

Zasnova simulatorja za hidroelektrarno Ghazi-Barotha v Pakistanu

Martin Letonje¹, Sašo Blažič², Drago Matko², Matjaž Clemente¹

¹ Iskra Sistemi, Avtomatizacija procesov, d.d., Stegne 21, 1000 Ljubljana

² Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Tržaška 25, 1000 Ljubljana
martin.letonje@iskrasistemi.si; saso.blazic@fe.uni-lj.si; drago.matko@fe.uni-lj.si;
matjaz.clemente@iskrasistemi.si

The design of the simulator for the Ghazi-Barotha hydro-powerplant

In this paper the design of the simulator for the hydro-powerplant (HPP) Ghazi-Barotha is presented. The simulator is used as a training simulation system to help teaching the operator personnel how to operate with the HPP in a safe environment. The modelling of the HPP is pointed out, and the configuration of the training simulator system is depicted.

1. Uvod

Članek opisuje izdelavo simulatorja za hidroelektrarno (HE) Ghazi-Barotha v Pakistanu, ki se nahaja v zgornjem toku reke Ind, 100km severozahodno od glavnega mesta Islamabad. Sama elektrarna je sestavljena iz več sklopov, ki so razporejeni na dolžini 60 km. Glavni sestavni deli elektrarne so hidravlične zapornice za reko Ind na jezu, kanal (dolžina kanala je 57 km, normirani pretok je 1600 m³/s, njegova globina znaša 9 m), 5 generatorjev, katerih skupna moč znaša 1500 MW, visokonapetostno stikališče (500kV) s šestimi zveznimi in merilnimi polji ter hidravlične zapornice na koncu kanala.

Sama izgradnja elektrarne se je pričela leta 1996 in je bila zaključena novembra 2004. Elektrarna je popolnoma avtomatizirana s pomočjo ABB krmilno procesne opreme, celoten sistem vodenja hidroelektrarne pa je bil razvit v podjetju Iskra Sistemi. Inženirji tega podjetja so tudi vodili implementacijo vodenja na terenu. Funkcije vodenja, krmiljenja in nadzora elektrarne omogočajo zagon, zaustavitev agregatov, preklop različnih stikal in

odpiranje ter zapiranje zapornic z enega mesta (kontrolne sobe).

Ne glede na avtomatiziranost in avtonomnost same elektrarne je na elektrarni zmeraj prisotna posadka, ki lahko v primeru težav in okvar na kontrolnem sistemu preklopi elektrarno na ročni način vodenja in s tem prepreči nadaljnje težave in okvare. Za doseganje visoke stopnje znanja in pripravljenosti je vsak operater podvržen specifičnemu šolanju, ki vključuje osvajanje najrazličnejših znanj. Ker pa je elektrarna živ sistem in na njem ni mogoče izvajati šolanja, je naročnik zahteval, da se zgradi sistem, ki bi omogočal urjenje bodočih operaterjev in obnavljanja znanja starih operaterjev. Vse te funkcije so bile vključene v sistem za simulacijo elektrarne.

V članku je predstavljeno modeliranje sistema, glavni poudarek pa je na opisu simulatorja, katerega funkcije so porazdeljene med trener, inštruktorsko postajo in ostalo strojno opremo.

2. Modeliranje

Kadarkoli se odločimo za izdelavo simulatorja, moramo najprej izdelati matematični model, ki bo ustrezno opisal lastnosti procesa. Kakovost modela močno vpliva na podobnost realnega in simuliranega procesa. Kakor pri izdelavi katerega drugega simulatorja, se nam tudi tukaj pojavi vprašanje, kaj želimo simulirati. Ker je bil naš sistem predviden za usposabljanje posadke elektrarne, so bile nekatere funkcije, ki za posadko niso bile zanimive, modelirane v poenostavljeni obliki. Poenostavitve so bile naslednje:

