	0,52	0,38
RTP Beričevo	400 kV	0,51	0,50	0,40	0,56	0,44
RTP Beričevo	110 kV	0,72	0,71	0,52	0,55	0,33
RTP Lj Center	110 kV	0,90	0,90	0,76	0,51	0,37
RTP Divača	110 kV	0,16	0,15	0,12	0,16	0,12
RTP Železarna Ravne	110 kV	3,26	0,76	3,28	3,27	0,73
RTP Dravograd	110 kV	2,22	0,62	2,24	2,23	0,53
RTP Šoštanj	110 kV	0,94	0,67	0,86	0,93	0,37
RTP Slovenj Gradec	110 kV	1,80	0,63	1,81	1,80	0,46
RTP Podlog	220 kV	0,40	0,37	0,30	0,41	0,24
RTP Podlog	110 kV	0,88	0,71	0,74	0,86	0,38
RTP Lipa – Žel. Štore	110 kV	1,15	1,02	0,91	1,12	0,59
RTP Maribor	110 kV	0,56	0,34	0,54	0,56	0,20
RTP Pekre	110 kV	0,68	0,35	0,66	0,68	0,22
RTP Krško	110 kV	0,45	0,40	0,32	0,42	0,18
RTP Hudo	110 kV	0,48	0,44	0,33	0,44	0,19

Tabela 1: Fliker na izbranih merilnih mestih (rezultatu simulacij) – obstoječe stanje in kompenzacijski ukrepi

Table 1: Flicker at the selected measurement points (simulation results) – current situation and mitigation measures

V jeklarni Ravne je ob upoštevanju nazivne moči peči mogoča vgradnja dušilke z induktivnostjo največ $L = 5,1$ mH (moč dušilke je približno $S = 8$ MVA). S tem se fliker na 110 kV v RTP Železarna Ravne zmanjša za približno 25 odstotkov. Za 20 – 25 odstotkov bi se zmanjšal tudi fliker v ostalem delu omrežja. V jeklarni Štore je mogoča vgradnja dušilke $L = 18,0$ mH (moč dušilke je približno $S = 8,5$ MVA). S tem se fliker na 110 kV v RTP Lipa zmanjša za približno 20 odstotkov. V jeklarni Jesenice je serijska dušilka že vgrajena. Iz rezultatov sledi, da bi vgradnja serijske dušilke lahko odpravila problem na območju jeklarni Štore, kjer bi omogočila znižanje flikerja na vrednost približno 0,9. Upoštevati moramo, da na fliker v RTP Lipa vpliva tudi jeklarna Ravne.

3.4 Kompensacija flikerja z SVC in STATCOM

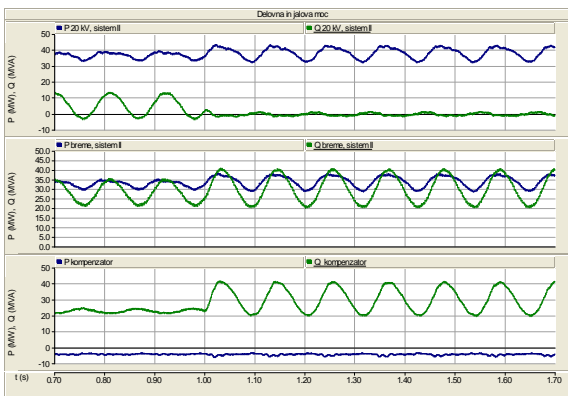
SVC in STATCOM omogočata dinamično kompenzacijo nihajoče jalove moči, ki jo obločna peč odjema iz omrežja. S kompenzacijo le-te se zmanjša nihanje efektivne vrednosti napetosti in s tem tudi fliker. Prednosti STATCOM pred SVC, ki vsebuje tiristorsko krmiljene dušilke, so predvsem boljša dinamika obratovanja (in s tem boljša kompenzacija flikerja) ter tudi majhna velikost reaktivnih elementov. Prednost SVC pa so vsekakor nižja cena, večja zanesljivost in nekoliko nižje obratovalne izgube.

Na sliki 4 je prikazano delovanje STATCOM, ki je bil uporabljen v simulaciji kompenzacije obločne peči v jeklarni Ravne. Na prvem grafu sta prikazani delovna in jalova moč iz omrežja, drugi graf prikazuje delovno in jalovo moč peči, tretji pa moči kompenzatorja. Kompensator začne delovati v času $t = 1$ s. Vidimo, da je po začetku delovanja kompenzatorja jalova moč iz omrežja tako rekoč enaka nič, posledično se zmanjša tudi nihanje napetosti. Za delovanje SVC bi dobili podobne grafe, le da zaradi slabše dinamike kompenzacija nihajoče jalove moči ni popolna. Glede na rezultate simulacij in tudi glede na izkušnje izdelovalcev opreme omogoča SVC zmanjšanje flikerja približno za faktor 2, STATCOM pa približno za 4. Ob upoštevanju razmer na območju jeklarni Ravne je vgradnja STATCOM najverjetneje edina rešitev za zadostno zmanjšanje flikerja na tem območju.

