

РАД ТЕРМОБЛОКОВА ТЕ „НИКОЛА ТЕСЛА“ – А, ОБРЕНОВАЦ У СИСТЕМУ СЕКУНДАРНЕ РЕГУЛАЦИЈЕ УЧЕСТАНОСТИ И СНАГЕ РАЗМЕНЕ И УТИЦАЈ НА ПАРАМЕТРЕ РАДА ПАРНОГ КОТЛА

Александар Латиновић¹, Бошко Буха, Зоран Божовић
ЈП ЕПС, Дирекција за производњу енергије, Београд
Љубиша Михаиловић, Саво Безмаревић, Звездан Караћ, Немања Самарцић
ПД Термоелектрана “Никола Тесла А”, Обреновац
Никола Обрадовић, Мирела Ђурђевић
ЈП Електро mreжа Србије, Београд

Апстракт – Ради одржања учестаности и уговорене снаге размене са суседима, а у складу са правилима рада у Европској интерконекцији (ЕНТСО – Е Континенална Европа) ЈП Електро mreжа Србије (ЈП ЕМС) је у обавези да обезбеди резерву активне снаге за потребе вршења секундарне регулације унутар електроенергетског система Србије. Услугу секундарне регулације пружају електране ЈП Електропривреде Србије (ЈП ЕПС). Донедавно, само су хидроелектране пружале услугу секундарне регулације. Потребна резерва активне снаге у секундарној регулацији није повремено била остварива због екстремних дотока (било високих или ниских) или због неодложних ремонта. Такође, садашње резерве у хидроелектранама за потребе секундарне регулације неће бити довољне ако се остваре планови за градњу нових, стохастичких, обновљивих извора енергије. Због наведеног било је неопходно увођење термоблокова у систем секундарне регулације учестаности и снаге размене.

Термоблокови у електрани Никола Тесла А у Обреновцу, снаге веће од 300MW (А3, А4, А5 и А6), после обављених реконструкција и модернизација, сукцесивно су пуштани у рад у секундарној регулацији од фебруара до јуна 2013. године. Укључењу у систем секундарне регулације претходило је увођење савремених дигиталних турбинских регулатора на свим блоковима ТЕ „Никола Тесла“ – А, који су својом програмабилношћу одговорили на све потребе централног регулатора за управљање учестаношћу и снагом размене. У овом раду описано је тестирање термоблокова у раду у секундарној регулацији, пробни рад и експлоатациони проблеми. У раду су приказане промене основних параметра котловског постројења када је термоблок укључен у секундарну регулацију.

Кључне речи: секундарна регулација, АГЦ, учестаност, снага размене, парни котло

UNITS AT THERMAL POWER PLANT "NIKOLA TESLA" A, OBRENOVAC IN SECONDARY FREQUENCY CONTROL AND INFLUENCE ON PARAMETERS OF THE BOILER PLANT

Abstract – In order to keep or restore the system frequency to its set-point value of 50 Hz and power interchanges to their programmed scheduled values, according the rules of the European interconnection (ENTSO – E Continental Europe), Serbian transmission system and market operator (EMS) is responsible to provide a reserve for the secondary control within the Serbian power system. Secondary control service is provided by power plants of the PE Electric Power Industry of Serbia. Until recently, only hydro power plants provide services of the secondary control. Provision of the required reserve for the secondary control sometimes is not possible because of too high or too low

¹ e-mail аутора: aleksandar.latinovic@eps.rs

inflow or because of urgent overhaul. Also, the current reserves at hydro power plants for the secondary control may not be sufficient if the plan to build a new stochastic, renewable energy sources achieves in the near future. Therefore, it is necessary to introduce some of the thermal power plants in secondary control.

Thermal units at the power plant Nikola Tesla A Obrenovac, with capacity greater than 300MW (A3, A4, A5 and A6), after modernization and reconstruction were successively introducing in secondary control from February to June 2013. Before introducing this thermal units in secondary control it was necessary to implement the modern digital turbine controllers, which are able to respond on all the needs of a network controller for secondary control. This paper describes tests of the secondary control at thermal units, probation operation in secondary control and problems that occur. The paper presents the main parameters of the boiler plant during operation of thermal unit in secondary control.

Key words: *secondary control, AGC, frequency, power exchange, boiler plant*

1 УВОД

Континуалан рад електроенергетског система захтева од оператора преносног система да обезбеди константан баланс између производње и потрошње електричне енергије. Одступање између производње и потрошње имаће за последицу промену учестаности и одступање уговорене снаге размене на интерконективним далеководима према суседним земљама. Процес у коме оператор система аутоматски балансира регулациону област за коју је надлежан назива се секундарна регулација учестаности и снаге размене. Секундарна регулација узима у обзир одступање учестаности од номиналне вредности и одступање токова снаге на интерконективним далеководима од уговорених планова размене. На основу поменутих одступања се од стране централног, мрежног регулатора шаљу командне за промену производње и расподеле активне снаге на производним јединицама које су укључене у систем секундарне регулације.

