

ДЕТЕКЦИЈА ОДБАЦИВАЊА ОПТЕРЕЋЕЊА ТЕРМО-ЕНЕРГЕТСКИХ БЛОКОВА

Петар Татомировић¹, Ирина Јовановић, Небојша Турнић, Предраг Васић
Термоелектрана “Никола Тесла Б” Обреновац

Апстракт – Најосетљивији и најзахтевнији режим рада термо-енергетских блокова је прелазак из режима рада са номиналном активном снагом у режим острвског рада или режим празног хода. Промени режима рада претходи одбацивање оптерећења, развезивање са мреже, прелазак турбине из мода регулације активне снаге у мод одржавања броја обртаја и тиме одржавања сопствене потрошње постројења. Успешно одбацивање оптерећења је одраз квалитета управљачких и регулационих функција свих подсистема блока.

Први и вероватно најважнији корак је правремена детекција преласка у острвски режим рада, јер је потребно извршити брзо свођење параметара система турбинске и котловске регулације. У ранијим системима одбацивање оптерећења је детектовано отварањем генераторског или мрежног прекидача и по убрзању турбине. Модерни ДЦС системи пружају могућност да се режим одбацивања оптерећења препозна и када су генераторски и мрежни прекидачи остали затворени, по пропаду снаге.

У овом раду ће бити представљен алгоритам детектовања одбацивања оптерећења при преласку у острвски режим рада или рад у празном ходу, који врши бржу и поузданију детекцију. Са бржом детекцијом оствариће се мања девијација турбинских параметара, а самим тим већа вероватноћа да при наглој промени параметара система термо-енергетски блок остане у раду. Биће приказано понашање система и критичних параметара блока приликом успешног преласка на острвски рад.

Кључне речи – одбацивање оптерећења, острвски рад, турбинска регулација

LOAD REJECTION DETECTION AT THERMAL POWER PLANTS

Abstract – The most difficult and most demanding operation mode of thermal power plants is the switching from the mode with a nominal active load to island operation mode or idle mode. Before switching of load operation mode, first there is have load rejection, followed by switching off from grid, switching turbine controller from load control to speed control and with that controlling unit consumption. Successfully load rejection reflects the quality of control loops of all subsystems of the unit.

The first and probably the most important step is the properly detection of switching island mode, because it is requires quick turbine and boiler parameters reducing. In previous systems, load rejection is detected by opening of generator or grid breaker. Modern DCS systems provide the ability to detect load rejection mode when the generator and grid breaker remained closed.

An algorithm is presented to detect rejection load when switching in island mode or idling mode, which performs faster and more reliable detection. With faster detection overspeed of turbine will be smaller, and therefore it is more likely that in the case of quick change of unit parameters thermal power plant unit remains in operation. The behavior of the system and the critical parameters of unit during successfully switching to the island mode are shown in the paper.

Keywords: load rejection, island operation, turbine control

¹ e-mail: petar.tatomirovic@tent.rs

1. УВОД

Турбинско постројење као део термо-блока у термоелектрани представља систем велике комплексности и као такво се током рада може наћи у низу различитих стања. Највећи део времена систем се налази у неком од радних режима, за које је у основи и пројектован. Оптимално радно стање турбинског постројења је рад са номиналним параметрима. Стандардни режими који се планирају су и покретање и заустављање блока, односно турбине. Осим стандардних режима рада, систем се може наћи и у ексцесним ситуацијама различитог типа, које се дешавају ретко и представљају стрес за систем. Ексцесне и нестандартне режимо рада пожељно је избегавати, а ако то није могуће, потребно је умањити последице након тих режима, односно поремећаја. Врло је тешко подешавати или мењати начин на који регулациони систем треба да реагује на велике поремећаје, јер је турбинско постројење заједно са котлом изузетно сложено за моделовање, па се подешавање врши на основу реалних поремећаја система, офлајн методама, тумачењем снимака након поремећаја.

Једна од типичних ексцесних ситуација на термо блоку, која ће бити описана у овом раду је одбацивање оптерећења – испад са мреже, то јест отварање генераторског или мрежног прекидача. При испаду са мреже, генератор одбацује оптерећење и прелази у режим празног хода или режим острвског рада, зависно од тога да ли напаја сопствену потрошњу блока. Проток паре кроз турбину не може тренутно да се промени и у тренутку када генератор одбацује оптерећење турбина и даље даје погонски момент. Како момент оптерећења не постоји, разлика погонског и момента оптерећења резултује великим убрзањем. Долази до наглог повећања броја обртаја ротирајућих делова турбинског постројења и генератора (турбине и ротора генератора). Неопходно је одмах затворити/притворити регулационе и/или стоп вентиле да турбина не би убрзала до недозвољених брзина, које могу изазвати центрифугалне силе за које турбина није пројектована. Да не би дошло до хаварисања турбоагрегата потребно је да брзина турбине после поремећаја буде што ближа номиналној брзини.