- Zaradi doseganja enakih časovnih odzivov kot v realnem času so bo bile narejene določene poenostavitve matematičnega modela.
- Procesni sistemi elektrarne, ki nimajo bistvenega vpliva na izdelavo simulatorja elektrarne, so bili zanemarjeni ali poenostavljeni. Tukaj predvsem mislimo na pomožne pogone agregata kot so razne črpalke, kompresorji, ventili, transformatorji itd.
- Zaradi zelo kratkih časovnih odzivov električnih veličin v primerjavi s hidravličnimi veličinami, so bile električne veličine simulirane kot statične in preračunane s pomočjo splošnih enačb v elektrotehniki.
- Določene poenostavitve so bile narejene tudi na koračnem izvajanju sekvenc zagona in zaustavitve agregata. Naslednja sekvenca se lahko prične šele po zaključku predhodne sekvence. Celoten model HE je bil simuliran kot časovno diskreten sistem.
- Simulacija krmilnih procesov elektrarne je bila poenostavljena. V simulator so bile vključene samo »low level« funkcije in način daljinskega vodenja elektrarne. S tem pristopom je bil omogočen način vodenja elektrarne s pomočjo posadke, saj v nasprotnem primeru elektrarno nadzoruje nadzorni sistem, ki pa je popolnoma avtomatski.

Na začetku izdelave modela sta bili narejena dva koraka:

- Celoten sistem elektrarne je bil razbit na manjše sklope, kjer so se upoštevale navzkrižne povezave med posameznimi podsistemi elektrarne.
- Glede narave signalov, ki se pojavljajo na elektrarni sta bila uporabljena dva pristopa simulacije le-teh. Zvezni časovno nespremenljivi sistemi so bili simulirani s pomočjo diskretnih prenosnih funkcij. Nekateri sistemi se dajo najlažje opisati kot avtomati, ker temeljijo na dogodkih. Za sisteme prvega tipa je bila izvedena časovna sinhronizacija znotraj vsakega cikla izvajanja simulacije, medtem ko smo

sisteme drugega tipa klicali s pomočjo posameznih funkcij asinhrono.

Zaradi obsežnosti matematičnega modela je le-ta bil razdeljen na manjše elemente, saj je le-te lažje simulirati in nadzorovati. V našem primeru, je bil sistem razdeljen na sledeče dele:

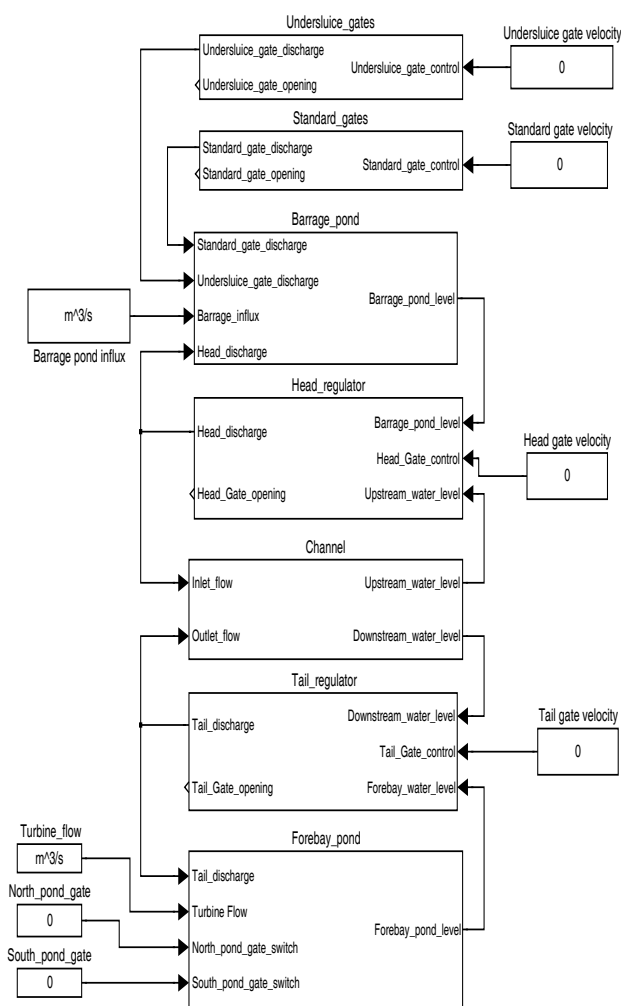
- hidravlični model:
 - jez,
 - standardne zapornice – 20 zapornic,
 - poplavne zapornice – 8 zapornic,
 - zgornji regulator – 8 zapornic,
 - kanal,
 - spodnji regulator – 4 zapornice,
 - bazen in pretočna polja;
- električni model:
 - 5 generatorjev,
 - 500 kV stikališče – 6 zveznih in merilnih polj.

Električni in hidravlični del sta bila simulirana ločeno. Edina povezava med enim in drugim sistemom je pretok skozi turbino.

Povezavo med posameznimi sklopi hidravličnega modela predstavlja slika 1.

