

# OPTIMIZACIJA FUNKCIJE ELEKTRO-HIDRAULICNOG REGULATORA PARNE TURBINE U TE „MORAVA" SVILAJNAC

## FUNCTION OPTIMIZATION OF ELECTRO-HYDRAULIC CONTROLLER STEAM TURBINE IN TE „MORAVA "SVILAJNAC

Petar Nikšić<sup>1)</sup>, Ratko Mrkić<sup>2)</sup>

**Rezime:** U radu su analizirani centrifugalni mehaničko-hidraulični regulator parne turbine koji je bio u radu do 2004.godine u termoelektrani „MoravaMSvilajnac i elektro-hidraulični regulator koji je montiran umesto centrifugalnog, sa posebnim osvrtom na nestacionarna stanja parne turbine i bitne prednosti elektro-hidrauličnog regulatora koje su uočene u višegodišnjem radu.

**Gljučne reči:** centrifugalni i elektro-hidraulični regulator, parna turbina, termoelektrana, prednosti, nestacionarno stanje

**Abstract:** This paper analyzes the centrifugal mechanical-hydraulic regulator steam turbine, which was in operation until 2004 in the power plant, „Morava "Svilajnac and electro-hydraulic controller that is placed instead of the centrifugal, with special emphasis on the unstationary states of the steam turbine and the important advantages of the electro-hydraulic controllers that have been observed in many years of work.

**Key words:** centrifugal and electro-hydraulic regulator, steam turbines, power plants, benefits, unstationary state

### 1. UVOD

Termoelektrana "Morava" u Svilajncu napravljena je 1969 godine i od tada je neprekidno angažovana u sistemu EPS-a. Trofazni generator, snage 156 MVA, vezan je za turbinu preko polukrute spojnice, dok su glavna budilica i sinhroni generator vezani za glavnu osovinu posredno preko reduktora brzine.

Ugrađena parna turbina je kondenzacionog tipa snage 125 MW, sa međupregrevanjem i šest oduzimanja. Turbina se sastoji od tri nezavisna kućiša: visokog, srednjeg i niskog pritiska. Opremljena je svim potrebnim uređajima za regulaciju i kontrolu. Rad turbine i proizvodnja električne energije u mnogome zavisi o ispravnosti i pouzdanosti uređaja za regulisanje broja obrtaja i opterećenja.

### 2. CENTRIFUGALNI MEHANIČKO-HIDRAULIČNI REGULATOR

Ovaj regulator je bio u radu od montaže turbine, 1969. godine pa do 2004. godine. Nalazio se u prvom ležajnom bloku turbine (slika br.1), pogon je dobijao od rotora turbine preko pužnog prenosnika. Broj obrtaja regulatora je iznosio 720 o/min a broju obrtaja turbine 3000 o/min.



Slika 1 - Centrifugalni regulator u prvom ležajnom bloku

U obrtnoj kućici regulatora broja obrtaja pričvršćeni su kolebljivo na kugličnim ležajevima dva uglasta tereta (slika br.2).

Na ove terete u toku rada deluje centrifugalna sila koja se suprotstavlja sili istezanja opruga. Donji horizontalni kraci pomeraju se i pomoću rolni pomeraju ogrlicu regulatora broja obrtaja. Naprezanje opruge je takvo da tereti počinju da se pomeraju kada broj obrtaja regulatora iznosi 614+50/min. Maksimalni hod ogrlice iznosi 23 mm pri 750 o/min. Donji kraj obrtnog kućišta regulatora broja obrtaja pomoću spojke pušta u pogon malu zupčastu pumpu koja daje ulje za podmazivnje zglobova i ležišta regulatora, a također ležišta i zupčanika reduktora.