У склопу заштитно – управљачких система парних турбина реализована је заштитна функција која по достизању одређене предефинисане вредности броја обртаја турбине активира турбинску заштиту – надбрзинска заштита. Надбрзинска заштита реагује на 110% номиналне брзине. У режиму острвског рада, подфреквентна заштита је подешена на 45Hz односно 2700o/min. Неопходно је подесити регулациони систем тако да након одбацивања оптерећења не делује заштита. Покретање турбине након деловања турбинске заштите дуже траје и више кошта него поновни излазак на мрежу са номиналног броја обртаја. Турбинско постројење је пројектовано да ради на номиналној брзини, тако да је због вибрација и динамичких напрезања пожељно избегавати све брзине које су осетно веће од номиналне.

Најкомплексније тестирање заштитно – управљачког система управо је тест којим се турбина након наглог растерећења стабилизује на номиналној брзини, са што мањим побегом изнад брзине од 3000o/min, што се постиже променом режима рада и свођењем параметара блока као целине. Тестирање турбине након наглог одбацивања оптерећења назива се „хватање“ турбине након побега. Побег представља разлику максималне брзине након теста и номиналне брзине. Тест је успешан ако је побег мањи од 300o/min и ако није деловала турбинска или котловска заштита.

2. ТУРБИНА ТЕНТ Б

Парне турбине на блоковима „Б1” и „Б2” у ТЕНТ Б у Обреновцу су произведене у фирмама ББЦ (Баден, Швајцарска) и АЛСТОМ (Париз, Француска). Парне турбине на блоковима су идентичне.

Основни технички подаци:

- тип турбине D4Y456;

- номинална снага $618,4MW^2$;
- број обртаја $3000o/min$;
- притисак свеже паре $177,5bar$;
- температура свеже паре $535^{\circ}C$;
- проток свеже паре $1880t/h$;
- притисак међупрегрејане $39,2bar$;
- температура међупрегрејане паре $535^{\circ}C$;
- проток међупрегрејане паре $1703,2t/h$;
- притисак у кондензатору $0,05bar$;
- број обртаја прекретног строја $20o/min$;
- притисак уља за подмазивање $1,6bar$.

Парна турбина је пројектована за рад под номиналним оптерећењем од $618,4MW$ у трајном раду, после ревитализације 2012. године снага је повећана на $667,5MW$ на блоку ТЕНТ Б1.

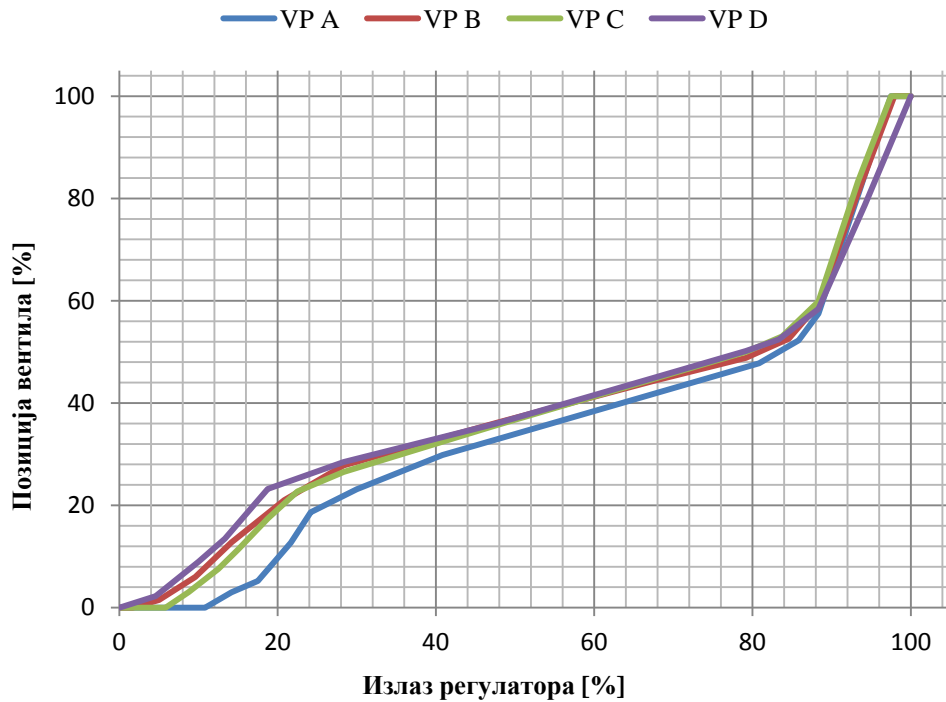
Турбина је аксијална, реакциона, вишестепена, кондензациона са четири кућишта и седам нерегулисаних одузимања. Турбина је једноосовинск. Четири ротора су спојена крутим спојницама. Турбину покреће водена пара која има једно међупрегрејање.

