



Strål
säkerhets
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

Författare:

Bengt-Göran Bergdahl
Ritsuo Oguma

Forskning

2009:10

Regleringen av matarvattenflödet
i en BWR

Med exempel från Forsmark 2

Titel: Regleringen av matarvattenflödet i en BWR. Med exempel från Forsmark 2.
Rapportnummer: 2009:10
Författare: Bengt-Göran Bergdahl och Ritsuo Oguma
GSE Power Systems AB, Nyköping
Datum: Mars 2009

Denna rapport har tagits fram på uppdrag av Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM. De slutsatser och synpunkter som presenteras i rapporten är författarens/författarnas och överensstämmer inte nödvändigtvis med SSM:s.

SSM perspektiv

Bakgrund

Säkerheten i kärntekniska anläggningar ska upprätthållas genom att radiologiska olyckor förebyggs. I reaktorer sker detta genom att det finns flerfaldiga barriärer och ett så kallat djupförsvar. I djupförsvaret ingår att åtgärder vidtas för att tillförsäkra lugn och störningsfri drift utan transienter som kan utmana säkerhetssystemen. Exempel på transienter som ska undvikas är sådana som orsakas av felfunktioner i matarvatten- och hjälpmatarvattensystemen. Erfarenheten har visat att denna typ av transienter har relativt hög förekomstfrekvens och att de kan ge ett inte obetydligt riskökningsbidrag. Den reaktivitetshändelse som inträffade 1999 i Oskarshamn 2 var en okontrollerad matarvattentransient och en bidragande orsak vid denna händelse har bedömts vara trögheten i matarvattenregleringen.

Det finns därför skäl att ytterligare öka kunskapen om de problem som kan uppkomma i reaktorernas matarvattenreglering och åtgärder som kan vidtas för att undvika dessa. Behovet accentueras dessutom av kärnkraftindustrins planer på effekthöjning i flera reaktorer.

Syfte

Projektets syfte har varit att beskriva matarvattenregleringen i en kokvattenreaktor och att undersöka reglersystemets stabilitet och dynamiska egenskaper som är viktiga för driften och säkerheten i anläggningen. Syftet har också varit att identifiera och belysa potentiella problem i regleringen för att ge såväl SSM som tillståndshavarna ökad kunskap inom området.

Resultat

Rapporten ger en detaljerad beskrivning av matarvattenregleringen vid Forsmark 2, som kan sägas vara representativ även för Forsmark 1. Analysresultaten visar att F2:s reglering fungerar väl. Rapporten pekar dock på att det ändå finns vissa förbättringsmöjligheter av både teknisk och administrativ art.

Behov av ytterligare forskning

De olika kokvattenreaktorernas matarvattenreglering bedöms skilja sig åt mer än vad som är fallet med tryckvattenreaktorerna. Det kan därför finnas behov av att undersöka någon ytterligare kokvattenreaktor. Ett förslag är Oskarshamn 2 där det alltså skedde en matarvattentransient 1999. Det kan också vara intressant att utvärdera hur den stora effekthöjning som planeras på Oskarshamn 2 kan komma att påverka matarvattenregleringen.

Projektinformation

Projektnummer: 1191-01

Diarienummer: SSM 2008/88

SSM:s handläggare: Johan Ljung, Enheten för Reaktorteknik

Projektorganisation: Bengt-Göran Bergdahl (projektledare) och Ritsuo Oguma, GSE Power Systems AB

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Abstract	5
1 Bakgrund	7
2 Matarvattenregleringen vid Forsmark 2	8
2.1 Mätdata från Forsmark 2	9
2.2 Ifrågasatt funktion hos flödesregulatorn	10
2.3 Matarvattenpumptripp och automatisk start av reservpump	14
2.4 Uppskattning av PIP-parametrar baserat på ARx-modellering	18
2.5 Nivåregulatorn i Forsmark 2	20
2.6 Kondensorbilansregleringen vid Forsmark 2	23
2.7 Reglerteknisk bedömning	26
2.8 Egenskaper hos instrumentkomponenter	27
3 Slutsatser	29
4 Referenser	30

Sammanfattning

En undersökning av matarvattenregleringen vid Forsmark 2 har genomförts vid GSE Power Systems AB på uppdrag av Statens Kärnkraftinspektion (SKI) som sedan blivit Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM). Undersökningen baseras på signalanalys av mätdata som registrerats under drift vid verket i samband med olika prov.

Matarvattenregulatorn består av nivå-, flödes- och kondensorbalsregulatorn. Det övergripande syftet med matarvattenregleringen är att upprätthålla konstant vattennivå i reaktorn (nivåregulatorn) samt att balansera nivåerna i kondensorererna så att inte en fylls medan den andra får alltför låg nivå (kondensorbalsregleringen). Därtill har flödesskillnaden mellan ång- och matarvattenflödet framkopplats (flödesregulatorn) för respektive turbin med syftet att minska variationen hos vattennivån i reaktorn. Styrkeförhållandet mellan de tre regulatorerna är sådant att nivåregulatorn är starkast, därefter kommer kondensorbalsregulatorn och sist flödesregulatorn.

