Prethodno saopštenje UDK: 621.184.6:681.5.013=861
BIBLID: 0358-8528(2000),13,p. 21-31

NELINEARNI MATEMATIČKI MODELI POMOĆNIH UREĐAJA KOTLA

Slobodan Bogdanović,
Elektrotehnički institut "Nikola Tesla" u Beogradu

Sadržaj: *U radu su formirani nelinearni matematički modeli pomoćnih uređaja kotla u termoelektrani. Definisani su vektori ulaznih i izlaznih veličina modela. Povezivanjem modela pojedinačnih uređaja preko njihovih vektora ulaznih i izlaznih veličina formira se model skupa pomoćnih uređaja kotla.*

Ključne reči: *matematički model / parni kotao / pomoćni uređaji kotla*

1 UVOD

U literaturi je objavljeno više matematičkih modela namenjenih prikazivanju složenih procesa koji se odvijaju u termoblokovima [1,2,3,4]. Publikovani su nelinearni modeli vrlo visokog reda koji detaljno opisuju procese u parnom kotlu i parnoj turbini. Pri matematičkom modelovanju pojedinih vrlo značajnih delova parnog kotla (isparivač, pregrejač) procesi u njima se tretiraju, strogo egzaktno, kao sistemi sa raspodeljenim parametrima, pa se dolazi do sistema nelinearnih parcijalnih diferencijalnih i nelinearnih algebarskih jednačina. Međutim, mnogo su brojniji modeli procesa u parnom kotlu i turbini koji kao osnovnu pretpostavku uvode da se radi o sistemima sa skoncentrisanim parametrima. Eventualna nedovoljna tačnost takvih modela, za definisanu namenu, popravlja se formiranjem modela manjih konstruktivnih celina parnog kotla u kojima se odvijaju posmatrani procesi. Sistemi nelinearnih diferencijalnih i algebarskih jednačina takvih modela sastoje se od više desetina diferencijalnih jednačina i bar dvostruko više algebarskih jednačina. Ali, čak i u vrlo detaljnim i glomaznim matematičkim modelima [1,2,3,4] prikazuju se procesi od uvođenja napojne vode u kotao, goriva i vazduha u ložište pa do izlaza iz stepena turbine niskog pritiska. Ogromna većina modela dostupnih iz literature ne obuhvata procese koji se odvijaju u celom parnom ciklusu termobloka.

Za praktičnu primenu modela procesa u termobloku potrebno je obuhvatiti i procese u delu zatvorenog parnog ciklusa od izlaza iz stepena turbine niskog pritiska pa do ulaza u predgrejač parnog kotla. Energetska oprema u kojoj se odvijaju procesi iz tog dela parnog ciklusa u termoelektranama naziva se pomoćni uređaji kotla. U ovom radu prikazuju se nelinearni matematički modeli procesa koji se odvijaju u pomoćnim uređajima kotla. Pri tome su obuhvaćeni kondenzator, parni zagrejači vode sa parom niskog pritiska, rezervoar napojne vode sa degazatorom, parni zagrejači vode sa parom visokog ili srednjeg pritiska, pumpa za napojnu vodu i pogonski asinhroni motori. Namena ovih modela je da se povežu sa detaljnim nelinearnim modelom parnog kotla i turbine za analizu dinamičkog ponašanja termobloka.

2 O PRISTUPU PRI FORMIRANJU MATEMATIČKOG MODELA

U radu se razmatraju nelinearni matematički modeli pomoćnih uređaja kotla čija je namena da budu deo modela kompletnog parnog ciklusa koji se odvija u termobloku. Osnovni zahtevi koji se postavljaju pri formiranju takvih modela podudaraju se, dakle, sa zahtevima koji se postavljaju pri formiranju odgovarajućih matematičkih modela parnog kotla i turbine. To su [4,5]:

- dovoljna tačnost za željenu primenu,
- što jednostavniji model za željenu primenu i
- odnosi između promenljivih i parametara modela i fizičkih veličina i karakteristika realnog sistema treba da su što neposredniji, jednostavniji i jasniji.