1) Prof. dr Petar Nikšić, dipl.inž., profesor, Visoka škola tehničkih strukovnih studija, Čačak, Srbija; e mail:petar.niksic@vstss.com

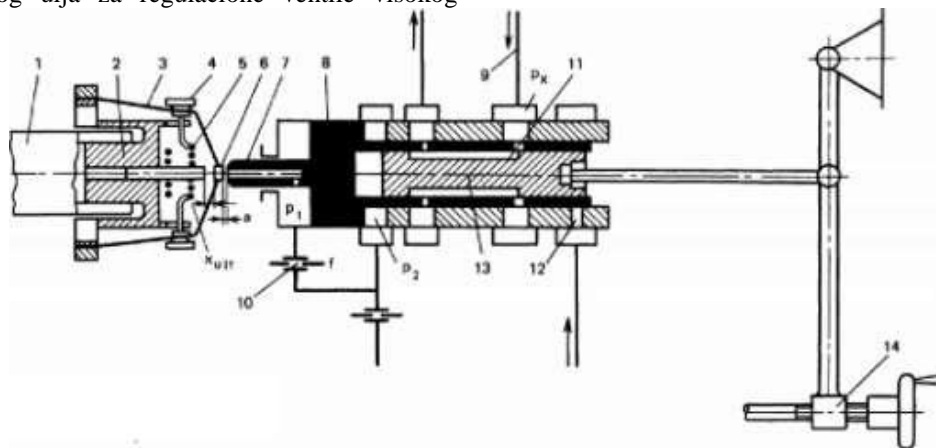
2) Ratko Mrkić, Visoka škola tehničkih strukovnih studija, Čačak, Srbija

Šiberi regulatora broja obrtaja nalaze se direktno iznad regulatora broja obrtaja. Gornji kraj ogrlice broja obrtaja pomoću specijalne vođice gura šiber impulsnog ulja. Na ovaj šiber deluje sila od ogrlice regulatora broja obrtaja uvek naviše, a na niže deluje sila sabijene opruge.

Dvokraka poluga povezana je sa šiberom impulsnog ulja za regulacione ventile visokog

pritiska i prenosi pomeranje ogrlice regulatora broja obrtaja na šiber impulsnog ulja regulacionih ventila srednjeg pritiska.

Oba šibera smeštena su u pomerljivim čaurama. Pomeranje šibera prouzrokuje otvaranje i zatvaranje impulsnih otvora u čaurama što dalje dovodi do promene pritiska u ulju.



Slika 2 - Centrifugalni regulator sa teretima

Cilj regulacije je da se obezbedi konstantan broj obrtaja turboagregata pri radu bez opterećenja, to se postiže sinhronizatorom. Ako je generator uključen u električnu mrežu, podešavanje snage vrši se sinhronizatorom pomeranjem relativnih i stalnih tačaka poluge, povratne veze regulatora broja obrtaja.

Sinhronizatori se sastoje iz dva uređaja. Prvi služi za podešavanje regulacionih ventila visokog pritiska, a drugi za podešavanje regulacionih ventila srednjeg pritiska. Uređaj radi na ručni i električni pogon i to tako što deluje na šibere regulatora broja obrtaja menjajući pritisak impulsnog ulja kojim se otvaraju i zatvaraju regulacioni ventili turbine, a sa tim se menja broj obrtaja turbine ili opterećenje ako je generator uključen u mrežu.

Kada je generator uključen u mrežu broj obrtaja turboagregata za to vreme održava se električnom mrežom. I u slučaju bez opterećenja i sa generatorom u mreži, nastali impuls pomoću ulja šalje se šiberima servomotora regulacionih ventila.

U slučaju porasta broja obrtaja iznad 3300 o/min stupa u dejstvo centrifugalni mehanički regulator sigurnosti koji ispušta ulje iz sistema regulacije i time vrši zatvaranje ventila i ulaz pare u turbinu.

U cilju zaštite turbine od smanjenja vakuuma u kondezatoru postojao je vakuumski graničnik snage koji se sastojao od tri stepena, a od opreme je imao mernu membranu, preklopke, vakuumetar, kontakte, vakuumske releje, releje signalizacije.

Za zaštitu turbine od vodenog udara u slučaju pada pritiska sveže pare služio je parni graničnik

snage, a od opreme ima je preklopke, kontakte, releje pritiska, releje signalizacije, manometar, ručni ventili, reducir pritiska, mernih membrana, blendi.

Graničnik broja obrtaja usled naglog rasterećenja generatora sastojao se od releja pritiska, releja snage, releja signalizacije i pripadajuće armature.