2 ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКИ СИСТЕМ СРБИЈЕ И СЕКУНДАРНА РЕГУЛАЦИЈА

Електроенергетски систем Србије је регулациона област, а ЈП ЕМС је оператор преносног система. Централни регулатор за управљање регулацијом учестаности и снаге размене (AGC – *Automatic Generation Control*,) инсталиран је у националном диспечерском центру (НДЦ) у ЕМС. AGC систем *eterra – generation* је инсталиран у оквиру *Alstom SCADA/EMS* система. За потребе вршења функције секундарне регулације AGC систем располаже са тренутним мерењима токова снаге на интерконективним далеководима, са мерењем учестаности система и са мерењима тренутних снага производних јединица које су укључене у систем секундарне регулације. Поред наведених мерења AGC систем располаже и са сатним распоредом уговорених снага размене са суседима и са могућим опсезима промена снаге производних јединица које су укључене у систем секундарне регулације. На основу одступања уговорених снага размене и одступања учестаности формира се регулациона грешка регулационе области. Регулациона грешка се израчунава у реалном времену а улога AGC система, односно система секундарне регулације, је да регулациону грешку доведе на нулту вредност. AGC систем има остварену комуникацију са свим производним јединицама које су у систему секундарне регулације и према потреби мења задату снагу производне јединице тако што шаље импулсе за промену задате снаге на више или на ниже.

Услугу секундарне регулације пружају поједине електране ЈП Електропривреде Србије (ЈП ЕПС). Одабране електране, са провереним и добро подешеним системом регулације активне снаге, су у систему секундарне регулације и имају остварену комуникацију са НДЦ, односно са AGC системом. Према правилима *EHTCO – E* тачно је одређена потребна резерва секундарне

регулације која се рачуна за сваки месец. ЈП ЕПС при планирању производње активне снаге на производним јединицама укљученим у секундарну регулацију оставља одређену резерву у односу на максимални капацитет производне јединице и на тај начин се остварује потребна резерва секундарне регулације. AGC систем шаље импулсе на више или на ниже и на тај начин мења задату снагу производне јединице у границама остављене резерве.

Донедавно, само су хидроелектране пружале услугу секундарне регулације. Хидроелектране које су укључене у систем секундарне регулације су ХЕ Ђердап 1, ХЕ Бистрица и ХЕ и РХЕ Бајина Башта. Хидроелектране имају шири опсег радних оптерећења и вишеструко бржу промену производње активне снаге у односу на термоелектране и то је разлог зашто су хидроелектране у повлашћеном положају у односу на термоелектране при одабиру производних јединица предвиђених за рад у секундарној регулацији. Међутим, потребна резерва активне снаге у секундарној регулацији није повремено била остварива због екстремних дотока (било високих или ниских) или због неодложних ремонта. Када су дотоци високи и када постоји прелив, није логично да се смањује производња хидроелектране да би се остварила резерва за потребе секундарне регулације. У том случају прелив би био већи као и неповратно изгубљена енергија. Слична ситуација је и при ниским дотоцима, само је у том случају опсег секундарне регулације веома узак јер је доток близу минималног дотока и не преостаје места за промене снаге. У случају ремонта – ревитализација одређени хидро агрегати су у дужем периоду не расположиви за рад у систему секундарне регулације.

Такође, садашње резерве у хидроелектранама за потребе секундарне регулације неће бити довољне ако се остваре планови за изградњу нових, стохастичких, обновљивих извора енергије. За сваку потенцијалну електрану, чија производња се не може прецизно предвидети, мора се обезбедити додатна резерва у секундарној регулацији. Због свега наведеног било је неопходно увођење термоблокова у систем секундарне регулације учестаности и снаге размене.