Pri postavljanju modela pomoćnih uređaja kotla uvode se određene pretpostavke sa ciljem dobijanja jednostavnijih i preglednijih modela. Među mnogobrojnim često korišćenim pretpostavkama, osnovne su:

a) svi elementi modelovanog fizičkog sistema mogu se modelovati kao sistemi sa skoncentrisanim parametrima,
b) kada se modeluje komponenta sastavljena od više paralelno postavljenih elemenata istog tipa (npr. cevi, pumpe, itd.) onda se paralelno postavljeni elementi zamenjuju sa jednim ekvivalentnim elementom,
c) bilo koja karakteristika fluida (voda, para, grejni gas) je uniformna na uočenom poprečnom preseku što omogućava korišćenje jednodimenzionalnih umesto prostornih modela,
d) pri postavljanju modela sa skoncentrisanim parametrima reprezentativni poprečni presek za razmatrani pomoćni uređaj je izlazni poprečni presek (posmatrano u smeru strujanja radnog fluida), a ne centralni ili ulazni presek (ovakav izbor uslovljen je problemima kji se javljaju pri numeričkom rešavanju modela i mogućnostima uprošćavanja modela),
e) inercija gasovitih produkata sagorevanja je mnogo manja nego inercija radnog fluida, odnosno dinamički procesi u prostoru grejnog gasa odvijaju se mnogo brže nego odgovarajući procesi u prostoru radnog fluida,
f) ne može se zanemariti promena gustine radnog fluida usled promene pritiska u odnosu na promenu gustine usled promene temperature radnog fluida.

Nelinearni matematički modeli pomoćnih kotlovskih uređaja formiraju se korišćenjem analitičkih izraza za opisivanje zakona o održanju mase, energije i količine kretanja, analitičkih izraza za zakone o prenošenju toplote i za prikazivanje konstitutivnih odnosa između termodinamičkih veličina i normalizovanih spoljnih karakteristika pumpi i asinhronih motora.

Osnovne karakteristike dobijenih modela su:

- Modeli su dobijeni uz osnovnu pretpostavku da se modelovani sistem može razmatrati kao sistem sa skoncentrisanim parametrima. Prikladnom primenom tog pristupa dolazi se do matematičkog modela kod koga postoji neposredna i jasna veza između promenljivih i parametara modela i fizičkih veličina i karakteristika realnog sistema. Ova osobina modela značajno olakšava sračunavanje parametara modela.
- Model uključuje nelinearnosti i vredi za široke opsege promene opterećenja termobloka i za različite promene ulaznih veličina.
- Konstitutivni odnosi između termodinamičkih veličina (određeni tablicama pare) uvršteni su u model preko aproksimacionih polinoma. Pomoću njih se po želji tačno sračunavaju termodinamičke veličine u specificiranim opsezima pritiska i temperature.
- Formirani modeli uvažavaju mogućnost velikih promena napona i učestanosti u sistemu što značajno utiče na rad pomoćnih uređaja kotla.

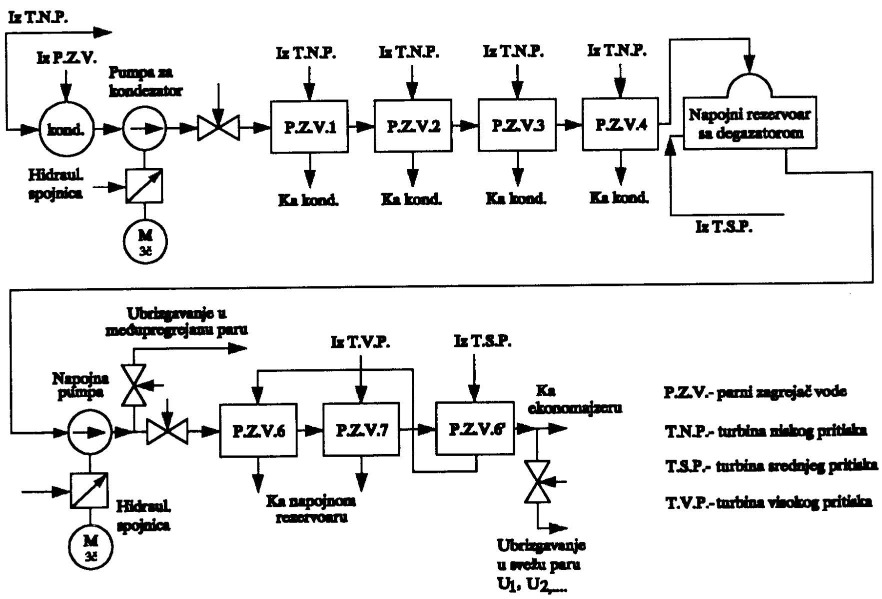
Parametri modela sračunavaju se na osnovu konstruktivnih podataka, podataka o načinu prenošenja toplote i nivoa opterećenja termobloka.