### 3. ELEKTRO-HIDRAULIČNI REGULATOR

U TE „Morava“ u Svilajncu u 2004 godini stari sistemi za regulaciju i upravljanje na bloku zamenjeni su novim savremenim računarskim distribuiranim sistemima (Distributed control system - DCS), Instituta "Mihajlo Pupin". Rekonstrukcija sistema za nadzor i upravljanje, je obuhvatila: kompletnu zamenu postojećih pultova i sinoptik table u komandnoj sali najsavremenijom računarskom opremom sa TFT monitorima, video-beam projektorima i odgovarajućim sistemskim i aplikativnim softverom; isporuku 12 složenih PLC uređaja iz familije Atlas za potrebe prikupljanja i lokalne obrade više od 4000 digitalnih podataka i oko 80 regulacionih petlji; razvoj i implementaciju regulacionih algoritama. Radom sistema, na osnovu prikupljenih 960 merenja i 1900 signalizacija, se upravlja korišćenjem View T-Power sistema. Kako bi se modernizacija sistema upravljanja sprovela u potpunosti bilo je potrebno zameniti regulator turbine. Nov regulator (slika br.3) je isporučio i montirao „Alstom“.

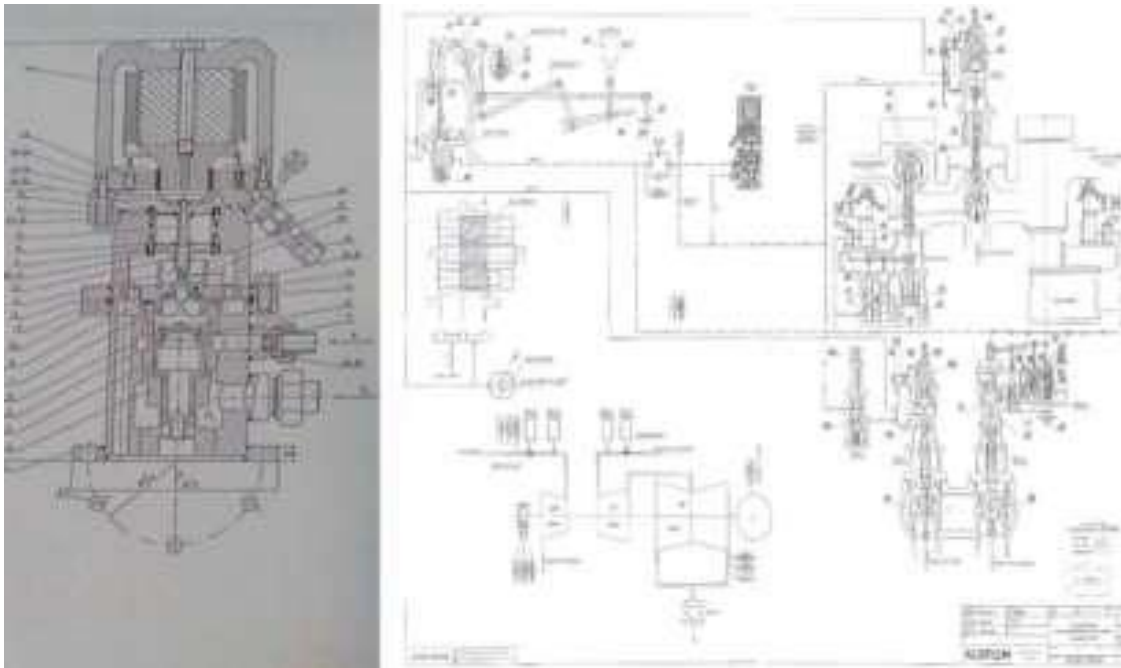


*Slika 3 - Elektro-hidraulični regulator*

### 3.1 Elektro-hidraulični pretvarač

Elektro-hidraulični pretvarač (slika br.4) se primjenjuje u elektro-hidrauličnom sistemu turbine kao posredni uređaj između elektronskog regulatora i hidrauličnog sistema. Pretvarač se sastoji od: elektromagnetnog pretvarača i hidrauličnog pojačivača. U pretvaraču električni (strujni) signal pretvara se u hidraulični signal (signal pritiska) koji se koristi za regulaciju regulatorskih pokretača turbine. Pritisak regulacionog ulja koji je srazmeran jednosmernoj struji koja protiče kroz solenoid deluje na gornju