Prov med tripp av matarvattenpump samt automatisk start av reservpump i respektive stråk visar en tydlig, snabb nedgång av nivån i reaktortanken som sedan återställs av reglersystemet under ett insvängningsförlopp. Insvängningen sker på ett stabilt sätt utan oscillationer. Det tar dock ungefär 100 sekunder innan nivån är återställd.

Rapportförfattarna ifrågasätter flödesregulatorns funktion. Den spelar inte den roll vid regleringen som förväntas när en störning inträffar hos skillnaden mellan ång- och matarvattenflödet. Förutom denna principiella svaghet finns en offset-avvikelse hos flödesregulatorn i Stråk 22 som gör att dess utsignal ger mindre styrbidrag än det som kunde förväntas vid inledningen av en störning. Denna avvikelse bör justeras i samband med instrumentunderhåll av matarvattenregulatorn.

Nivåregulatorns PIP-parametrar som utgörs av tidskonstanter samt förstärkning har beräknats med hjälp av processidentifiering utifrån registrerade in- och utsignaler till regulatorn. De beräknade tidskonstanterna och den beräknade förstärkningen stämmer bra med uppgivna värden.

Motsvarande identifieringar har också gjorts för kondensorbalsregulatorns PIP-parametrar. Resultaten visar att enbart det beräknade värdet av den korta tidskonstanten stämmer med de uppgivna värdena. De övriga beräknade parametrarna avviker från de uppgivna värdena. Orsaken till skillnaderna är oviss.

Processidentifiering har också gjorts av den instrumentkomponent som utför majoritetsval av de fyra vattennivåsignalerna i nivåregulatorn. Dessa beräkningar indikerar rimliga resultat för såväl responstid som förstärkning.

GSE Power Systems AB, Nyköping 2009

Abstract

An investigation of the feedwater controller at Forsmark 2 has been performed at GSE Power Systems AB sponsored by the Swedish Nuclear Power Inspectorate (SKI) which later has become the Swedish Radiation Safety Authority (SSM). The investigation is based on signal analysis of measurement signals recorded during operation of the plant during different tests.

The feedwater controller consists of the water level controller, the flow controller and the condenser balance controller. The overall goal of the feedwater control is to maintain constant water level (level controller) in the reactor and at the same time balance the water levels in the two condensers (condenser balance controller) to avoid that one condenser is full of water while the other one is operated with too low level. There is also a feedforward of the difference between steam flow and feedwater flow (flow controller) for each turbine system with the aim to reduce the fluctuation in reactor water level. The relation in strength between the three controllers is such that the level controller is the strongest followed by the condenser balance controller and finally the flow controller.

Tests with trip of the feedwater pump and automatic start of the spare pump in each turbine system indicates a fast reduction in reactor water level that is restored after the transient in the control system. The transient in water level is stable without oscillations. However, it takes about 100 s before the reactor water level is restored .

The function of the flow controller has been questioned by the authors. It does not take the action that is expected when a disturbance takes place in the difference between steam and feedwater flow. In addition to this principal weakness there is an offset in the feedwater controller output for feedwater flow 22 that reduces the contribution in flow control that is expected during the introduction of a disturbance. This offset should be adjusted during instrument maintenance of the feedwater controller.

The PIP parameters for the level controller are gain factors and time constants. These have been evaluated with the aid of process identification of recorded input and output signals to the controller. The calculated gain factor and time constants agree very well with expected values.

Corresponding identifications have also been performed for the condenser balance controller parameters. The results indicate that it is only the short time constant that agree with the expected values for the PIP controller. The other parameters deviate from the expected values. The reason for the discrepancies is unclear.

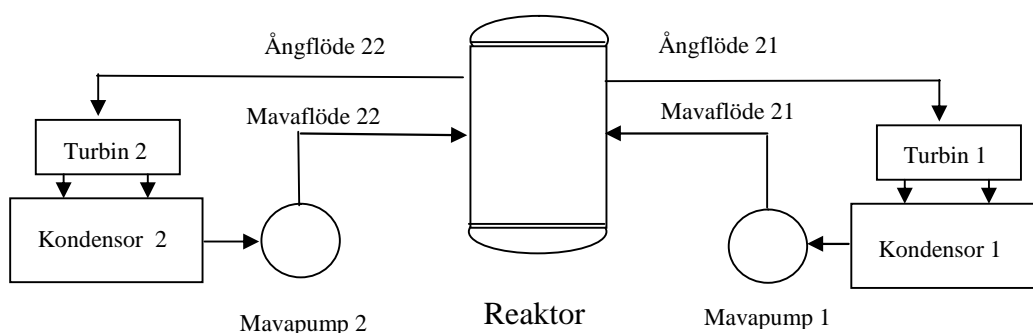
Process identification of the instrument component for the majority signal of the four reactor water signals has been performed. These calculations indicate realistic results for the response time and gain factor of the component.