3 NELINEARNI MATEMATIČKI MODELI POMOĆNIH UREĐAJA KOTLA

Funkcionalni blok dijagram pomoćnih kotlovskih uređaja u TE "Nikola Tesla" - A prikazan je na sl.1. On se odnosi na termoblok sa protočnim potkritičnim parnim kotlom.

Izrađena para iz parne turbine se uvodi u kondenzator pare. Iz kondenzatora se voda pumpama dovodi u parne zagrejače vode sa parom niskog pritiska pa u rezervoar za napojnu vodu. U njemu se voda meša i zagreva sa parom ohlađenom na parnim zagrejačima vode srednjeg i visokog pritiska pa se zatim odvodi kroz zagrejače vode sa parom srednjeg i niskog pritiska u predgrejač kotla.

Raspored i međusobna povezanost pomoćnih kotlovskih uređaja u traktu napojne vode je praktično jednaka za termoblokove većih snaga. Male razlike postoje u broju uređaja (npr. zagrejača vode) i u mestima sa kojih se oduzima para za zagrevanja radnog fluida.



Sl.1 Blok dijagram pomoćnih uređaja kotla

3.1. Matematički model kondenzatora pare

Kada se uvaže činjenice da se pritisak radnog fluida u kondenzatoru malo menja, odnosno da je približno stalan, i da je radni fluid u kondenzatoru u zasićenom stanju, onda je

$$p_{co}^{o} = C_{co} \tag{3.1.1}$$

$$h_{co}^{o} = f_{co}^{h}(p_{co}^{o}) \tag{3.1.2}$$

gde je sa f^{h}_{co} (p^{o}_{co}) označena funkcija (polinom) kojim se prikazuje zavisnost entalpije zasićene vode na izlazu kondenzatora od pritiska zasićene vode u oblasti promene pritiska od interesa.

Parametar modela kondenzatora je C_{co}.

Matematički model kondenzatora pare u vektorskom obliku je

$$0 = f_{co}(x_{co}) \tag{3.1.3}$$

$$x_{co} = (p^{o}_{co}, h^{o}_{co})^{T} \tag{3.1.4}$$

$$y_{co} = x_{co} \tag{3.1.5}$$

3.2. Matematički model parnog zagrejača vode sa parom niskog pritiska

Analizirani parni zagrejač vode sa parom niskog pritiska je zagrejač zatvorenog tipa. Para niskog pritiska za zagrevanje vode oduzima se iz stepena turbine niskog pritiska.

Primenom izraza za zakone o održavanju mase, energije i impulsa na veličine na ulazu i izlazu parnog zagrejača dobija se:

$$\frac{d\rho^{o}_{pzw}}{dt} = \frac{1}{V_{pzw}}(W^{i}_{pzw} - W^{o}_{pzw}) \tag{3.2.1}$$

$$\frac{d(\rho^{o}_{pzw} u^{o}_{pzw})}{dt} = \frac{1}{V_{pzw}}(W^{i}_{pzw} h^{i}_{pzw} - W^{o}_{pzw} h^{o}_{pzw} + Q_{pz}) \tag{3.2.2}$$

$$p^{i}_{pzw} - p^{o}_{pzw} = k_{pzw}\frac{(W^{i}_{pzw})^{2}}{\rho^{i}_{pzw}} \tag{3.2.3}$$

Jednačine stanja vode na ulazu i izlazu parnog zagrejača vode su

$$\rho^{i}_{pzw} = f^{\rho}_{pzw}(p^{i}_{pzw}, h^{i}_{pzw}) \tag{3.2.4}$$

$$h^{o}_{pzw} = f^{h}_{pzw}(\rho^{o}_{pzw}, h^{o}_{pzw}) \tag{3.2.5}$$

$$p^{o}_{pzw} = f^{p}_{pzw}(\rho^{o}_{pzw}, h^{o}_{pzw}) \tag{3.2.6}$$

prikazane polinomima kojima se aproksimiraju podaci iz tablica pare u određenom opsegu.