Poleg znižanja flikerja SVC in STATCOM pozitivno vplivata tudi na obratovanje peči. Mogoče je povečanje moči, zmanjšajo se tudi časi taljenja in obraba elektrod.

4 Celovita rešitev problematike flikerja v prenosnem omrežju Slovenije

Rezultati simulacij so potrdili, da je medsebojni vpliv peči v jeklarnah Jesenice, Ravne in Štore sicer majhen, vendar ni zanemarljiv. Zlasti jeklarna Jesenice je električno precej daleč od preostalih dveh. S tega



Slika 4: Delovanje STATCOM
Figure 4: STATCOM operation

stališča je mogoče pristopiti k reševanju problematike flikerja tudi pri vsaki obločni peči posebej.

V jeklarni Jesenice sta že vgrajena serijska dušilka in SVC, kjer je slednji namenjen le korekciji $\cos\phi$ in ne zmanjšanju flikerja. Problem flikerja na območju Gorenjske bi lahko odpravili z ločenim napajanjem RTP Jeklarna preko transformatorja 400/110 kV v RTP Okroglo. V kolikor ta možnost ni izvedljiva, preostane le vgradnja STATCOM na območju RTP Jeklarna. V tabeli 1 (stolpec 'Kompenzacija Jesenice') so prikazane vrednosti flikerja, ko je RTP Jeklarna napajana ločeno. Kompenzacija v jeklarnah Štore in Ravne ni vključena.

Na priključnem mestu jeklarne Štore (RTP Lipa) je kratkostična moč relativno visoka in zaradi tega je fliker relativno nizek. Za znižanje flikerja na vrednost približno ena bi zadoščala vgradnja serijske dušilke. V tabeli 1 (stolpec 'Kompenzacija Štore') so prikazane vrednosti flikerja ob vgradnji serijske dušilke. V tem primeru kompenzacija v jeklarnah Jesenice in Ravne ni vključena.

Na območju jeklarne Ravne je pravzaprav edina možnost, ki omogoča ustrezno znižanje flikerja, vgradnja STATCOM v RTP Železarna Ravne. V tabeli 1 (stolpec 'Kompenzacija Ravne') so prikazane vrednosti flikerja pri uporabi statičnega kompenzatorja. Kompenzacija v jeklarnah Štore in Jesenice ni vključena.

V tabeli 1, stolpcu 'Kompenzacija skupaj', pa so navedeni rezultati, ko so kompenzacijski ukrepi izvedeni pri vseh treh jeklarnah: ločeno napajanje RTP Jeklarna Jesenice, serijska dušilka v jeklarni Štore in STATCOM v RTP Železarna Ravne. Opisani sklop ukrepov bi omogočil znižanje flikerja v prenosnem omrežju Slovenije na vrednosti pod 0,9, kar bi omogočilo tudi zagotavljanje ustrezne kakovosti napetosti na distribucijskem nivoju.

5 Literatura

- [1] SIST EN 50160:2001, "Značilnosti napetosti v javnih razdelilnih omrežjih", standard.
- [2] B. Blažič et.al., "Analiza ravni flikerja v prenosnem omrežju Slovenije", Elektroteh. vestn., let. 73, št. 5, str. 291-296, 2006.
- [3] I. Papič, B. Blažič, et.al., "Analiza kakovosti napetosti v prenosnem omrežju in smernice za postavitve permanentnega monitoringa", *raziskovalna naloga*, Fakulteta za elektrotehniko, marec 2005.
- [4] I. Papič, B. Blažič, et. al., "Analiza vpliva obratovanja porabnikov na ZGK železarna Ravne in ZGK železarne Štore na kakovost napetosti v prenosnem omrežju", *raziskovalna naloga*, Fakulteta za elektrotehniko, januar 2005.
- [5] B. Blažič, I. Papič, "Kompenzacija flikerja s statičnim kompenzatorjem", Sedma konferenca slovenskih elektroenergetikov, Velenje, *Zbornik CIGRÉ*, 2005.

Boštjan Blažič je diplomiral leta 2000, magistriral leta 2003 in doktoriral leta 2005 na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani, kjer je tudi zaposlen kot asistent. Njegovo delo zajema področji kakovosti električne energije in sodobnih kompenzacijskih naprav.

Dejan Matvoz je diplomiral leta 1999 in magistriral leta 2004 na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. Zaposlen je na Elektroinštitutu Milan Vidmar kot raziskovalec. Njegovo področje dela zajema kakovost električne energije, analizo dinamičnih pojavov v omrežju in vodenje ter obratovanje elektroenergetskega omrežja.

Igor Papič je diplomiral leta 1992, magistriral leta 1995 in doktoriral leta 1998 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. V letih 1994-1996 je bil na izpopolnjevanju pri Siemensovem oddelku za prenos in razdelitev električne energije v Erlangnu v Nemčiji. Od leta 2004 je izredni profesor na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. V letu 2001 je bil gostujoči profesor na University of Manitoba v Winnipegu (Kanada). Njegova raziskovalna dejavnost vključuje aktivne kompenzatorje, naprave FACTS in kakovost električne energije.