GSE Power Systems AB, Nyköping 2009

1 Bakgrund

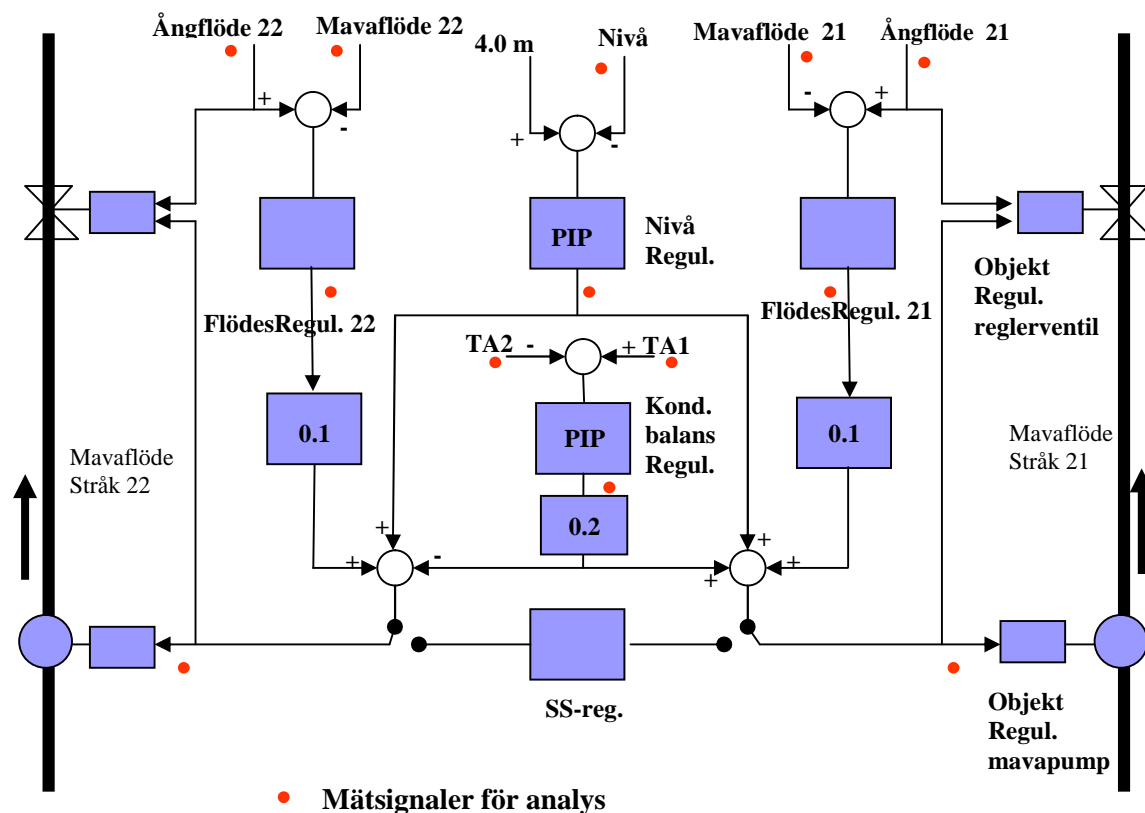
Den termiska effekten som utvecklas i reaktorns bränsle genererar ånga i härdkylflödet i en kokvattenreaktor (BWR) under effektdrift. Ångan leds till turbinen där dess energi omvandlas till mekaniskt arbete och slutligen elektrisk energi i anläggningens generator. I kondensorn sker kondensering av ångan och vattnet pumpas slutligen tillbaka till reaktortanken med hjälp av matarvattenpumpen.

Reaktorn i Forsmark 2 driver två turbiner, se Figur 1.1 som visar en principskiss av reaktorn med dess turbiner. Matarvattenregleringens syfte är att hålla vattennivån i reaktortanken konstant genom att reglera matarvattenflöde 21 och 22. Reglersystemets uppgift är också att reglera balansen mellan nivåerna i Kondensorn 1 och 2 så att inte den ena kondensorn överfylls medan den andra får alltför låg nivå.



Figur 1.1 Uttaget av ånga från reaktortanken går under effektdrift till turbinen för att därefter kondenseras till vatten i kondensorn och pumpas tillbaka som matarvatten till reaktortanken. I Forsmark 2 körs reaktorn tillsammans med två turbiner som framgår av figuren.

2 Matarvattenregleringen vid Forsmark 2



Figur 2.1 Förenklat blockschema för matarvattenregleringen vid Forsmark 2.

Regulatorns uppbyggnad i Forsmark 2 framgår lite mer detaljerat av Figur 2.1. De bägge matarvattenstråken återfinns längst till höger respektive vänster i figuren. Det högra stråket, med benämningen mavaflöde Stråk 21, är anslutet till turbin 1 medan mavaflöde Stråk 22 är anslutet till turbin 2.