Matematički prikazi zakona o održanju mase, energije i impulsa za zasićenu paru niskog pritiska kojom se zagreva voda u zagrejaču vode su

$$W^{o}_{pzs} = W^{i}_{pzs} \tag{3.2.7}$$

$$Q_{pz} = W^{o}_{pzs}(h^{i}_{pzs} - h^{o}_{pzs}) \tag{3.2.8}$$

$$p^o_{pzs} = p^i_{pzs} \qquad (3.2.9)$$

a jednačina stanja zasićene pare niskog pritiska je

$$h^o_{pzs} = f^h_{pzs}(p^o_{pzs}) \qquad (3.2.10)$$

Parametar modela parnog zagrejača vode je V_{pzw}.

Nelinearni matematički model parnog zagrejača vode sa parom niskog pritiska može se posle prevođenja u prostor stanja prikazati u vektorskom obliku

$$\frac{dx_{1pz}}{dt} = f_{1pz}(x_{1pz}, x_{2pz}, u_{pz}) \qquad (3.2.11)$$

$$0 = f_{2pz}(x_{1pz}, x_{2pz}, u_{pz}) \qquad (3.2.12)$$

$$y_{pz} = C_{pz} \cdot x_{pz} \qquad (3.2.13)$$

$$x_{1pz} = (\rho^o_{pzw}, u^o_{pzw})^T \qquad (3.2.14)$$

$$x_{2pz} = (W^o_{pzw}, p^i_{pzw}, h^o_{pzw}, Q_{pz}, \rho^i_{pzw}, W^o_{pzs}, p^o_{pzs}, h^o_{pzs})^T \qquad (3.2.15)$$

$$x_{pz} = (x^T_{1pz}, x^T_{2pz})^T \qquad (3.2.16)$$

$$u_{pz} = (W^i_{pzw}, h^i_{pzw}, p^o_{pzw}, W^i_{pzs}, p^i_{pzs}, h^i_{pzs})^T \qquad (3.2.17)$$

$$C_{pz} = \mathrm{diag}(0,0,1,1,1,0,0,1,1,1) \qquad (3.2.18)$$

Matematički modeli parnog zagrejača vode sa parom oduzetom iz stepena turbine srednjeg ili visokog pritiska imaju isti oblik (3.2.11-3.2.18) i razlikuju se samo prema vrednostima parametara modela i ulaznih i izlaznih veličina modela.

3.3. Matematički model pumpe za vodu iz kondenzatora

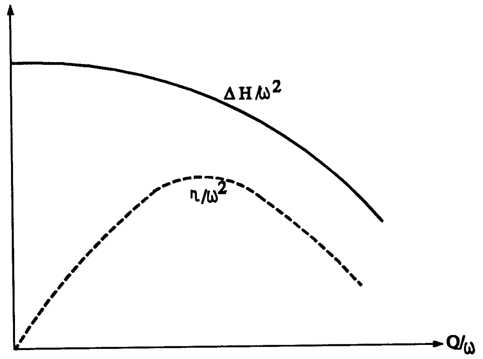
Spoljne karakteristike pumpi obično su zadate pomoću grafičkih dijagrama koji pokazuju zavisnost visine pumpanja ΔH i stepena korisnog dejstva η od protoka Q za različite brzine ω. Ova dva skupa dijagrama mogu se prikazati u obliku dve krive koje određuju promene normalizovane visine $\Delta H/\omega^2$ i normalizovanog stepena korisnog dejstva η/ω^2 pri promenama normalizovanog protoka Q/ω. Oblik normalizovanih spoljnih karakteristika pumpi prikazan je na sl.2. Normalizovane karakteristike pumpe se za potrebe formiranja matematičkog modela aproksimativno prikazuju polinomima.