Свежа и међупрегрејана пара се уводе у турбину високог и средњег притиска преко четири комбинована вентила (стоп и регулациони). Пара се упушта у турбину високог притиска по целом обиму преко спроводног апарата. Након експанзије у турбинама високог, средњег и ниског притиска пара се кондензује. Укупна тежина турбинских ротора је $150t$. Турбина са генератором је дугачка $41m$.

У кућишту, облика лопте, смештени су брзозатварајући (стоп) и регулациони вентили. Вентили раде независно један од другог. Погони вентила су хидраулички сервомотори који вентиле отварају, а затварање обавља опруга. Стоп вентил спречава довод паре у турбину при недозвољеним погонским ситуацијама. Задатак регулационог вентила је да пропусти одређену количину паре коју захтева турбински регулатор.

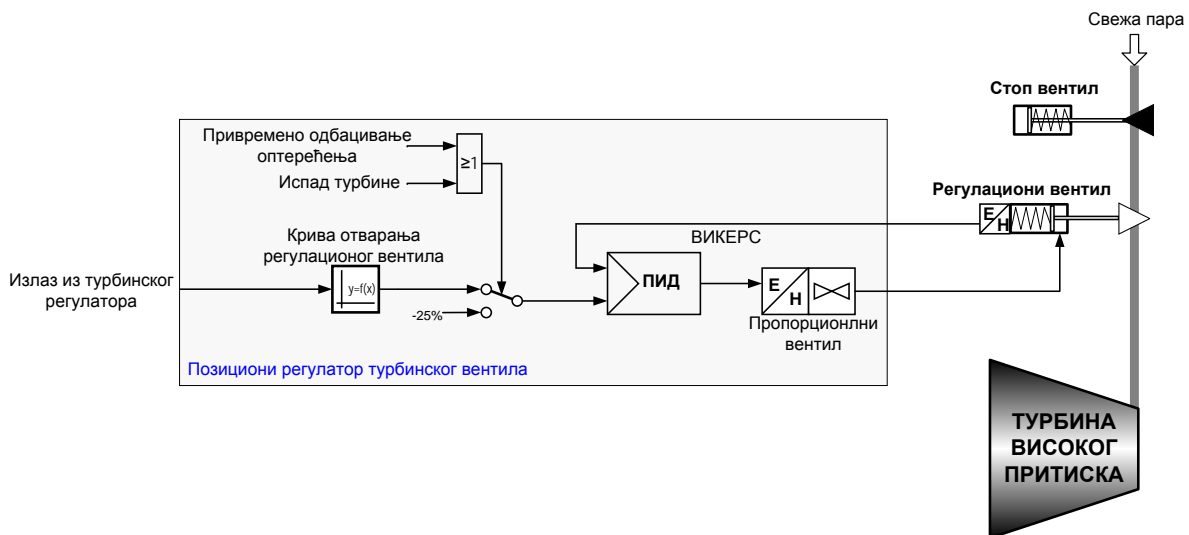
Да би се обезбедила линеаризација протока паре кроз турбину регулациони захтев *ПИД регулатора* турбине се пропушта кроз нелинеарну функцију која се назива крива отварања регулационих вентила. На слици испод приказан је изглед криве. Линеаризацијом се постиже да налог од стране турбинског регулатора представља проток паре, а не позицију отворености вентила. Циљ линеаризације је да се оствари константно појачање турбинског регулатора, јер регулатор регулише активну снагу, а активна снага је пропорционална протоку.