površinu radnog klipa. Radni klip odozdo podstiče impulsno ulje. Liniju impulsnog ulja napaja glavno regulaciono ulje preko prigušnice koja je smeštena izvan pretvarača. Regulacioni ventili turbine primaju impulsno ulje kao upravljački signal iz regulatora i pretvaraju ga u mehaničko pomeranje ventila. Tehnički podaci: otpor kalema 8 Q, maksimalno prihvatljiva struja u kalemu 700 mA, upravljačka sruja  $50 \wedge 600$  mA, nominalni pritisak regulacionog ulja 8,5 bar, viskozitet  $35^0$  E, nečistoće < 25 [im, maksimalni protok ulja 50 dm<sup>3</sup>/min.

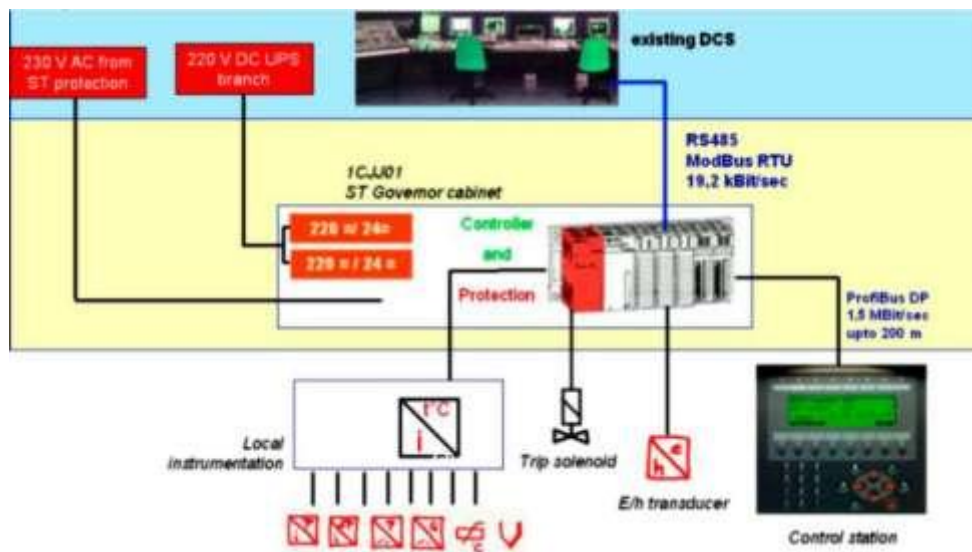


*Slika 4 - Elektro-hidraulični pretvarač u elektro-hidrauličnom sistemu turbine*

### 3.2 Elektronski regulator

Regulacija turbine vrši se u elektronskom regulatoru (slika br.5), koji je modularne

konstrukcije. Regulatorski moduli i softver (slika br.6) su visoko standardizovani. Zbog svoje karakteristike slobodnog programiranja regulator se može jednostavno prilagoditi uslovima objekta.



Slika 5 - Konfiguracija regulatora turbine i zaštitnog sistema

### 3.3 Algoritam turbinskog regulatora

Razvijeni algoritam turbinskog regulatora (slika br.6), zajedno sa hardverskim okruženjem, ima sve funkcije koje obezbeđuju sigurno vođenje turbine i bloka u celini u svim režimima rada, u normalnom pogonu kao i kod poremećaja u sistemu proizvodnje sveže pare, elektroenergetskom sistemu ili samoj merno-regulacionoj- upravljačkoj opremi. MMI prikaz turbinskog regulatora dat na slici br. 7 prikazuje ujedno i strukturu algoritma, tako imamo:

- Regulator brzine
- Regulator snage
- Regulator pritiska
- Osnovna regulacija
- Formiranje komponente učešća bloka u primarnoj regulaciji (kAf)
- Graničnik pada pritiska
- Graničnik po vakumu
- Graničnik ubrzanja
- Graničnik opterećenja
- Procesuiranje i nadzor ispravnosti merenja
- Interfejes i koordinaciju sa DCS i ostalim sistemima: funkcionalne grupe turbine, regulacija kotla, pobuda, sinhronizator, turbinske zaštite.
- Sigurnosni sistem koji vrši nadzor nad celim sistemom, formira zaštite iz turbinskog regulatora i definiše status spremnosti turbinskog regulatora za rad
- Nadbrzinsku zaštitu.