Matematički model pumpe za vodu iz kondenzatora ima sledeći oblik

$$\frac{d\omega_{pc}}{dt} = \frac{1}{J_{pc}}(M^i_{pc} - M^o_{pc}) \qquad (3.3.1)$$

$$M^o_{pc} = \rho_{pc}\, g Q_{pc}\, \Delta H_{pc} /(\eta_{pc}\, \omega_{pc}) \qquad (3.3.2)$$

$$\eta_{pc} = \omega_{pc}^2 [K_{1pc} + K_{2pc} \frac{Q_{pc}}{\omega_{pc}} + K_{3pc} (\frac{Q_{pc}}{\omega_{pc}})^2] \tag{3.3.3}$$



Sl. 2. Normalizovane spoljne karakteristike pumpe

$$\rho_{pc} = f_{pc}^{\rho}(p_{pc}^{i}) \tag{3.3.4}$$

$$Q_{pc} = W_{pc} / \rho \tag{3.3.5}$$

$$\Delta H_{pc} = \omega_{pc}^2 [K_{4pc} + K_{5pc} \frac{Q_{pc}}{\omega_{pc}} + K_{6pc} (\frac{Q_{pc}}{\omega_{pc}})^2] \tag{3.3.6}$$

$$p_{pc}^{o} - p_{pc}^{i} = \rho_{pc} g \Delta H_{pc} \tag{3.3.7}$$

$$W_{pc}^{o} = N_{pc} W_{pc} \tag{3.3.8}$$

$$h_{pc}^{o} = f_{pc}^{h}(p_{pc}^{o}, \rho_{pc}) \tag{3.3.9}$$

Prve dve jednačine prikazuju zakon o održavanju impulsa rotacionog kretanja i izlazni momenat pumpe. Konstante $K_{1pc},...,K_{6pc}$ u (3.3.3 i 3.3.6) se određuju pri aproksimaciji normalizovanih spoljnih karakteristika pumpe pri čemu se kao kriterijum koristi minimizacija kvadratnog odstupanja. Jednačina (3.3.8.) uvažava činjenicu da paralelno rade N_{pc} pumpi. Parametri modela su J_{pc}, $K_{1pc},...,K_{6pc}$, g i N_{pc}. Pri tome sa J_{pc} su uzeti momenti inercije pumpe i njenog pogonskog motora.

Matematički model pumpe se u vektorskom obliku prikazuje pomoću sledećih jednačina

$$\frac{dx_{1pc}}{dt} = f_{1pc}(x_{pc}, u_{pc}) \tag{3.3.10}$$

$$0 = f_{2pc}(x_{pc}, u_{pc}) \tag{3.3.11}$$

$$y_{pc} = C_{pc} x_{pc} \tag{3.3.12}$$

$$x_{1pc} = \omega_{pc} \tag{3.3.13}$$

$$x_{2pc} = (M^{o}_{pc}, \rho_{pc}, Q_{pc}, \Delta H_{pc}, \eta_{pc}, W_{pc}, W^{o}_{pc}, h^{o}_{pc})^{T} \tag{3.3.14}$$

$$x_{pc} = (x^{T}_{1pc}\ , x^{T}_{2pc})^{T} \tag{3.3.15}$$

$$u_{pc} = (p^{i}_{pc}, p^{o}_{pc}, M^{i}_{pc})^{T} \tag{3.3.16}$$

$$C_{pc} = \mathrm{diag}[1,0,1,0,0,0,0,1,1] \tag{3.3.17}$$

Jednačine matematičkog modela pumpe za napojnu vodu iz rezervoara napojne vode imaju potpuno jednak oblik uz pretpostavku da je voda na izlazu iz napojnog rezervoara, odnosno na ulazu u pumpu za napojnu vodu, u zasićenom stanju.

3.4. Matematički model asinhronog motora za pumpu za vodu iz kondenzatora (zajedno sa regulacionom hidrauličkom spojnicom)

Zavisnost momenta M od klizanja s asinhronog motora analitički se prikazuje

$$M^{i}_{pc} = \frac{C_{pcM} U^{2}}{\frac{s_{pcM}}{s^{\max}_{pcM}} + \frac{s^{\max}_{pcM}}{s_{pcM}}} \tag{3.4.1}$$

$$s_{pcM} = \frac{\omega^{s}_{pcM} - \omega_{pcM}}{\omega^{s}_{pcM}} \tag{3.4.2}$$

$$\omega^{s}_{pcM} = \frac{\omega_{el}}{C_{npc}} \tag{3.4.3}$$

$$\omega_{pcM} = K_{pc}\,\omega_{pc} \tag{3.4.4}$$

Parametri modela su veličine klizanja $s_{pcM}^{\max}$, maksimalni moment motora, konstanta C_{pcM} motora, napon U na krajevima motora, električna brzina motora ω_{el} koja je određena učestanošću mreže i broj pari polova C_{npc} motora.