Regleringen av matarvattenflödet sker med hjälp av objektregulatorerna för matarvattenpumpen samt reglerventilen. Under drift med hög effekt är reglerventilen helt öppen och matarvattenpumpens varvtal bestämmer flödet. Vid låg effekt däremot styrs samtidigt också ventilöppningen. Denna kombination av de bägge objektregulatorerna är designad för att ge ett linjärt förhållande mellan signalen till objektregulatorerna och matarvattenflödet.

Matarvattenregleringen består av nivåregulatorn, flödesregulatorn samt kondensorbalsregulatorn. Därtill finns en speciell snabbstoppsregulator som tar vid när snabbstopp inträffar.

Den överordnade regleringen sker med nivåregulatorn. Nivåbörvärdet, som är 4.0 m, jämförs med vattennivåtransmittarnas ärvärden. Skillnadssignalen påverkar objektregulatorerna för Stråk 21 och 22 exakt lika.

För att förbättra regleringen har en så kallad flödesregulator införts, vars uppgift är att snabbt öka alternativt minska objektregulatorns insignal när obalans uppstår mellan ång- och matarvattenflödet. En snabb förändring i skillnaden mellan dessa signaler kommer på sikt att leda till ökad eller minskad vattennivå i reaktortanken. Flödesregulatorn har med reglertekniskt språk en framkopplande funktion. Dess bidrag till objektregulatorns signal har sådan verkan att variationerna i vattennivån i reaktor minskar. Eftersom de bägge turbinerna har egna ång- och matarvattenflödesstråk så erfordras en individuell flödesregulator för vardera turbinsystem, se Figur 2.1.

Till slut så kompletteras regleringen med en kondensorbilansregulator. Dess insignaler utgörs av skillnaden mellan nivån i Kondensor 1 och 2. Regulatorns utsignal adderas till objektreglersignalen för mavaflöde Stråk 21 och subtraheras med samma värde från motsvarande signal för mavaflöde Stråk 22. Kondensorbilansregleringen har uppgiften att öka matarvattenflödet från den kondensor som har hög nivå och samtidigt minska flödet från den kondensor som har låg nivå. På så sätt förhindras att en enskild kondensor överfylls.

Innan summeringen av regulatorsignalerna som sker i blockdiagrammet så multipliceras flödesregulatorns bidrag med 0.1. Detta innebär att regulatorns påverkan på styrningen av matarvattenpumpens varvtal minskas. Kondensorbilansregulatorn har också en faktor för reduktion medan nivåregulatorn inte har någon reducerande faktor vid summeringen. Därmed har nivåregulatorn det starkaste inflytandet på styrningen av objektregulatorerna.

Flödesregulatorns bidrag är begränsat till +/- 1 V, medan kondensorbilansregulatorns bidrag är +/- 2 V och nivåregulatorns bidrag är 0–10 V, se KSU-kompendiet [1]. Detta innebär att signalen som går till objektregulatorn totalt får ett bidrag i intervallet -3 V till 13 V. Efter sammanslagningen av bidragen från nivå-, flödes- och kondensorbilansregulatorn så finns enligt uppgift en "limiterare" som begränsar signalen till objektregulatorn till området 2–10 V. Dessa uppgifter om regulatorernas spänningsområden visar att flödesregulatorn är den som har svagast inflytande på regleringen. Därefter följer kondensorbilansregulatorn som har dubbelt så stort inflytande som flödesregulatorn. Till sist kommer nivåregulatorn som har det tydligt starkaste inflytandet på objektregulatorn.

Referens [2]–[7] har haft relevans för analysen och utvärderingen av matarvattenregulatorns dynamik vid Forsmark 2.

2.1 Mätdata från Forsmark 2

En uppsättning mätdatafiler har ställts till förfogande i projektet. Registreringarna har gjorts i samband med prov i anläggningen men det finns också mätdata som samlats in under lugn fulleffektdrift. Mätdatafilerna A - E med sina förklaringar framgår av följande lista:

A) F2mvtrip21_070910_02.bin

Mätdata registrerades i anläggningen 2007-09-10 som också framgår av filnamnet. Under registreringen sker tripp av en matarvattenpump med automatisk start av reservpump i Stråk 21. Provet sker under fulleffektdrift med APRM = 108 % och HC-flödet = 9770 kg/s. Samplingsfrekvensen är 50 Hz. Provet visar den transient som

uppstår i matarvattenflödet samt hur matarvattenregleringen reagerar. Olyckligtvis leder denna transient till mättnad hos interna regulatorsignaler vilket är en nackdel vid den reglertekniska bedömningen. Ett stegsvarstest av börvärdesnivån till matarvattenflödesregulatorn hade varit ett intressant komplement till de tillgängliga mätningarna.

B) F2mvtrip22_070910_03.bin

Mätdata registrerades i anläggningen 2007-09-10 som också framgår av filnamnet. Under registreringen sker i detta fall tripp av en matarvattenpump med automatisk start av reservpump i Stråk 22. Provet sker under fulleffektdrift med APRM = 108.1 % och HC-flödet = 9774 kg/s. Samplingsfrekvensen är 50 Hz. Olyckligtvis leder denna transient till mättnad hos interna regulatorsignaler vilket är en nackdel vid den reglertekniska bedömningen.