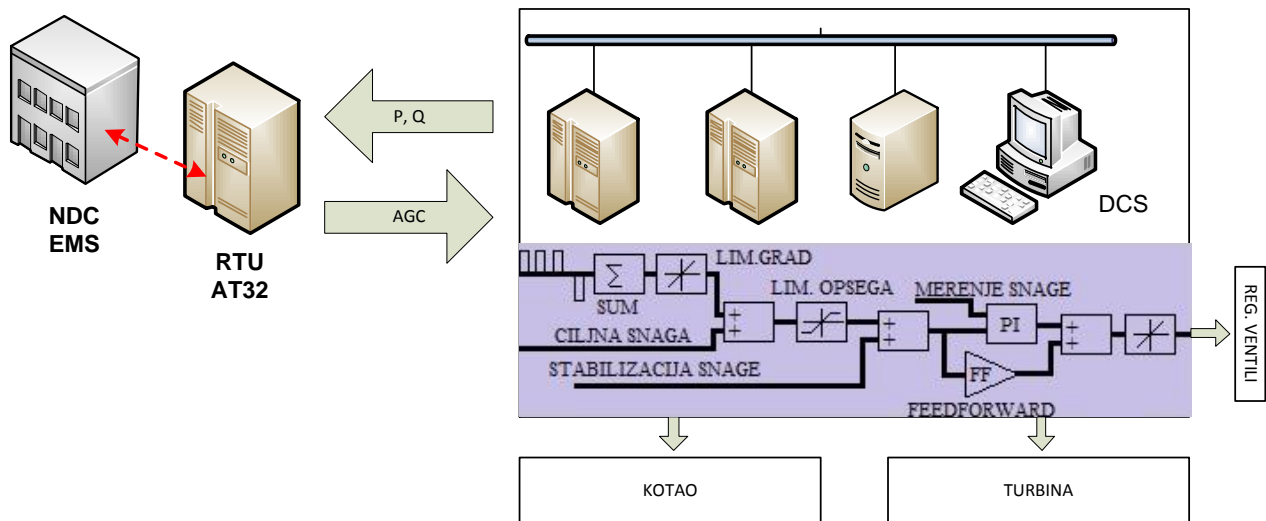
3 МОДЕРНИЗОВАНИ УПРАВЉАЧКО-РЕГУЛАЦИОНИ СИСТЕМ У ТЕНТ-А И РЕАЛИЗАЦИЈА СЕКУНДАРНЕ РЕГУЛАЦИЈЕ

У последњих десетак година модернизовани су сви управљачко-регулациони системи у термоелектрани „Никола Тесла А“ (ТЕНТ А) у Обреновцу. Инсталирани су дигитални системи управљања (ДЦС) са софтверском имплементацијом регулационих кругова што омогућава координацију, повезивање и олакшано подешавање регулационих петљи. На блоковима „ТЕНТ А“ регулационо – управљачки системи (ДЦС – турбински регулатор) инсталирани су од стране следећих произвођача: А3 Сименс – Сименс; А5 Сименс – Алстом; А4 и А6 ИМП Пупин – Алстом. Остварена је боља повезаност котловске и турбинске регулације, што је био један од предуслова за стабилан рад блока као целине. Велика предност дигиталних система управљања и регулације је та што су то програмабилни системи, прилагодљиви за нове захтеве.

Модернизација управљачко регулационих система и потреба за увођењем нових производних јединица у систем секундарне регулације условили су да се систем секундарне регулације омогући на блокови А3, А4, А5 и А6 у ТЕНТ А. Одабрани су блокови снаге преко 300 MW јер су енергетски ефикаснији и зато што блокови од 200 MW конструкционо нису погодни.

Комуникација са НДЦ остварена је преко РТУ АТ32, као на слици 1. Потом се команде из НДЦ прослеђују жичаним путем преко хардверског интерфејса на SCADA/DCS систем блока. Из НДЦ стижу импулси који мењају циљну активну снагу на више или на ниже, зависно од потребе. Између референтне вредности задате снаге, која се прослеђује као референца ПИ регулатору снаге, и циљне вредности снаге постоји ограничавач градијента промене (лимитер градијента). Ограничавач градијента промене активне снаге (на даље градијент снаге) је кључан

јер одређује максималну брзину промене активне снаге блока. Градијент снаге је варијабилан, односно подесив је са управљачких станица. У случају промене квалитета угља или неких сметњи или ограничења у раду блока, оператору блока је дозвољено да мења градијент снаге, а потом обавести диспечера.