Matematički model (3.4.1. - 3.4.4.) može se prikazati u vektorskom obliku

$$0 = f_{pcM}(x_{pcM}, u_{pcM}) \tag{3.4.5}$$

$$x_{pcM} = (M^{i}_{pcM}, s_{pcM}, \omega^{s}_{pcM}, \omega_{pcM})^{T} \tag{3.4.6}$$

$$y_{pcM} = C_{pcM}\, x_{pcM} \tag{3.4.7}$$

$$u_{pcM} = (\omega_{pc}, K_{pc})^{T} \tag{3.4.8}$$

$$C_{pcM} = \mathrm{diag}[1,0,0,0] \tag{3.4.9}$$

Matematički model motora koji pogoni pumpu za vodu iz rezervoara napojne vode zajedno sa njegovom regulacionom hidrauličkom spojnicom je identičan po obliku sa modelom (3.4.1.-3.4.9.).

3.5. Matematički model rezervoara za napojnu vodu sa degazatorom

Rezervoar za napojnu vodu je zagrejač otvorenog tipa. U njega se dovodi voda zagrevana u zagrejačima vode sa parom niskog pritiska. Voda se u njemu dalje zagreva mešanjem sa zasićenom parom nastalom od pare srednjeg i visokog pritiska posle njenog hlađenja na zagrejačima vode sa parom srednjeg i visokog pritiska.

Matematičke formulacije zakona o održanju mase i energije za prostor rezervoara za napojnu vodu su:

$$\frac{d(\rho^o_{nrs} V_{nrs} + \rho^o_{nrw} V_{nrw})}{dt} = W^i_{nrw} + W^i_{nrs} - W^o_{nrw} \tag{3.5.1}$$

$$\frac{d(\rho^o_{nrs} u^o_{nrs} V_{nrs} + \rho^o_{nrw} u^o_{nrw} V_{nrw})}{dt} = h^i_{nrw} W^i_{nrw} + h^i_{nrs} W^i_{nrs} - h^o_{nrw} W^o_{nrw} \tag{3.5.2}$$

Zapremina pare u napojnom rezervoaru V_{nrs} i zapremina vode V_{nrw} su vremenski promenljive veličine ali je njihov zbir konstantan

$$V_{nrs} + V_{nrw} = V_{nr} \tag{3.5.3}$$

Zapremina i visina vode H_{nrw} u rezervoaru u opštem slučaju povezani su aproksimacionim polinomom drugog stepena

$$H_{nrw} = K_{1nr} + K_{2nr} V_{nrw} + K_{3nr} V^2_{nrw} \tag{3.5.4}$$

Pad pritiska napojne vode u rezervoaru za napojnu vodu je jednak nuli

$$p^i_{nr} = p^o_{nr} \tag{3.5.5}$$

Voda i para u rezervoaru za napojnu vodu se nalaze u zasićenom stanju pa se sve termodinamičke veličine prikazuju pomoću samo jedne nezavisne termodinamičke veličine