² Номинална снага блока Б1 после ревитализације 2012. године је $667,5MW$



Слика 2.1: Криве отварања вентила високог притиска

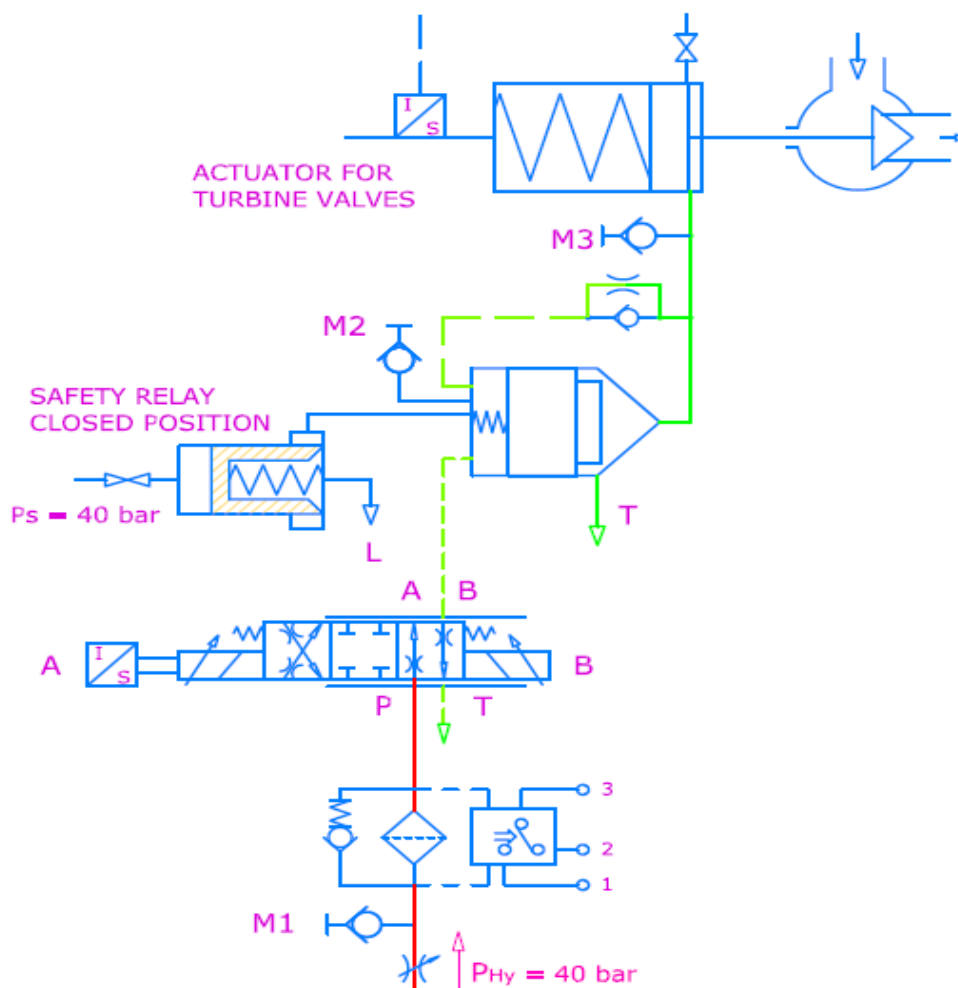
Након ревитализације 2012. године на блоку Б1 уграђени су нови Викерс (*Vickers*) регулатори и пропорционални вентили, који позиционирају турбинске вентиле. Од стране турбинског регулатора. Викерс регулатору се шаље регулациони захтев за позиционирање турбинског вентила. Сам Викерс регулатор је реализован као аналогни ПИД регулатор који позиционира турбинске вентиле на основу задатог положаја и мерене позиције положаја турбинског вентила. Принцип рада је такав да Викерс регулатор делује на пропорционални вентил који хидрауличким уљем позиционира турбинске вентиле који пропуштају пару. На слици испод је приказана регулациона шема једног турбинског вентила.



Слика 2.2: Позициони регулатор турбинских вентила

Нови серво погони имају могућност да брзо издренирају уље кроз ново уграђени вентил. Када пропорционални вентил добије регулациони захтев за брзо затварање, тада додатни вентил за брзо дренирање моментално отвара и евакуише уље великом брзином из регулационог турбинског вентила. Опруга затвори вентил за мање од $300ms$ на високом

притиску³ и од 500 – 600ms на средњем притиску⁴. На слици испод је приказана хидраулична шема када имамо деловање брзог затварања регулационих вентила.



Слика 2.3: Хидраулична шема брзог затварања регулационог вентила турбине

У табели испод приказана су времена брзог затварања и отварања свих регулационих вентила снимљених при подешавању позиционих регулатора вентила.

Табела 2.1: Времена брзог затварања регулационих вентила

VENTIL	100 - 0 %	0 - 100 %
1SA11S026 (VP A)	283ms	5.82s
1SA11S016 (VP B)	269ms	5.75s
1SA11S036 (VP C)	291ms	5.82s
1SA11S046 (VP D)	260ms	5.50s
1SA13S026 (SP A)	504ms	9.91s
1SA13S016 (SP B)	657ms	10.11s
1SA13S036 (SP C)	503ms	9.56s
1SA13S046 (SP D)	571ms	10.20s