#### 3.3.1. Regulacija brzine obrtaja

Merenje brzine vrši se pomoću tri međusobno nezavisna senzora koji sabiraju impulse sa impulsnog točka koji je montiran na vratilu turbine. Impulse obrađuju tri modula predajnika brzine u kojima se ovi signali kontinualno stvaraju. Regulator brzine (1MAD10DS001) djeluje kao regulator tipa PI koji radi bez opterećenja i kao regulator tipa P koji radi na električnoj mreži. Statički pad proporcionalnog regulatora može se podešavati u opsegu  $5 = 2^{10}\%$ . Standardno podešavanje regulatora je na  $5 = 5\%$ . Zadana vrednost brzine  $n_z$  vrši se ručnim podešavanjem. Rukovaoc može da odredi zadate tačke brzine (slika br.6) i da podesi bilo koju vrednost između 0 i 3000 o/min preko numeričke tastature.

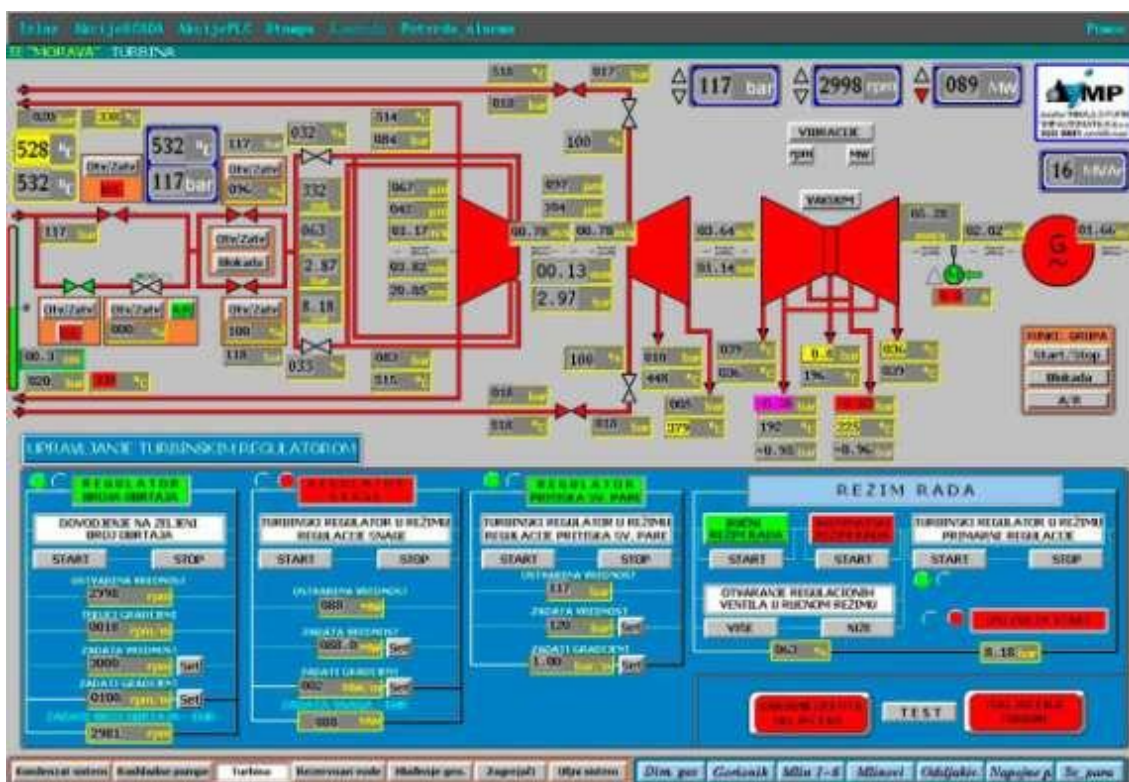
#### 3.3.2. Sinhronizacija

Sinhronizacija se može vršiti ručno, preko sinhronizacijske table ili automatski preko spoljnog uređaja za sinhronizaciju, koji nije deo regulatora. Posle sinhronizacije, brzinski regulator ostaje u stanju pripravnosti (nikada se ne isključuje, već se uspostavlja mrtva zona pored toga što se osnovna frekvencija koriguje na stvarnu frekvenciju mreže).