$$\rho^o_{nrs} = f^{\rho}_{nrs}(p^o_{nr}) \tag{3.5.6}$$

$$\rho^o_{nrw} = f^{\rho}_{nrw}(p^o_{nr}) \tag{3.5.7}$$

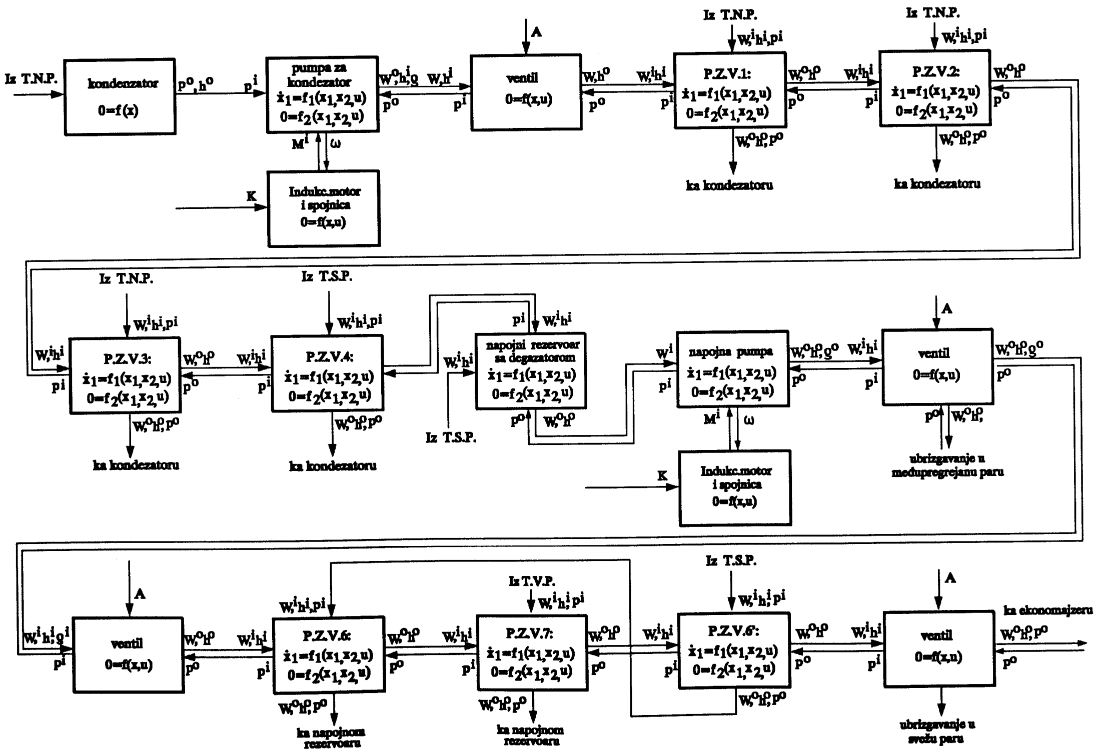
$$u^o_{nrs} = f^{u}_{nrs}(p^o_{nr}) \tag{3.5.8}$$

$$u^o_{nrw} = f^{n}_{nrw}(p^o_{nr}) \tag{3.5.9}$$

$$h^o_{nrw} = f^{h}_{nrw}(p^o_{nr}) \tag{3.5.10}$$

Parametri matematičkog modela su zapremina rezervoara V_{nr} i konstante aproksimacionog polinoma K_{1nr}, K_{2nr}, i K_{3nr}.

Matematički model rezervoara za napojnu vodu kotla u prostoru stanja prikazan je u vektorskom obliku sledećim jednačinama:



Sl. 3. Povezani matematički model skupa pomoćnih uređaja kotla

$$\frac{dx_{1nr}}{dt} = f_{1nr}(x_{1nr}, x_{2nr}, u_{nr}) \tag{3.5.11}$$

$$0 = f_{2nr}(x_{1nr}, x_{2nr}, u_{nr}) \tag{3.5.12}$$

$$x_{nr} = (x_{1nr}^T, x_{2nr}^T)^T \tag{3.5.13}$$

$$y_{nr} = C_{nr}\, x_{nr} \tag{3.5.14}$$

$$x_{1nr} = (p_{nr}^i, V_{nrw})^T \tag{3.5.15}$$

$$x_{2nr} = (W_{nrw}^o, \rho_{nrs}^o, \rho_{nrw}^o, u_{nrs}^o, u_{nrw}^o, h_{nrw}^o, V_{nrs}, H_{nrw})^T \tag{3.5.16}$$

$$u_{nr} = (W_{nrw}^i, W_{nrs}^i, h_{nrw}^i, h_{nrs}^i, p_{nr}^o)^T \tag{3.5.17}$$

$$C_{nr} = \mathrm{diag}[1,0,1,0,0,0,0,1,0,0] \tag{3.5.18}$$

3.6. Matematički model skupa pomoćnih uređaja kotla

U radu su formirani matematički modeli za svaki od pomoćnih uređaja kotla sa sl. 1 osim za ventile. Modeli ventila ne navode se u ovom radu pošto se obično formiranju u okviru modela parnog kotla (npr. ventili za ubrizgavanje rashadne vode u pregrejanu paru u pregrejače i međupregrejače kotla). Osim toga to su vrlo jednostavni modeli kojima se algebarskom jednačinom prikazuje pad pritiska radnog fluida. Modeli pomoćnih kotlovskih uređaja prikazani su i u vektorskom obliku sa definisanim ulaznim i izlaznim veličinama modela.