Слика 1: Скица комуникационог система, којим се повезују регулационо-управљачке јединице блока А5 у ТЕНТ и АГЦ у НДЦ, и алгоритма турбинског регулатора када је блок укључен у систем секундарне регулације

4 ИСПИТИВАЊЕ БЛОКОВА У „ТЕНТ А“ У ОБРЕНОВЦУ У РАДУ У СЕКУНДАРНОЈ РЕГУЛАЦИЈИ И РЕАЛАН РАД БЛОКАВА У СИСТЕМУ СЕКУНДАРНЕ РЕГУЛАЦИЈЕ

Испитивање блокова је рађено појединачно, блок по блок. Поступак испитивања започет је верификацијом мерења и управљачких сигнала, односно провером комуникације између НДЦ и ТЕНТ А. Након успостављања комуникације вршено је тестирање одзива блока на ручно слање импулса из НДЦ. Тестирање је рађено у отвореној петљи. На основу снимљеног одзива подешен је централни регулатор секундарне регулације у НДЦ, односно компонента централног регулатора која се односи на предметни испитивани блок. Утврђено је да један импулс промени апсолутну вредност циљне снаге на генератору за 1 MW, односно за 0.91 MW на прагу електране. Након подешања централног регулатора, следећи корак испитивања је реалан рад блока у систему секундарне регулације.

Сва четири блока у „ТЕНТ А“ су задовољавајуће и стабилно радили при пробном реалном раду у систему секундарне регулације. У наставку рада обрађен је рад блока А5. Сви блокови су подједнако добро радили у систему секундарне регулације и проблематика која се појављује је заједничка за сва четири блока, тако да није од значаја који блок ће бити приказан.

Блок А5 пре модернизације имао је номиналну активну снагу на прагу електране од 280 MW. Након модернизације и уградње нове турбине блок је у стању да стабилно ради са активном снагом на прагу електране од 320 MW. На слици 2 приказан је шеснаесточасовни пробни рад блока А5 у систему секундарне регулације.

На слици 2 је жутом бојом означен налог од стране секундарне регулације (из НДЦ), зеленом бојом приказана је снага задата турбинском регулатору, снага после градијента, а црвеном остварена снага термоблока на генератору. На задату снагу турбинског регулатора поред циљне

снаге, на коју утицај врши секундарна регулација, утиче и стабилизација снаге. Стабилизација снаге је узрок размимоилажења задате и остварене снаге. Механизам деловања стабилизације снаге описан је у наставку рада.



Слика 2: Пробни реални рад блока А5 у систему секундарне регулације

У систему секундарне регулације блок А5 је радио у опсегу 270-330MW (снага генератора). Градијент подизања/спуштања снаге у току пробног рада блока био је 3MW/min. Блок није радио са максималним градијентом снаге због стабилности рада. На слици 2 се види да је блок А5 задовољавајуће пратио захтеве из НДЦ за променом снаге.

5 ПОДЕШЕЊА ПАРАМЕТАРА СЕКУНДАРНЕ РЕГУЛАЦИЈЕ НА БЛОКОВИМА „ТЕНТ А“

У периоду од фебруара до јуна 2013. године испитани су и пуштени у рад у систему секундарне регулације блокови А3, А4, А5 и А6. Сви блокови показали су задовољавајуће одзиве при променама задате активне снаге које диктира потрошња у електроенергетском систему Србије. У табели 1 приказани су параметри секундарне регулације који су утврђени по завршетку испитивања сва четири блока.

Табела 1: Параметри секундарне регулације на блоковима снаге веће од 300MW у „ТЕНТ А“ у Обреновцу утврђени после испитивања

	А3	А4	А5	А6
Номинална снага на прагу	280 MW	280 MW	320 MW	320 MW
Опсег секундарне регулације	235 – 280 MW	235 – 280 MW	250 – 310 MW	245 – 285 MW
Максимални градијент снаге	5MW/min	5MW/min	5MW/min	5MW/min
Подешени градијент снаге	2MW/min	3MW/min	3MW/min	2MW/min

Термоблокови у односу на хидроагрегате имају многоструко више чинилаца који могу да угрозе или ограниче производњу. Промена квалитета угља, техничка ограничења или квар неког елемента постројења су честе појаве на термоелектранама. Секундарна регулација уноси додатне поремећаје међајући активну снагу агрегата и зато је корисно да секундарна регулација буде искључена при појави неке непредвиђене ситуације. Оператерима блока остављена је могућност да у сваком тренутку искључе секундарну регулацију, могућност да коригују максимални градијент снаге и да промене опсег рада секундарне регулације.