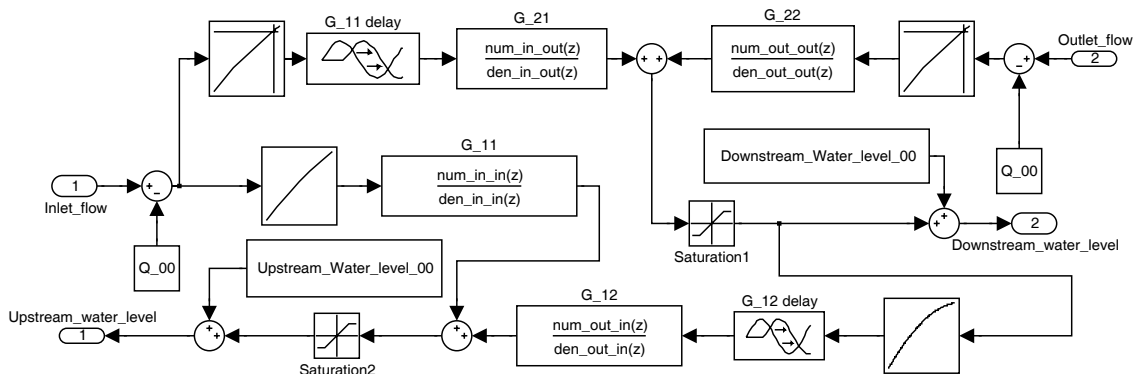
Vsak sklop hidravličnega sistema smo lahko modelirali posamezno, pomagali pa smo si s podobnostjo različnih tipov zapornic. Največ težav nam je pri tem delu modeliranja predstavljalo pomanjkanje podatkov z objekta, saj nekaterih podatkov o velikosti in teži zapornic ni bilo mogoče dobiti, zelo pomanjkljivi pa so bili podatki o pretokih. Manjkajoče podatke smo ocenili, kasneje pa so se podatki popravljali tudi v fazi implementacije simulatorja na terenu.

S stališča simulacije in modeliranja je kanal najzanimivejši del. Samo modeliranje kanala [2] je bilo popolnoma ločeno od ostalih hidravličnih sklopov. Edina povezava med njimi je bil pritok vode v kanal, nivo vode v kanalu in odtok vode iz kanala v bazen pred elektrarno. Model kanala predstavlja slika 2. Velik problem pri modeliranju kanala so predstavljali robni pogoji, ki nikoli niso bili natančno definirani, zato smo morali izvesti določene poenostavitve.



Slika 1: Povezava posameznih sklopov hidravličnega modela

Model električnega dela je prevelik in prezahteven, da bi ga predstavili v enostavni shemi. Tudi tukaj je bil izbran pristop z razbitjem modela na manjše kose. Za povezavo podmodelov smo uporabili tiste signale, ki so skupni obema sklopoma.



Slika 2: Shematični prikaz kanala

3. Trenažer

Namen trenažerja je, da nudi kakovosten način šolanja za bodoče operaterje v okolju, ki je na las podobno okolju v pravi elektrarni. Sam trenažer je neodvisen sistem, ki se sicer nahaja v elektrarni, vendar nima nikakršnega vpliva na samo elektrarno, kar omogoča šolanje posadke brez vplivov na elektrarno.

Sam trenažer je sestavljen iz naslednjih sklopov, kar je vidno tudi na sliki 3.

- PLC krmilnik (plant simulation PLC),
- inštruktorska postaja (instructor station),
- delovna postaja (training station),
- mrežna oprema.

Izvajanje simulacijskih nalog na trenažerju se izvaja na različnih nivojih. Glavni simulacijski program se odvija na inštruktorski postaji, kjer se izračunavajo in shranjujejo vsi podatki o simulaciji. Inštruktor lahko na tem mestu vnaša v sistem razne napake in scenarije, tako da jih izbere iz določenega menija. Inštruktorsko mesto je zasnovano tudi tako, da lahko inštruktor pripravi vse probleme in dogodke v naprej, potema pa se te napake avtomatsko generirajo v predpisanih časovnih obdobjih.