C) F2delSS90p_070619_01.bin

Mätdata registrerades i detta fall i anläggningen 2007-06-19 enligt uppgiften i filnamnet. Samplingsfrekvensen är 25 Hz. Under insamlingen av mätdata sker delsnabbstopp vid 90 % effekt. Provet inleds under effektdrift med APRM \approx 90 % och 6238 kg/s. Delsnabbstoppet övergår efter transienten till stabil drift med APRM \approx 30 % samt HC-flödet = 3500 kg/s. Fördelningen mellan turbinerna är sådan att ångflödet i Stråk 21 = 400 kg/s och ångflödet i Stråk 22 = 740 kg/s under stabil drift före delsnabbstoppet. Efter delsnabbstoppet transporteras ånga endast till Stråk 22 och då med ångflödet = 340 kg/s.

D) F2mvTS_T22_070301_01.bin

Mätdata registrerades i detta fall 2007-03-01 som framgår av filnamnet. Samplingsfrekvensen är 25 Hz. Under mätningen sker turbinsnabbstopp för Stråk 22. Driftläget i början av registreringen är sådant att APRM = 108 % och HC-flödet = 9866 kg/s.

E) F2mavareg_080108_1.bin

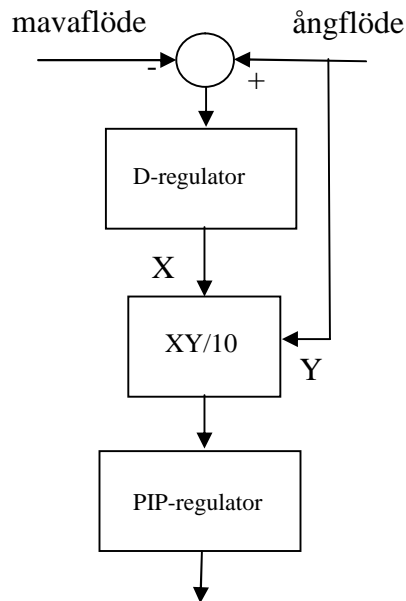
Mätdata registrerades 2008-01-08 som anges i filnamnet. Samplingsfrekvensen är 25 Hz. Lugn fulleffektdrift föreligger under mätningen. APRM = 108 % och HC-flödet = 9763 kg/s.

2.2 Ifrågasatt funktion hos flödesregulatorn

Idén med flödesregulatorn är att öka/minska objektregulatorns insignal innan nivån i reaktorn börjar ändras. Normalt görs detta genom att utnyttja skillnadssignalen mellan ång- och matarvattenflödet. Denna signal utgör i sig en ideal signal för reglerteknisk framkoppling eftersom den motsvarar derivatan av nivåsignalen. Därför brukar man låta skillnadssignalen mellan ång- och matarvattenflöde direkt påverka objektregulatorn.

Så är dock inte fallet i Forsmark 2. Figur 2.2 visar ett blockschema för flödesregulatorn. Av schemat framgår att den beskrivna skillnadssignalen passerar ett deriverande filter, benämnt D-regulator i Figur 2.2. Därefter går den filtrerade signalen X till en multiplikator där den multipliceras med ångflödessignalen Y och divideras med 10. Den på detta sätt erhållna signalen passerar därefter en överföringsfunktion av PIP-karaktär.

Den erhållna signalen varierar nu i intervallet -10/+10 V. Innan signalen slutligen påverkar objektregulatorn multipliceras den med 0.1.



Figur 2.2 Flödesregulatorns uppbyggnad enligt KSU-kompndiet [1].

Enligt uppgift från Forsmark har D-regulatorn och PIP-regulatorn följande överföringsfunktioner:

$$D(s) = \frac{TDs}{1+TDs} K_d$$

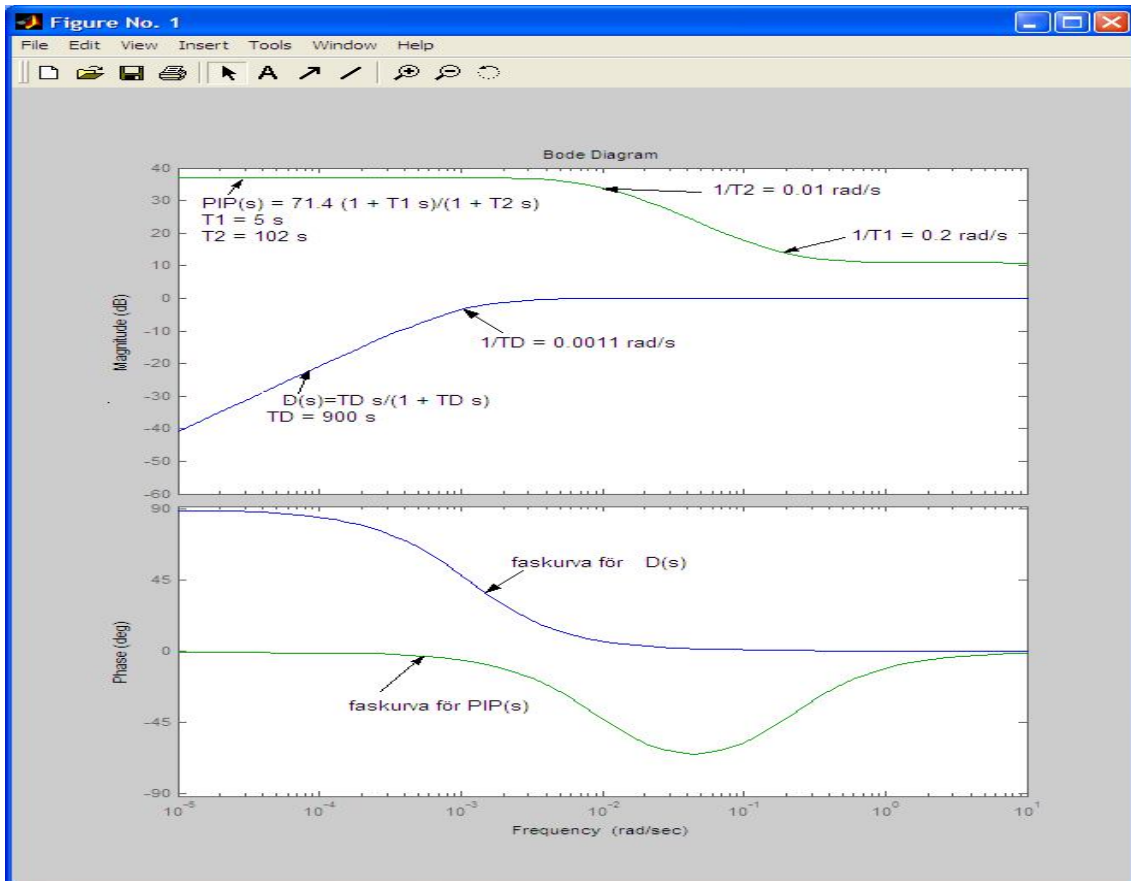
där $K_d = 1$ och $TD = 900$ sekunder.

$$PIP(s) = \frac{1}{K_2} \cdot \frac{Ts + 1}{\left(1 + \frac{1}{K_1 K_2}\right) Ts + 1}$$

där $T = 5$ sekunder, $K_1 = 3.68$ och $K_2 = 0.014$.

Bodediagram för de bägge överföringsfunktionerna $D(s)$ (blå kurva) och $PIP(s)$ (grön kurva) framgår av Figur 2.3. Den övre delen av figuren visar förstärkningskurvorna som funktion av frekvensen som anges i rad/sekund. Av Bodediagrammet framgår att $D(s)$ har deriverande funktion för frekvenser < 0.001 rad/s. Över denna frekvens reagerar D-regulatorn med konstant förstärkning. PIP-regulatorn förstärker frekvenser som är lägre än 0.002 rad/s med 71.4 gånger. För frekvenser däröver avtar förstärkningen för att som lägst bli 3.5 gånger för frekvenser > 0.6 rad/s.

Flödesregulatorn innehåller dessutom en multiplicerande komponent $XY/10$. Dess uppgift har bedömts vara att reducera flödesregulatorns signal när reaktorns effekt reduceras. Förstärkningen för komponenten $XY/10$ är 1 så länge som ångflödet är 100 % vilket motsvarar 10 V. En halvering av ångflödet reducerar följaktligen den multiplicerande komponentens förstärkning till 0.5.



Figur 2.3 Bodediagram för $D(s)$ och $PIP(s)$ som ingår i matarvattenregulatorns flödesregulator.

Vid full effekt blir därför flödesregulatorns bidrag:

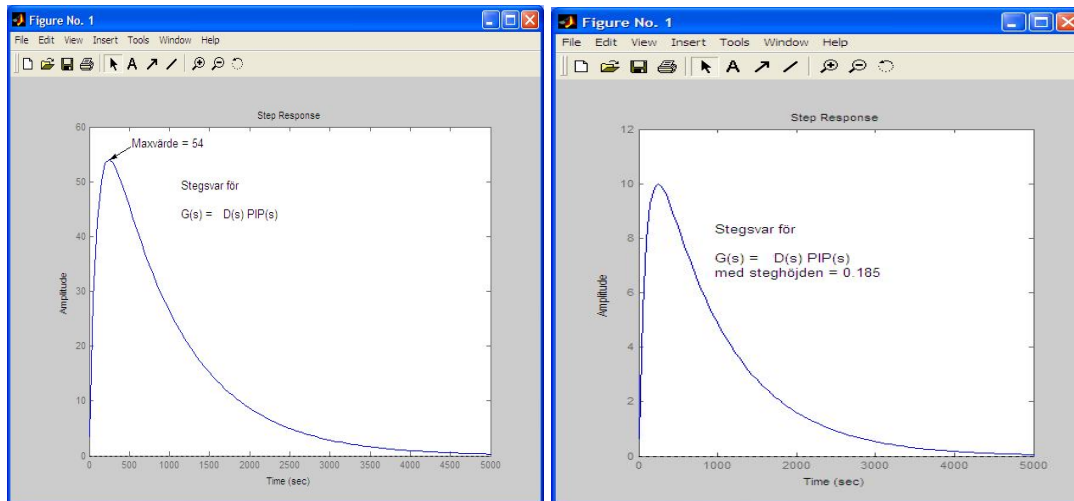
$$D(s) \times PIP(s) \times (\text{Ångflöde}(s) - \text{Mavaflöde}(s))$$