6 ЕКСПЛОАТАЦИОНИ ПРОБЛЕМИ ПРИ РАДУ БЛОКОВА У СИСТЕМУ СЕКУНДАРНЕ РЕГУЛАЦИЈЕ

Током пробног реалног рада блокова А3, А4, А5 и А6 у систему секундарне регулације у реалним условима јавио се проблем различите оптерећености агрегата. При слању импулса за промену циљне снаге од стране AGC примећено је да се више оптерећују агрегати са ширим опсегом снаге. Примера ради, узмимо да у систему секундарне регулације групно раде блокови А3 и А5. Блок А5 има опсег рада од 60 MW, а блок А3 опсег од 45 MW. AGC при одабиру блока којем ће слати импулсе прво упоређује колико који блок има резерве у активној снази. Резерва представља разлику тренутне циљне снаге и граница рада секундарне регулације. Постоји резерва на повећање и на смањење снаге. AGC импулсе шаље блоку који има већу резерву. Само ће блок А5 добијати импулсе док год резерва блока А5 не постане једнака резерви блока А3. Изједначавањем резерви AGC подједнако оптерећује блокове. Описана ситуација је на неки начин и логична, али постојали су временски периоди са захтевима за ниским променама снаге од стране секундарне регулације на које је реаговао само блок А5. Са друге стране, блоку А5 је после ревитализације повећана снага, на коју није почетно пројектован, што са собом носи одређене последице. Проблем неједнаког оптерећивања блокова може се решити тако да AGC пропорционално резерви оптерећује сваки блок. Проблем је решен изједначавањем ширине опсега секундарне регулације на сваком блоку, табела 2.

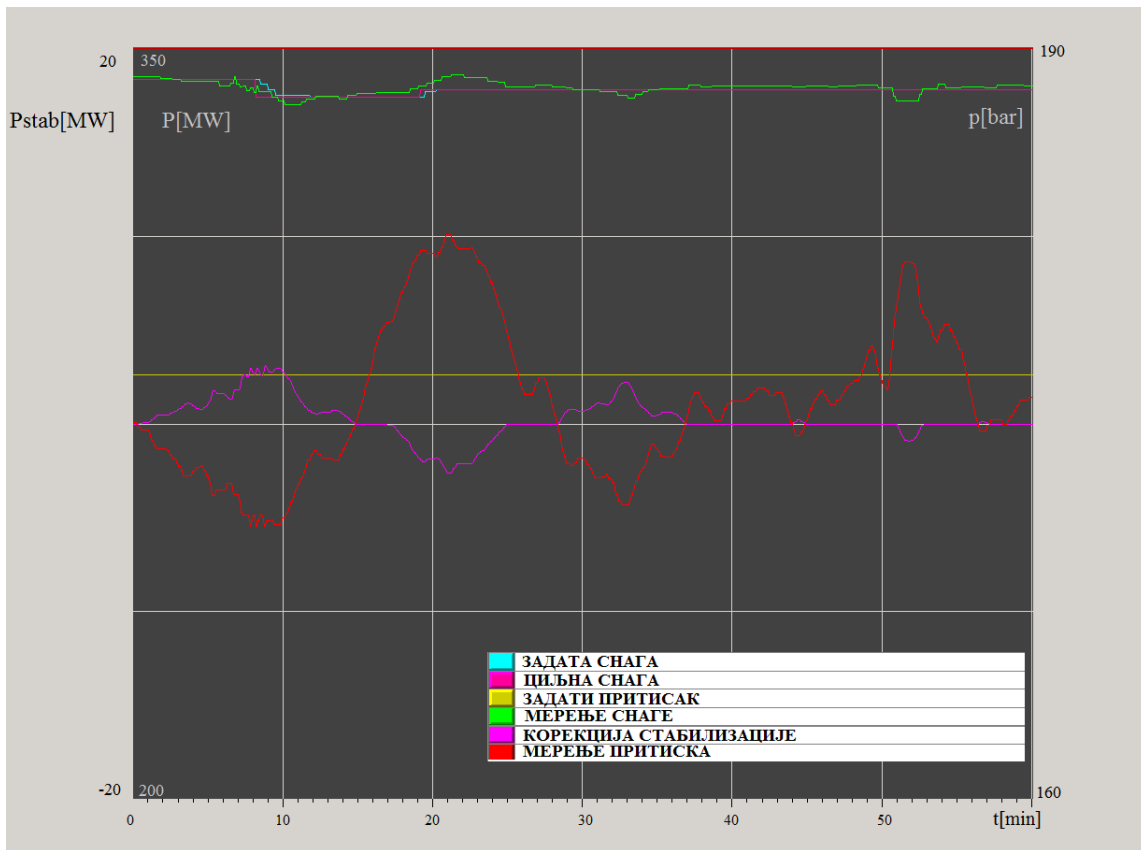
Табела 2: Параметри секундарне регулације на блоковима снаге веће од 300MW у „ТЕНТ А“ у Обреновцу после преподешавања

	A3	A4	A5	A6
Номинална снага	280MW	280 MW	320 MW	320 MW
Опсег секундарне регулације	230 – 270 MW	230 – 270 MW	250 – 290 MW	245 – 285 MW
Максимални градијент снаге	5MW/min	3MW/min	5MW/min	5MW/min
Подешени градијент снаге	3MW/min	2MW/min	3MW/min	3MW/min