Matematički model dela procesa u zatvorenom parnom ciklusu koji se odvija od izlaza iz stepena turbine niskog pritiska do ulaza u parni kotao, odnosno u pomoćnim uređajima kotla, dobija se povezivanjem modela pojedinih pomoćnih uređaja pomoću vektora ulaznih i izlaznih veličina. Povezani model skupa pomoćnih uređaja kotla prikazan je na sl. 3. Model se sastoji od oko dvadeset diferencijalnih i više desetina algebarskih jednačina. Parametri modela izračunavaju se iz konstruktivnih podataka, podataka iz tehničke dokumentacije termobloka i iz rezultata određivanja aproksimacionih polinoma.

Analizom kompletnog modela skupa pomoćnih kotlovskih uređaja lako se uočava slaba povezanost promenljivih modela čak i u okviru pojedinačnih modela uređaja (u matematičkoj terminologiji slaba uslovljenost jednačina modela), a pogotovu u kompletnom modelu skupa pomoćnih uređaja kotla. Ta činjenica omogućava dekompoziciju modela i jednostavnije i brže rešavanje jednačina modela.

Matematički model skupa pomoćnih kotlovskih uređaja rešava se primenom istog numeričkog algoritma kojim se rešava i model parnog kotla [5,6]. Tim algoritmom se numerički stabilno, brzo i tačno simultano rešavaju diferencijalne i algebarske jednačine modela.

4 ZAKLJUČAK

U radu su formirani nelinearni matematički modeli pomoćnih uređaja kotla. Modeli su prikazani u vektorskom obliku sa definisanim vektorima ulaznih i izlaznih veličina što omogućava njihovo lako povezivanje u celinu. U okviru matematičkog modela skupa pomoćnih uređaja kotla postoji jasna i pregledna veza između parametara i promenljivih modela i konstruktivnih karakteristika i fizičkih veličina modelovanog sistema. Time je omogućeno lako sračunavanje parametara modela i korišćenje rezultata merenja i proračuna modelovanog sistema za određivanje promenljivih veličina u raznim radnim stanjima.

LITERATURA

[1] H. W. Kwan, J. H. Anderson: "A mathematical model for a 200MW boiler", Int.J.Control, Vol.12, No 6 ,1970, pp 997-988.

[2] G. Masada: "Mathematical Modelling of Once-Trough Supercritical Units; System Enginering for Power State Control, Davos, 1979.

[3] A. Bunzemeier, J. Papenfort: "Mathematische Modellbildung Dampferzeugers mit zirkulierender Wirbelshichtfeurung", Automatisiernugstechnik at 38, 1990, 22-30.

[4] "Upravljanje i automatizacija u termoenergetskim postrojenjima", Studija INT, Beograd, 1988.g.

[5] S. Bodanović: "Mathematical Modelling of Steam Generator and Design of Temperature Regulator", IFAC World Congress, Beijing, 5-9 July, 1999.

[6] S. Bogdanović: "Design of Suboptimal Superheated Steam Temperature Regulator", IFAC Conference Control of Industrial Systems, Belfort, 20-22 May, 1997.

SPISAK OZNAKA

- C - matrice izlaza, konstanta
- J - momenat inercije
- M - momenat
- Q - količina toplote, protok pumpe
- U - električni napon
- V - zapremina
- W - (maseni) protok
- g - ubrzanje sile gravitacije
- h - entalpija
- k - koeficijent trenja
- p - pritisak
- s - klizanje
- u - unutrašnja energija
- x - vektor stanja
- u - vektor ulaza
- y - vektor izlaza
- η - stepen iskorišćenja
- ρ - gustina
- ω - ugaona brzina

Indeksi

- co - kondenzator
- i - ulaz
- nr - rezervoar za napojnu vodu
- o - izlaz
- pc - pumpa za vodu iz kondenzatora
- pcM - motor pumpe za vodu iz kondenzatora
- pz - zagrejač pare
- s - para
- w - voda

Abstract: In this paper nonlinear mathematical models of boiler auxiliary devices are derived. Vectors of input and output variables of the models are defined. Mathematical model of all steam boiler auxiliary devices together is derived by connecting the individual models using the vectors of input and output variables.

NONLINEAR MATHEMATICAL MODELS OF STEAM BOILER AUXILIARY DEVICES

Slobodan Bogdanović