#### 3.3.3. Režim regulacije opterećenja

Za vreme zagrevanja turbine rukovaoc može da bira između režima regulacije opterećenja, režima regulacije pritiska sveže pare ili režima osnovne regulacije (slika br.7). Uključivanjem regulatora opterećenja (1MKA10DE001) regulator turbine će održavati konstantno električno opterećenje na generatoru (slika br.6). Zadatu tačku opterećenja daje rukovaoc. Posle odabiranja gradijenta opterećenja i posle određivanja ciljnog opterećenja počinje program opterećenja.

U skladu sa merenjem parametara sveže pare regulacioni ventili sveže pare će se otvarati ili zatvarati radi uspostavljanja električnog opterećenja.



Slika 6 – MMI prikaz turbinskog regulatora

### 3.3.4. Režim regulacije pritiska sveže pare

Uključivanjem regulatora pritiska sveže pare (1LBA10DP001) regulator turbine će održavati konstantan pritisak pare ispred glavnog parnog ventila sveže pare (slika br.6). Zadatu tačku pritiska daje rukovaoc (slika br.7). U skladu sa smanjenjem pritiska sveže pare regulacioni ventili turbine za visok pritisak se otvaraju ili zatvaraju radi ponovnog uspostavljanja neophodnog pritiska. Posle određivanja ciljnog pritiska zadata tačka pritiska ići će do ciljnog pritiska sa gradijentom 1% u min.

Regulator pritiska sveže pare predstavlja alternativu regulatoru opterećenja: jedan od njih je aktivan u određenom trenutku.

Regulacija pritiska sveže pare jeste operacija u kojoj „turbina prati kotao“ odnosno turbina će koristiti onoliko pare koliko je stvoreno u kotlu.

### 3.3.5. Režim osnovne regulacije

U režimu osnovne regulacije rukovaoc postavlja zadatu tačku otvaranja regulacionih ventila sveže pare ( npr. brzinu protoka pare, snagu generatora ) uz pomoć regulatora za otvaranje regulacionih ventila. Dobijeni zadati signal regulacionih ventila predstavlja zbir zadate vrrednosti otvaranja i korektivnog signala koji dolazi od regulatora brzine. Režim osnovne regulacije nije regulacija zatvorene petlje jer opterećenje generatora zavisi od parametara sveže pare.

### 3.3.6. Režim primarne regulacije

Karakteristika primarne regulacije mreže ( korekcije brzog opterećivanja u skladu sa smanjenjem frekvencije u spoljnoj električnoj mreži, 1MAD10DS002 ) predstavlja dodatak operaciji sa upravljačem opterećenja (1MKA10DE001 ). Prethodno podešena karakteristika frekvencije - opterećenja ( mrtva zona frekvencije, pomak frekvencije, pad ) koristi se za korekciju stvarnog električnog opterećenja kako bi se ponovo uspostavili normalni uslovi mreže.

### 3.3.7. Graničnici opterećenja ( 2MAY20DE900 )

- Graničnik ubrzanja

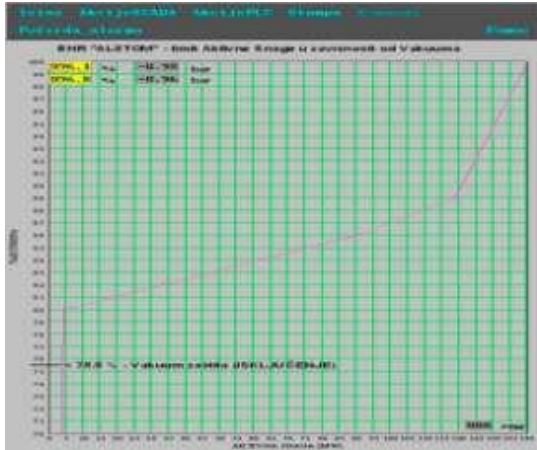
Stvarno izmeren gradijent brzine vratila turbine upoređuje se sa njegovom dozvoljenom graničnom vrednošću. U slučaju velikog i opasnog ubrzanja graničnik ubrzanja zatvara regulacione ventile kako u režimu praznog hoda turbine tako i u njenim režimima rada na mreži.