För att få en uppfattning om dess funktion har ett teoretiskt stegsvarstest genomförts för $D(s) \times PIP(s)$. Resultatet visas i Figur 2.4. Utsignalen stiger raskt vid stegtesten till 54 för att sedan klinga av mot noll med ökande tid, se vänster graf i Figur 2.4. Den högra grafen i samma figur visar stegsvar med steghöjden $0.185 = 1/5.4$. Denna ger maximalvärdet = 10. Stegsvartesten är lärorik då den visar att en spontan ändring av flödesskillnaden motsvarande 0.185 V ger en maximal respons hos flödesregulatorn med 10 V . Utöver denna spänning sker mättnad hos flödesregulatorns utsignal.

En spontan ändring av insignalen till D-regulatorn motsvarande 0.185 V motsvarar en så liten flödesskillnad som 18.5 kg/s , eftersom 10 V motsvarar 1000 kg/s . Detta innebär att en plötslig flödesskillnadsavvikelse strax under 2% av flödesgivarens mätområde är tillräcklig för att flödesregulatorn ska ge mättnad.

Flödesregulatorn saknar således rimlig proportionalitet. Stora eller små flödesskillnader ($>18.5 \text{ kg/s}$) leder till mättnad av dess utsignal. Den efterföljande multiplikatorn med förstärkningen 0.1 gör sedan att flödesregulatorns inflytande dessutom aldrig kan bli mer än 1 V , varför dess bidrag till regleringen av matarvattenflödet blir orimligt litet.

Stegsvaren visar dessutom att utsignalen från flödesregulatorn reduceras till noll trots att skillnaden är konstant mellan flödessignalerna under stegtesten. Denna egenskap innebär att en konstant, stor avvikelse kan råda statistiskt mellan ång- och matarvattenflödet samtidigt som flödesregulatorns utsignal är 0.



Figur 2.4 Stegsvär med enhetssteg för överföringsfunktionen $D(s) PIP(s)$ framgår av vänster graf medan stegsvär med steghöjden 0.185 V framgår av höger graf.

Den multiplicerande komponenten $XY/10$ är i sig olinjär. Detta är besvärande i ett regelsystem eftersom en olinjäritet kan orsaka en oväntad dynamik i samband med en transient. Normalt införs bara olinjära komponenter i en regulator för att kompensera en i processen befintlig olinjäritet. Detta görs då på sådant sätt att olinjäriteterna tar ut varandra. Därför är till exempel objektregulatorn, som styr matarvattenpumparna i Forsmark 2, försedd med en reglerventil som arbetar i vissa driftlägen för att skapa ett linjärt samband mellan matarvattenflödet och matarvattenregulatorns objektsignal.

Ifrågasättandet av flödesregulatorn kan sammanfattas i följande punkter:

- Flödesregulatorns bidrag till matarvattenregleringen är begränsat till ± 1 V. Detta begränsar dess inflytande på ett oväntat sätt.
- Regulatorn saknar rimlig proportionalitet. Utsignalen mäts så snart som en stegformad ändring större än 18.5 kg/s förekommer hos flödesskillnaden.
- Den multiplicerande komponenten $XY/10$ är olinjär och kan därför orsaka besvär vid stora transienter.
- Skillnaden mellan ång- och matarvattenflödet är den lämpligaste signalen för reglerteknisk framkoppling. Det är gåtfullt varför den deriveras vid låga frekvenser av flödesregulatorn. Derivationen innebär att regulatorns utsignal går mot noll även om en konstant avvikelse gäller för skillnadssignalen.

Den sistnämnda punkten skulle kunna förklaras med att exempelvis en spontan död av en transmittersignal för ång- eller matarvattenflöde statistiskt leder till att utsignalen från

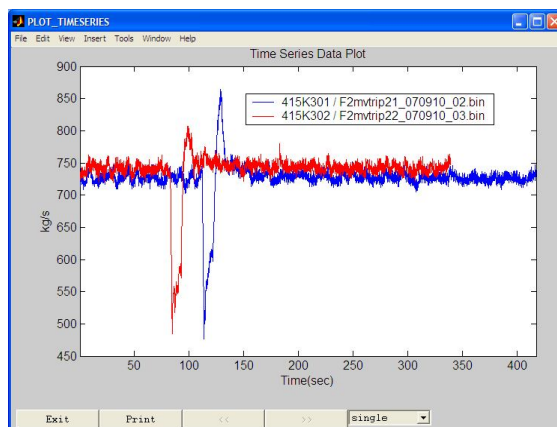
flödesregulatorn = 0, istället för att äventyra nivåregleringen som skulle vara fallet om derivationen inte ingick i regulatorn. Ett sätt att förhindra dylika förlopp är att förse instrumentsystemet med multipla transmittar för ång- och matarvattenflöde.