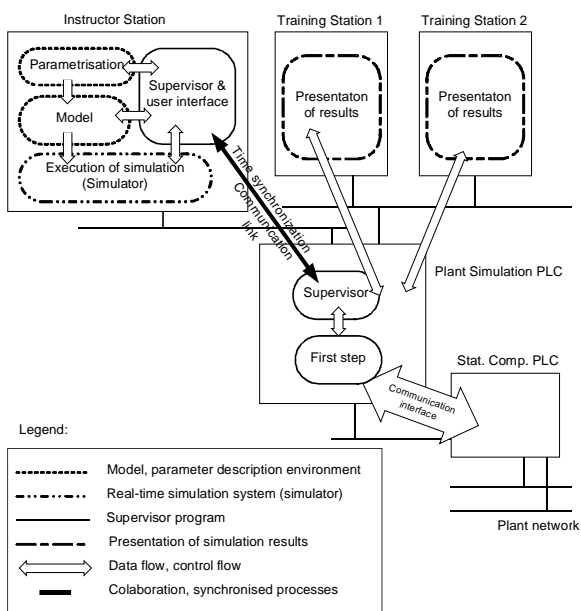
Delovna postaja nudi učencem enako delovno okolje, kakršno jih čaka v elektrarni. Na njej so naložene slike in funkcije, s katerimi lahko učenci izvajajo najrazličnejše operacije vodenja elektrarne. Omogoča jim zagon in zaustavitev agregatov, preklapljanje stikal v stikališču, odpiranje zapornic, diagnostiko elektrarne, sistema itd.

Za združitev signalov, ki se izračunavajo na inštruktorski postaji in njihovo predstavitev na delovni postaji skrbi programirljivi logični

krmilnik. To je ABB 450 Advant krmilnik, ki služi kot nekakšen vmesnik med enim in drugim sistemom. Signali iz inštruktorske postaje potujejo do delovne postaje s pomočjo TCP/IP protokola. Vmes je potrebno te signale spremeniti v takšno obliko, da jih je mogoče predstaviti na delovni postaji. To nalogo prevzame krmilnik.

Krmilnik služi tudi kot podatkovna baza vseh signalov, ki so uporabljeni v sistemu in posrednik med trenerjem in elektrarno.

Koncept simulatorja je izveden tako, da se en del signalov, ki so potrebni za določitev začetnih pogojev, prebere iz realnega sistema elektrarne. Ta način je izveden s pomočjo DSP



Slika 3: Potek podatkov

komunikacije na nivoju ABB krmilnika.

Trenažer omogoča poleg šolanja bodočih operaterjev tudi način šolanja ekipe za vzdrževanje procesne opreme. Omogoča jim možnost šolanja in odkrivanja napak na procesni opremi, še preden so se le te zgodile na realnem sistemu.

4. Programska oprema na inštruktorski postaji

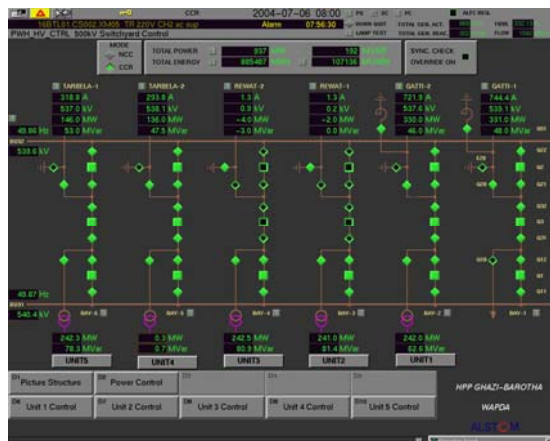
Kot je že bilo omenjeno v prejšnjem poglavju, je najvažnejši del trenažerja inštruktorska postaja, na kateri teče poseben simulacijski program, ki je bil napisan v C++

programskem jeziku. Sam program izvaja dve glavni nalogi, in sicer:

- izvajanje simulacijskih algoritmov,
- izvajanje komunikacijskega programa.

Pri izdelavi simulacijskega algoritma smo upoštevali to, da v sistemu nastopajo tri različne skupine signalov, in to so:

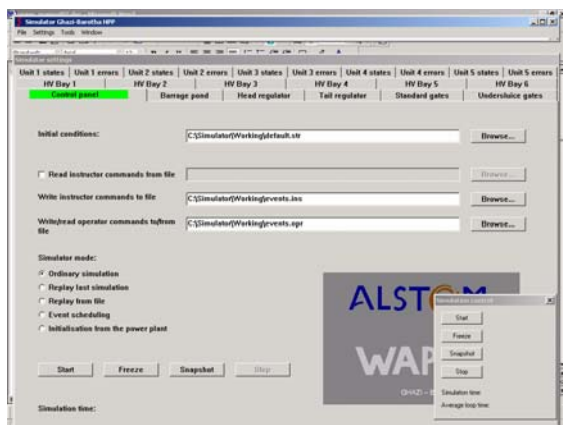
- **Izračunani signali.** To je najvažnejša skupina signalov v celotnem sistemu. Sem spadajo vsi signali, ki se izračunavajo v času izvajanja simulacije. V tej skupini najdemo vse signale povezane s hidrodinamičnim modelom (pretoki, nivoji, pozicije zapornic, pritoki) in električnim modelom (električne moči, tokovi, napetosti, pozicije stikal v stikališču, faktorji moči itd.). Skratka, sem spadajo vsi signali, ki se izračunajo med simulacijo (skupaj jih je nekaj tisoč).
- **Signali iz delovne postaje.** Sem spadajo vsi signali, ki prihajajo v inštruktorsko postajo z delovnega mesta učencev po lokalni mreži, za komunikacijo je uporabljen TCP/IP protokol. Ti signali so vse akcije, ki jih je izvršil učenec na svojem delovnem mestu.



Slika 4: Delovno okolje operaterja

- **Vhodi iz inštruktorske postaje.** Vsaka simulacija, ki se izvaja na katerem koli simulatorju za šolanje, mora omogočati vzpostavljane najrazličnejših scenarijev in težav. V tem primeru je bil razvit vmesnik, s pomočjo katerega lahko inštruktor vnaša v sistem napake in dogodke (težave na zapornicah, črpalkah,

ležajih, navitijih, turbinah, ventilih, tlačnih posodah, oljnih nivojih, težave na zaščitnih napravah itd). Sam vmesnik vsebuje tudi menije, kjer lahko inštruktor spreminja hitrost izvajanja simulacije, naloži lahko stare simulacije, analizira lahko rezultate prejšnjih simulacij itd.



Slika 5: Inštruktorski vmesnik

Pseudokodo programa, ki teče na inštruktorski postaji, bi lahko na zelo poenostavljen način zapisali v obliki naslednje zanke:

```
While Not DemandForStop
  Synchronise simulation time with real time
  Read the commands from operator (train. st.)
  Compute asynchronous model
  If simulation time is greater than Tsyn
    Compute synchronous model
    Set Tsyn = Tsyn + sampling time
  End If
  Send signals to operator (training station)
Endwhile
(The commands from the instructor are handled
asynchronously via Windows callbacks.)
```

5. Posebne funkcije simulatorja

Pri gradnji simulatorja smo morali izvesti tudi nekaj posebnih funkcij, ki naj bi jih trener nudil inštruktorski postaji:

- **Sinhronizacija simulacije z realnim časom.** Vsaka simulacija, ki se je izvedla, je vključevala posebno funkcijo za

sinhronizacijo z realnim časom in tako je imel učenec občutek, kot da je na dejanski elektrarni. Pri izvajanju simulacije ima inštruktor možnost spreminjanja hitrosti izvajanja simulacije. Tako jo lahko pospeši in pri tem ne rabi čakati na odzive, ki trajajo 4 ure, kot je recimo sprememba pretoka v kanalu ob odpiranju in zapiranju zapornic na glavnem jezu. Inštruktor ima tudi možnost zamrznitve celotne simulacije.

- **Beri/pošlji signale iz/na delovno mesto.** Vse komande in ukazi, ki jih izvede učenec se zmeraj shranijo v določeno datoteko, kjer jih lahko inštruktor analizira. Vse te komande se lahko uporabijo pri izvajanju naslednje simulacije.
- **Posnetek simulacije.** Vsaka simulacija, ki je bila izvedena se da zmeraj ponoviti z enakimi problemi in težavami.

6. Zaključek

Izkazalo se je, da je bil simulator dobro zasnovan, saj je bil projekt uspešno zaključen. Seveda pa je potrebno poudariti, da bi bilo možno mnoge stvari izpeljati veliko bolje, če bi v začetni fazi več časa posvetili modeliranju in izbiri signalov, ki jih bomo simulirali. Izkazalo se je namreč, da je signalna lista do zadnje verzije doživela mnogo revizij. Najbolj pomembno je, da smo vse težave uspešno odpravili in zgradili stabilen sistem, ki že deluje v elektrarni. Upajmo, da bo uspešno opravljal svoje poslanstvo šolanja posadke v elektrarni.

7. Literatura

- [1] *Ghazi-Barotha Hydropower Project – project documentation.*
- [2] E. B. Wylie, *Fluid Transients in Systems*, Prentice Hall, 1993.