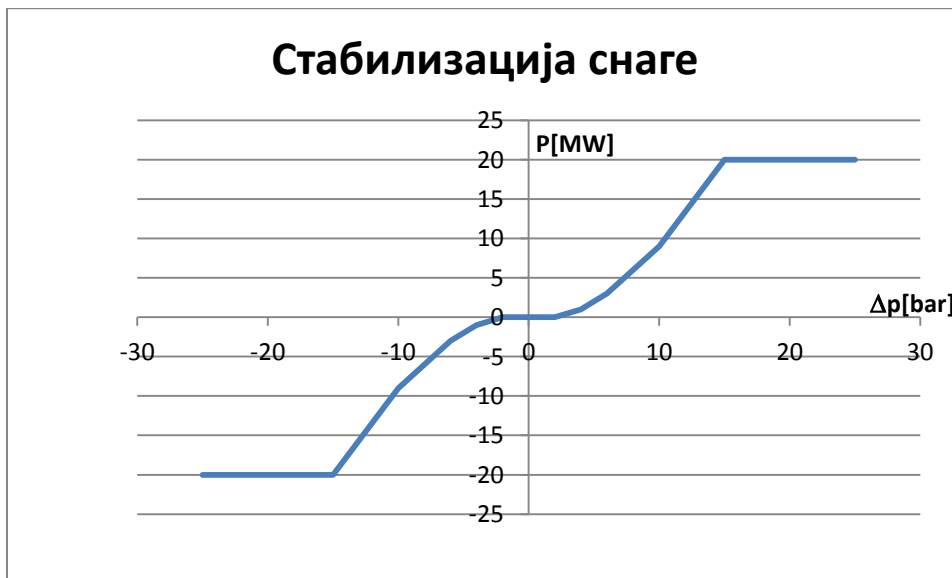
Један од проблема при раду блока у систему секундарне регулације је што активна снага блока у одређеним тренуцима не прати циљну снагу задату од стране секундарне регулације, слика 3. Зелена крива представља активну снагу генератора и може се приметити да у одређеним тренуцима не прати референцу која је представљена тамном нијансом љубичасте боје. Одступање задате и мерене активне снаге прати промену притиска (означен црвеном бојом).

Разлог одступања остварене од задате снаге је услед деловања функције стабилизације снаге. Стабилизација снаге је функција која делује када је одступање притиска (разлика између задатог и оствареног притиска, на слици 3 жута и црвена крива редом) изнад 2 бара. Принцип рада стабилизације по снази је да се у случају непланираног пораста притиска на задату вредност

снаге додаје одређена вредност корекције снаге, пропорционалној грешци притиска, слика 4. На тај начин се додатно отварају регулациони вентили турбине, повећава се проток паре и зауставља даљи раст притиска. Сличан принцип је и у смеру непланираног смањења притиска, само је тада корекција стабилизације негативна.



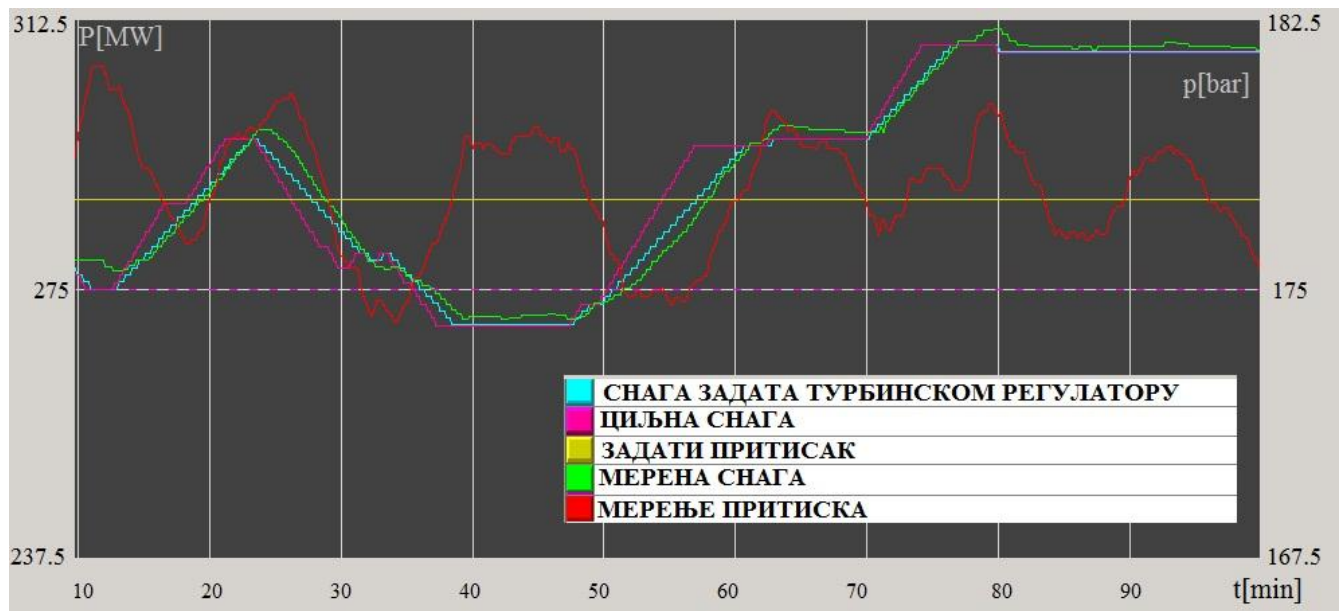
Слика 3: Утицај стабилизације на остварену снагу блока А5 у ТЕИТ