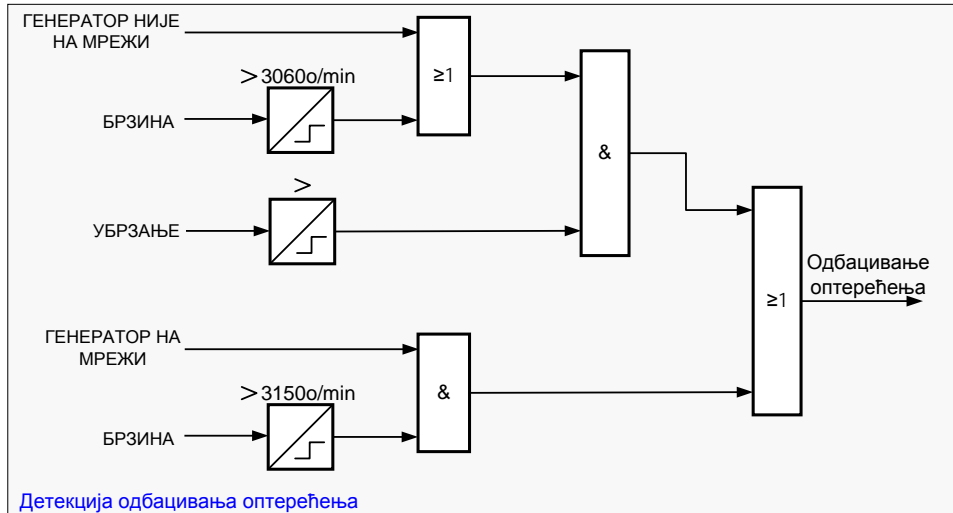
³ Регулациони вентили турбине високог притиска

⁴ Регулациони вентили турбине средњег притиска

3. ДЕТЕКЦИЈА ОДБАЦИВАЊА ОПТЕРЕЋЕЊА

На електрани *ТЕНТ Б* у раду су два система турбинске регулације. На блоку *Б1* у раду је нови, дигитални турбински регулатор, произвођача Сименс (*Siemens*). На блоку *Б2* у раду је аналогни турбински регулатор, произвођача *ББЦ*.

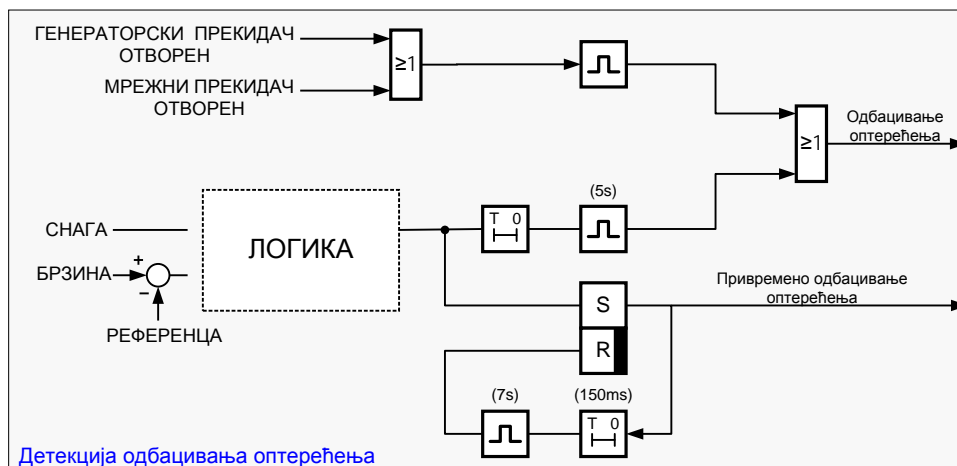
Детекција одбацивања оптерећења односно детекција побега турбине на аналогном турбинском регулатору реализована је као на слици испод.



Слика 3.1: Детекција одбацивања оптерећења аналогног турбинског регулатора

Да би се детектовало одбацивање оптерећења у логици аналогног регулатора потребно је да постоји убрзање турбине и да генератор није на мрежи (отворен мрежни или генераторски прекидач) или да постоји убрзање турбине, а да је брзина турбине већа од *3060о/мин*. У случају да дође до отварања мрежног прекидача у разводном постројењу „Младост“ (систем нема информацију о положају овог прекидача), који повезује *ТЕНТ Б* са електроенергетским системом, турбина ће чекати да порасте број обртаја и тек тада детектовати да се налази у острвском раду. По детекцији побега турбински регулатор би прешао у регулацију брзине. Услед затварања регулационих вентила порастао би притисак, отворио бајпас, а регулација котловског постројења не би добила сигнал за растерећење.

Принцип детекције одбацивања оптерећења, на дигиталном турбинском регулатору који је имплементиран на блоку *ТЕНТ Б1*, реализована је као на слици испод.