- Graničnik opterećenja generatora

Ovaj graničnik delimično zatvara regulacione ventile za visok pritisak u slučaju prekomernog povećanja električnog opterećenja generatora preko nominalne granice.

- Graničnik vakuumske pritiska

Ovaj graničnik delimično zatvara regulacione ventile za visok pritisak u slučaju prekomernog povećanja pritiska u kondenzatoru (slika br. 7 ).



Slika 7 – Vakuumski graničnik i vakuumska zaštita

- Graničnik pritiska sveže pare Graničnik gradijenta pada pritiska delimično zatvara regulacione ventile ako pritisak sveže pare brzo opada. Ovaj graničnik je aktivan kada pad pritiska prekorači ~ 10%, a gradijent pritiska prekorači 3% od nominalnog pritiska u minutu.

### 3.3.8. Sigurnosni sistem

- Digitalni sigurnosni regulator. Podešen je da isključi turbinu na 8% iznad nominalne brzine turbine.
- Vakuum zaštita. Isključuje turbinu ako vakuum u kondenzatorima padne ispod 75,5%.
- Zaštita od niskog pritiska ulja. Isključuje turbinu ako pritisak regulacionog ulja padne ispod 5,5 bar.
- Zaštita od otkazivanja merenja broja obrtaja Isključuje turbinu ako otkazu 2 od 3 merenja broja obrtaja.

## 4. PREDNOSTI ELEKTRO-HIDRAULIČNOG REGULATORA U ODNOSU NA MEHANIČKO-HIDRAULIČNI

Analiza rada mehaničkog i elektronskog sistema regulacije parne turbine se bazira na zapažanjima i iskustvu koje je sticano kroz višegodišnji rad sa jednim i drugim načinom regulacije.

- Zastarelost i dotrajalost starog mehaničko-hidrauličkog sistema turbinske regulacije, kao i problemi u održavanju su njegovi osnovni nedostaci.

Sklopovi i delovi kao što su: pužni prenosnici, tegovi, opruge, poluge, ležajevi, čaure, rolne, spojke, zupčasta pumpa, šiberi, sinhronizatori, ručni i elektro pogoni, razni releji, kontaktori, sklopke, merne membrane, reducirni, blende i

armatura činili su ovaj sistem komplikovanim za održavanje.

Jednom godišnje je trebalo kompletan sistem remontovati, prekontrolisati, zameniti dotrajale i potrošene delove, izvršiti podešavanja i probe. Sve ovo zahtevalo je vreme, kvalifikovane i stručne radnike i materijalna ulaganja.

Poluge, zupčanici, ležajevi, i ostali elementi prenosa impulsa čine ceo sistem regulacije nepreciznim, sporim i samim tim nepouzdanim, posebno se to isticalo u nestacionarnim stanjima rada turbine.

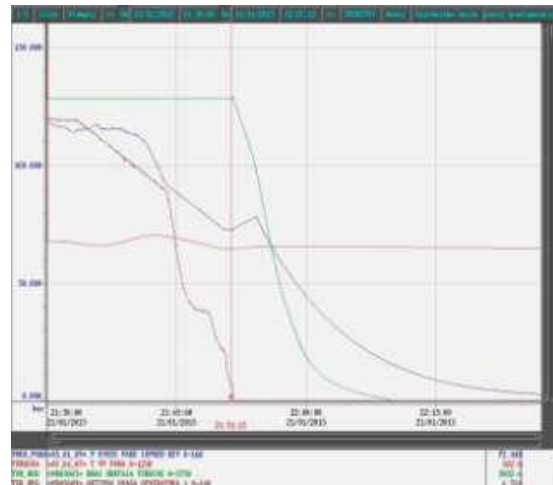
Osim olakšavanja procesa održavanja, modernizacijom sistema turbinske regulacije uvođenjem elektro-hidrauličnog regulatora podigla se pouzdanost, raspoloživost i sigurnost turboagregata u celini, pošto napredniji sistem omogućuje:

- precizan, siguran i pojednostavljen proces startovanja, opterećivanja i isključenja turbine,
- precizniju kontrolu položaja, bolje dinamičke karakteristike regulacionih ventila i time bolje performanse sistema u celini,
- uvođenje novih naprednijih funkcija u sistemu vođenja turbine i monitoringa,
- korišćenje trokanalne elektronske nadbrzinske zaštite,
- uz bolji sistem vođenja i monitoringa i trokanalni sistem turbinske zaštite-veću sigurnost turbine u radu.