Слика 4: Стабилизације снаге у функцији регулационе грешке притиска

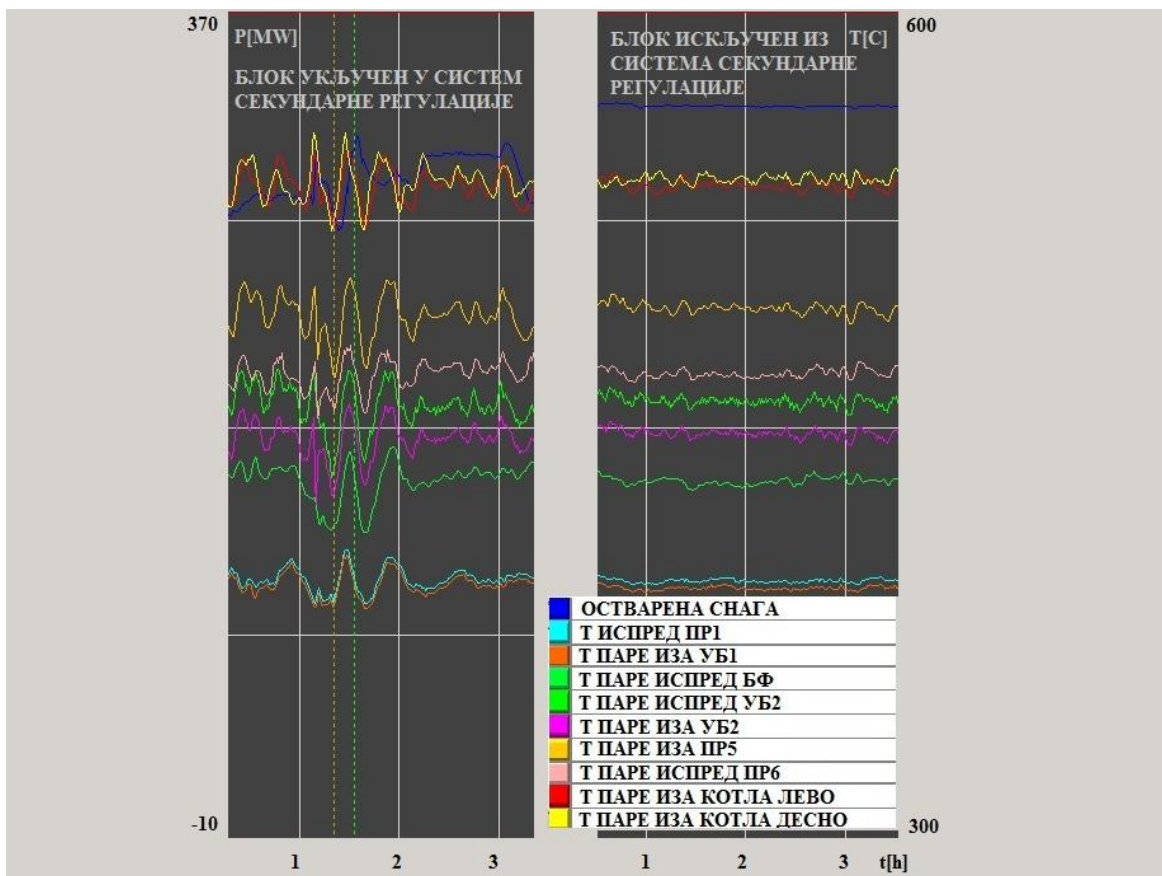
7 УТИЦАЈ СЕКУНДАРНЕ РЕГУЛАЦИЈЕ НА ПАРАМЕТРЕ КОТЛА