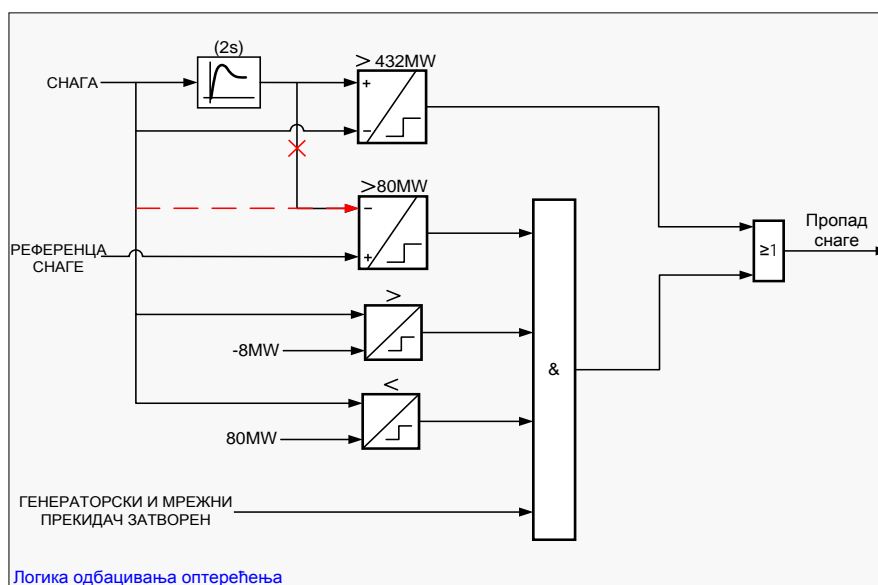


Слика 3.2: Принцип детекције одбацивања оптерећења дигиталног турбинског регулатора

За разлику од решења на аналогном регулатору, нови дигитални турбински регулатор нагло растерећење блока детектује узимајући у обзир и мерење снаге. Делимично је задржано и старо решење да се детекција врши по промени броја обртаја турбине. Разлика у односу на аналогни регулатор је у томе што код новог регулатора за сигнал убрзања не

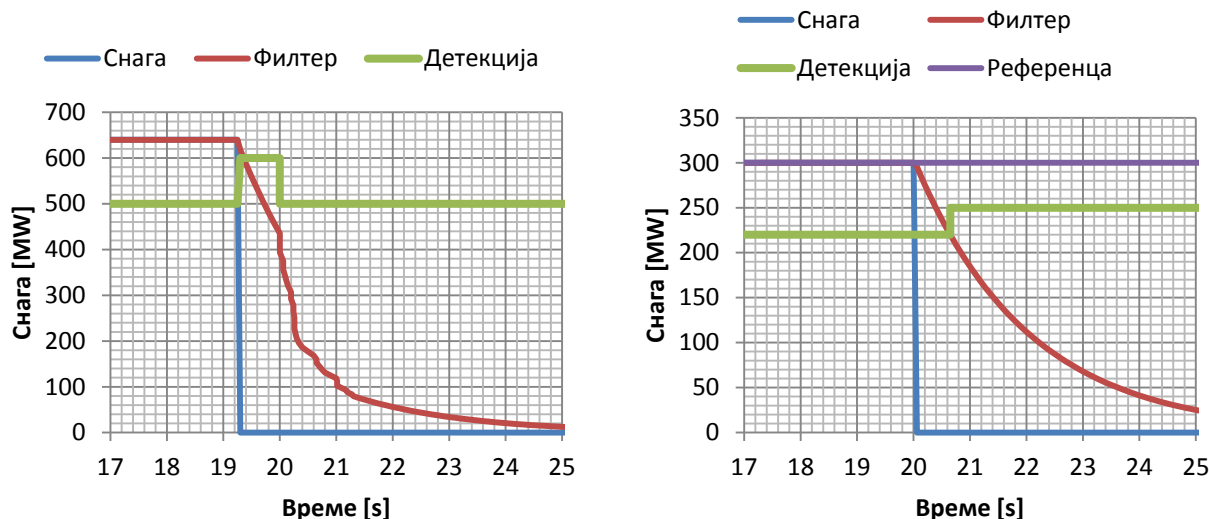
постоји услов да генератор није на мрежи. Услов је супротан, да је генератор на мрежи (генераторски и мрежни прекидач затворени), пошто у новом регулатору сигнал да генератор није на мрежи директно детектује одбацивање оптерећења. Са слике 3.2 видимо да поред сигнала отворености мрежног и генераторског прекидача (генератор није на мрежи) имамо и сигнал за детекцију одбацивања оптерећења који се формира на основу мерења снаге и брзине.

Нови алгоритам „не чека“ на промену брзине већ тренутно реагује. Ова функција се назива привремено одбацивање оптерећења. По детектовању пропада снаге (слика 3.3) или убрзању турбине, аутоматски се прослеђује регулационим вентилама сигнал на затварање и спречава се доток паре у турбину. Уколико је одбацивање оптерећења последица поремећаја у мрежи, вентили се након $150ms$ отварају и настављају са радом. Уколико и после $150ms$ снага није достигла вредност блиску оној пре поремећаја, турбина прелази у регулацију брзине, а котловском систему регулације се шаље сигнал за растерећење. $150ms$ је време потребно да генератор остане на мрежи у случају пролазног поремећаја у мрежи.