## 5. PERFORMANSE ELEKTRO-HIDRAULIČNOG REGULATORA TURBINE

### 5.1. Isključenje turbine iz pogona

Od signala se prati pritisak sveže pare ispred turbine, temperatura, aktivna snaga i broj obrtaja turbine.



Slika 8 – Isključenje turbine iz pogona

## 5.2. Izvođenje turbine na nominalnu brzinu, sinhronizacija, opterećivanje

Od signala se prati pritisak sveže pare ispred turbine, temperatura, aktivna snaga i broj obrtaja turbine.



Slika 9 – Izvođenje turbine na nominalnu brzinu, sinhronizacija, opterećivanje

## 5.3. Rad regulatora snage u situaciji kada je pao pritisak sveže pare

Od signala se prati pritisak sveže pare ispred turbine, struja regulatora, aktivna snaga, zadata snaga i otvorenost regulacionih ventila.



Slika 10 – Rad regulatora snage pri padu pritiska pare

## 6. ZAKLJUČAK

Nakon višegodišnjeg rada elektrohidrauličnog regulatora parne turbine u TE „Morava” Svilajnac, može se zaključiti da je rad ovog sistema bio besprekoran, koristan i pouzdan u svim režimima rada turboagregata.

U više navrata ukazala se potreba za delovanjem graničnika opterećenja zbog pada pritiska pare, zbog lošeg vakuuma u kondezatoru, zbog naglog ubrzanja turbine i prekoračenja broja obrtaja ili je proradila zaštita turbine zbog raznih poremećaja u postrojenjima.

U svim navedenim situacijam rad elektrohidrauličnog regulatora je bio potpuno pouzdan i bez greške što je svakako sačuvalo turboagregat i postrojenje od raznih kvarova i oštećenja.

Sredstva koja su uložena zbog remonta i održavanja su zanemariva jer kompletan sistem od elektronike do hidraulike radi bez kvara.

Elektrohidraulični regulator i sistem turbinskih zaštita ima sve funkcije, karakteristike i performanse koje se od jednog modernog sistema za upravljanje, regulaciju i zaštitu parne turbine očekuju. Uz adekvatna prilagođenja može se primeniti na kondenzacione parne turbine svih snaga i ima mogućnost integracije u bilo koji nadređeni sistema upravljanja. Sistem je u proteklom periodu, od puštanja u pogon 2004. godine dokazao projektovanu funkcionalnost, kako prikazuju priloženi dijagrami.

U narednom periodu sistem bi se mogao unaprediti uvođenjem uticaja termičkog napreznja turbine. U originalnom dizajnu parne turbine nije bio predviđen poseban sistem termičkog monitoringa, postoje samo tehničke preporuke za vođenje turbine. Sistem bi se mogao unaprediti kalkulatorom mehaničkih napreznja rotora turbine koja nastaju usled brzih promena opterećenja turboagregata i uvođenje tog uticaja na funkcije turbinskog regulatora u smislu održavanja termičkih napreznja u prihvatljivim granicama.

## LITERATURA

- [1] Razumović F., Parne turbine, Savez energetičara, Zagreb, 1984.
- [2] Smiljanić J., Parne turbine, Tehnička knjiga, Beograd, 1963.
- [3] Tehnički opis parne turbine TK-120, TE „Morava” Svilajnac,
- [4] Tehnički opis regulacije parne turbine TK-120, TE „Morava” Svilajnac,
- [5] Tehnički opis elektrohidrauličnog regulacionog sistem kondezujuće turbine od 125 MW, TE „Morava” Svilajnac,
- [6] P.Nikšić, Upravljanje kvalitetom, VŠTSS Čačak, 2011.
- [7] P.Nikšić, Upravljanje kvalitetom-praktikum, VŠTSS Čačak, 2014.