Параметар који је веома битан за стабилан рад котловског постројења је притисак свеже паре у котлу. Притисак се регулише од стране котловске регулације, променом количине угља за ложење. Секундарна регулација утицај на притисак остварује посредно. Брзе промене циљне активне снаге имају за последицу нагло отварање регулационих вентила на улазу у турбину, што проузрокује тренутно повећање протока паре. Продукција паре у котлу не може тренутно да се повећа, систем је инертан, тако да се повећање протока остварује на рачун акумулисане енергије у котлу, т.ј. на рачун пада притиска. На слици 5 можемо видети механизам тог деловања, прецизније, око педесетог минута од стране НДЦ стиже налог за повећање снаге. Активна снага, на слици обележена зеленом бојом, расте по градијенту, док притисак у котлу, означен црвеном бојом, опада. Промене притиска утичу на промене ложења што директно утиче на све остале параметре рада парног котла. Сличан механизам деловања имамо и када се са високом вредношћу градијента смањује циљна снага. Продукција паре не може тренутно да се смањи, тако да се нагло смањење протока манифестује повећањем притиска у котлу.



Слика 5: Пад притиска при нагом повећању снаге, последица секундарне регулације

Други битан параметар је температура свеже паре која је врло блиска температури метала цеви. Промена температура је последица наглих промена притиска, протока паре и количине угља за ложење. При уобичајеном раду блока у секундарној регулацији температура паре осцилује, слика 6. Разлика између максимума и минимума при осцилацији температуре прелази и 35°C . Градијент промене температуре је између $3\text{--}4^{\circ}\text{C}/\text{min}$, а периода осциловања око $10/\text{min}$. Термичко напрезање цеви се јавља при наглим променама активне снаге. На слици 2 се може видети да су нагле промене циљне снаге уобичајене при раду блока у систему секундарне регулације.



Слика 6: Упоредни приказ температура паре у једној линији прегрејача високог притиска када је блок А5 укључен у систем секундарне регулације и када блок А5 није укључен у систем секундарне регулације

8 ЗАКЉУЧАК

Термоблокови су се показали као задовољавајућа допуна за хидроелектране у систему секундарне регулације када хидроелектране нису у могућности да у потпуности обезбеде резерву секундарне регулације. Ограничавајући фактори као што је дејство стабилизације снаге и релативно низак градијент промене снаге могу бити ефикасно решени. Могуће је модификовати управљачко-регулациони алгоритам тако да стабилизација снаге не делује када је активна секундарна регулација. Такође, градијент снаге се може повећати оптимизацијом котловске и турбинске регулације.

Са друге стране, показано је како секундарна регулација има негативан утицај на рад термоблока. Границе максималне брзине одзива секундарне регулације одређене су брзином одзива котловског постројења. Питање колико би требало прићи границама максималне брзине одзива промене снаге једино може дати темељна техно-економска анализа, која би показала економске последице брзих одзива по снази. Предложено решење о укидању стабилизације снаге имало би за последицу веће одступање притиска у котлу у односу на задати притисак. Без стабилизације снаге рад котловског постројења би био нестабилнији.

Постоји системско решење за недостатке при раду термоблокова у секундарној регулацији. Решење је једноставно, а то је укључење што више термоблокова у систем секундарне регулације. На тај начин повећао би се свеукупни градијент снаге, а промене снаге на

појединачним блоковима би биле ниже, пропорционалне уделу у секундарној резерви сваког од блокова. Наравно, постоје и економско – техничке последице таквог решења јер је резервисањем капацитета на термоблоковима смањена могућа производња енергије а честе промене термичких стања појединих елемената утичу на поузданост и радни век. Регулисаним ценама системских услуга требало да буде новчано надокнађена ограничена производња као и повећани трошкови одржавања.

9 ЛИТЕРАТУРА

[1] Горан Јакуповић, Нинел Чукалевски, Љубиша Михаиловић, Звездан Караћ, Немања Самарцић, Никола Обрадовић, Мирела Ђурђевић, *Поступак увођења термоагрегата ТЕНТ-а у систем секундарне регулације фреквенције и снаге размене*, Енергетика, март 2011.

[2] *Правила о раду преносног система*, ЕМС, верзија 1.0, април 2008.

[3] *UCTE Operation Handbook - Policy 1: Load – Frequency Control and Performance*, UCTE Operation Handbook, Final Version, March 2009.

[4] *UCTE Operation Handbook - Appendix 1: Load – Frequency Control and Performance*, UCTE Operation Handbook, final 1.9 E, June 2004.