Слика 3.3: Логика одбацивања оптерећења при пропаду снаге

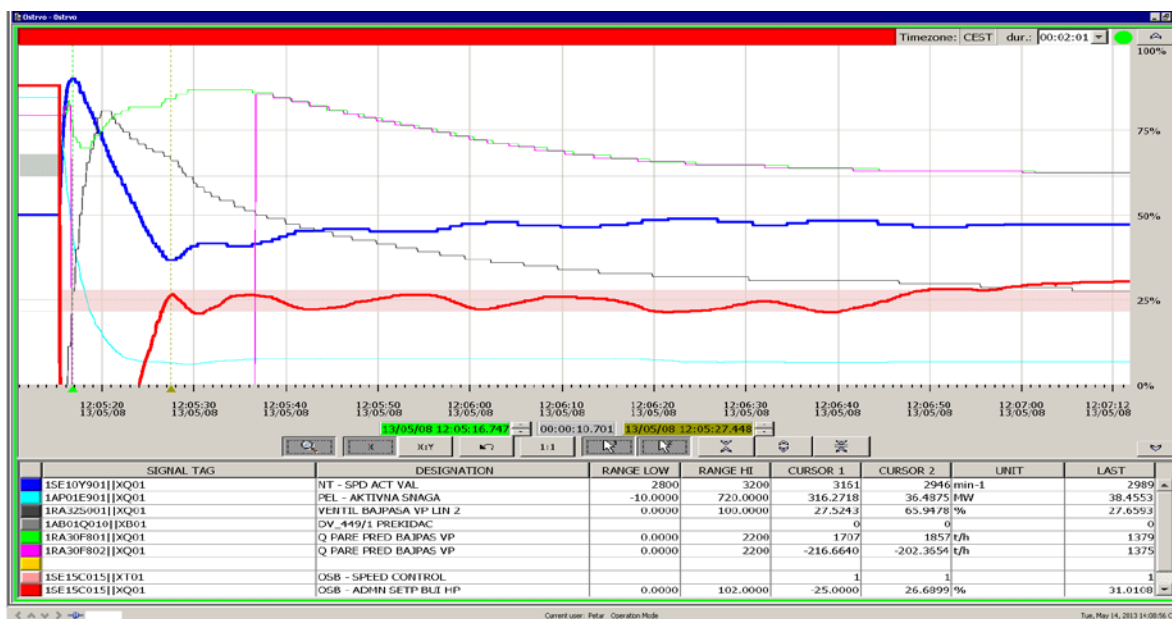
На слици 3.3 је приказана нова логика детекције пропада снаге. Од сигнала мерене снаге који је пропуштен кроз филтар првог реда одузима се тренутна вредност снаге па се та вредност пореди са граничном вредношћу и формира сигнал уколико се достигне дефинисана граница пропада од $432MW$. Симулација деловања одбацивања по овом критеријуму је приказана на слици 3.4 (лево). На описан начин детектују се нагле промене активне снаге које су дефинитивно последица наглог одбацивања оптерећења. Пошто при мањим оптерећењима није могуће детектовати пропад од $432MW$, постоји и други део логике, који детектује разилажење референце и остварене снаге за више од $80MW$ уз пратеће услове приказане на слици испод. Симулација сигнала одбацивања по овој логици је приказано на слици 3.4 (десно). Споре промене снаге се игноришу и тада је детекција могућа само по условима по којима се вршила и у старом систему турбинске регулације. Такође и када је турбина у регулацији притиска, а да је при томе мања снага блока детекција се врши по убрзању турбине.



Слика 3.4: Детекција одбацивања оптерећења при снази од 640MW (лево) и 300MW (десно)

4. АНАЛИЗА ТЕСТА ОДБАЦИВАЊА ОПТЕРЕЋЕЊА

На слици 4.1 дат је приказ успешно обављеног реалног теста одбацивања оптерећења, тј. прелазка на острвски рад.



Слика 4.1: Прелазак турбине у острвски рад

Са дијаграма се виде следећи сигнали: захтев за отвореност регулационих вентила – излаз регулатора турбине (црвена), број обртаја турбине у опсегу 2800-3200o/min (плава), мерење протока свеже паре (зелена), активна снага (светло плава), позиција отворености вентила бајнаса ВП (црна), сигнал да је турбински регулатор у режиму регулације брзине (розе). Видимо да су турбински вентили при детекцији одбацивања оптерећења затворили, зато што је турбински регулатор при прелазку у острвски режим рада прешао у регулацију брзине. Број обртаја турбине се повећао до 3161o/min, односно побег је био 161o/min. Турбински вентили су били потпуно затворени 8 секунди и поново су отворили тек када је број обртаја турбине пао испод 3000o/min. 3000o/min је номинална референца - жељена вредност броја обртаја турбине, која је потребно да се успостави у стационарном режиму празног хода или острвског рада. Са дијаграма се може видети да је највећи пропад броја обртаја, односно најниже достигнута брзина била 2946o/min.

На слици 4.2 приказано је кретање жељених и остварених вредности за регулацију ложења и напајања котла при прелазку у острвски режим рада. Приказане су следеће величине: максимална расположивост блока која нам је ограничила референцу ложења (зелена), референца - жељену вредност ложења (црна), референцу и остварену вредност протока напојне воде (розе и жута), притисак свеже паре (сива) и активна снага (плава боја). Видимо да после поремећаја приликом растеређења, котловски регулациони кругови после одређеног времена успешно стабилизују своје параметре.



Слика 4.2: Параметри котловске регулације при растеређењу

Приликом растеређења блока, у раду остају четири млина (у нормалном раду са номиналним параметрима у раду је седам млинова), док се остали искључују по функцији растеређења. Брзине дозатора угља млинова који остају у раду, по логици регулације ложења, покушавају да надокнаде дозаторе млинова који су искључени, међутим брзина дозатора се не повећава зато што је регулатор дозатора блокиран да повећава брзину док нам траје свођење жељене вредности ложења (за острвски режим рада свођење ложења иде на минималну вредност и трајало је око 30 секунди). На слици 4.3 је приказано кретање брзина дозатора угља млинова приликом растеређења.



Слика 4.3: Брзине дозатора угља при растеређењу

5. ЗАКЉУЧАК И ПРАВЦИ ДАЉЕГ ИСТРАЖИВАЊА

Побољшаним перформансама савремених серво погона који погоне регулационе вентиле остварен је предуслов за успешно одбацивање оптерећења и „хватање“ турбине након побега. Употребом новог решења брже се детектује одбацивање оптерећења. Стари алгоритам има временску задршку, јер чека да се после наглог одбацивања оптерећења турбина залети, да би се детектовало убрзање. Нови алгоритам без задршке затвара регулационе вентиле и тако смањује побег турбине.

Нови алгоритам задржава флексибилност старог алгоритма по питању поремећаја у мрежи. При детектовању пропада снаге регулационим вентилима се прослеђује регулациони захтев на затварање, а затим се чека $150ms$ јер је то време које је потребно да генератор остане на мрежи у случају пролазног поремећаја у мрежи. Када је у питању стари алгоритам, изузетно је проблематично тачно подесити граничну брзину и убрзање када је потребно да се детектује побег, а да се не угрозе радна стања са пролазним поремећајима у мрежи.

Предност описаног алгоритма у односу на старо решење је та што се остварује бржа детекција, јер не чека промену брзине турбине и тако остварује мањи побег. Друга предност алгоритма је што се не чека нагли раст притиска да би се остварило растерећење, већ се при детектовању наглог растерећења, након $150ms$, аутоматски шаље налог котловским регулационим круговима за растерећење.

Мана новог решења је та што приликом пролазног поремећаја параметри котловског постројења више заосцилују, чак може доћи и до отварања бајпаса услед брзог затварања регулационих вентила.

Принцип новог алгоритма иде на страну сигурности. Нагло растерећење се детектује директно при промени стања затворености генераторског или мрежног прекидача. У случају квара на давачима крајњих контаката непотребно ће доћи до растерећења блока.

Мана новог алгоритма је и што се при малим снагама споро детектује нагло одбацивање снаге, слике 3.3 и 3.4 (десно). Предложена је измена алгоритма, на слици 3.3 приказана испрекиданом црвеном бојом. Потребно је да се величина која у себи носи информацију о поремећају (мерење снаге) преспоји директно, без филтрирања.

Могућа су и побољшања алгоритма, тако што би се сигнал детекције одбацивања оптерећења аутоматски водио на укључење електронапојних пумпи, а истовремено на искључење турбонапојне пумпе. На предложени начин повећала би се стабилност рада котловског постројења, а у исти мах и смањио побег турбине, јер би се укључењем електронапојних пумпи повећала сопствена потрошња, односно додатно оптеретио генератор.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Концепт турбинског регулатора*, Сименс, верзија 1.2, мај 2012.
- [2] *Концепт хидрауличног система турбине*, Сименс, верзија 1.2, јун 2012.
- [3] *Монографија ТЕНТ Б*, Термоелектрана „Никола Тесла“ Обреновац, Београд.
- [4] *Погонске конструкције*, ТЕНТ Б, Обреновац.
- [5] *Правила о раду преносног система*, ЕМС, верзија 1.0, април 2008.
- [6] *Системи аутоматског управљања*, Б. Ковачевић; Ж. Ђуровић, Београд, 2006.
- [7] *Thermal Power Plant Simulation and Control*, D. Flynn, London, 2003.
- [8] *Модернизација система за управљање и надзор*, Информатика, Београд, 2013.
- [9] *Парне турбине*, Н. Васиљевић, Београд, 1990.
- [10] *SPPA-T3000 Control System Helpbook*, Siemens.