2.3 Matarvattenpumptripp och automatisk start av reservpump

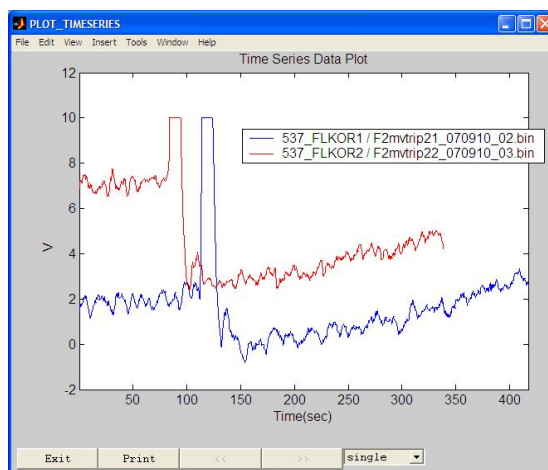
Mätdata har erhållits från Forsmark 2 som registrerats 2007-09-10 i samband med matarvattenpumptripp och automatisk start av reservpump. Proven har genomförts för respektive stråk vid olika tillfällen. Resultaten visas i Figur 2.5 – 2.9. För att göra proven jämförbara visas resultaten för de två stråken i samma figur. Figur 2.5 visar matarvattenflödets snabba reduktion vid pumptrippet samt återställningen som sker när reservpumpen startar automatiskt. Matarvattenflödet i Stråk 22 visas med röd kurva och Stråk 21 med blå kurva i Figur 2.5. Det är tydligt att översvängen orsakad av regleringen är större för Stråk 21.

Regulatorns strävan att behålla nivån i reaktorn tar sig uttryck i reglerbidrag från nivåregulatorn, kondensorbilansregulatorn samt flödesregulatorn. Flödesregulatorns bidrag visas i Figur 2.6. För Stråk 22 gäller att flödesregulatorns bidrag 537_FLKOR2 är stabilt ~ 7.5 V strax innan pumptrippet. Orsaken till att flödesregulatorns utsignal ligger så högt i stationär drift är enligt Forsmark ett balanseringsfel hos den integrator som ingår i D-regulatorn och som därför bör justeras i samband med instrumentunderhåll. Så snart trippen inträffar ökar flödesregulatorns signal 537_FLKOR2 snabbt mot det begränsande värdet $+10$ V, inte minst på grund av att flödesregulatorn har den anmärkningsvärda deriverande karaktär som beskrivits ovan. Att startvärdet för flödesregulatorn är 7.5 V innebär att det verkliga bidraget till flödesregleringen bara ökar med 2.5 V innan mättnad sker. Det totala, verkliga ändringsbidraget initialt under transienten till matarvattenregleringen blir då $+0.25$ V eftersom flödesregulatorn har begränsats till att bidra till objektregulatorns signal med maximalt ± 1 V, se Kapitel 2. Flödesregulatorn för Stråk 22 ger således inte det fulla bidrag till regleringen som intentionen var vid design på grund av signalens höga avvikelser initialt.

För Stråk 21 är förhållandet annorlunda. I Figur 2.6 presenteras 537_FLKOR1 och där framgår att signalen initialt är ~ 2 V. Detta innebär att signalen ändras hela 8 V till begränsningen 10 V i inledningen av transienten. På detta sätt bidrar flödesregulatorn slutligen med $+0.8$ V till styrningen av objektregulatorn. Flödesregulatorn för Stråk 21 arbetar i detta fall mer i överensstämmelse med design.



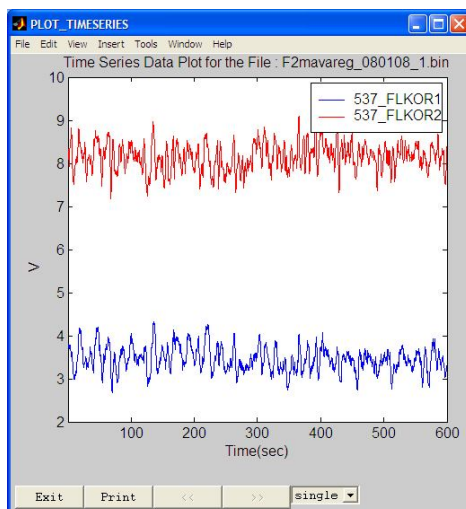
Figur 2.5 Matarvattenflödet för Stråk 21 och 22 vid de två olika proven med matarvattenpumptripp och automatisk start av reservpump för respektive stråk.



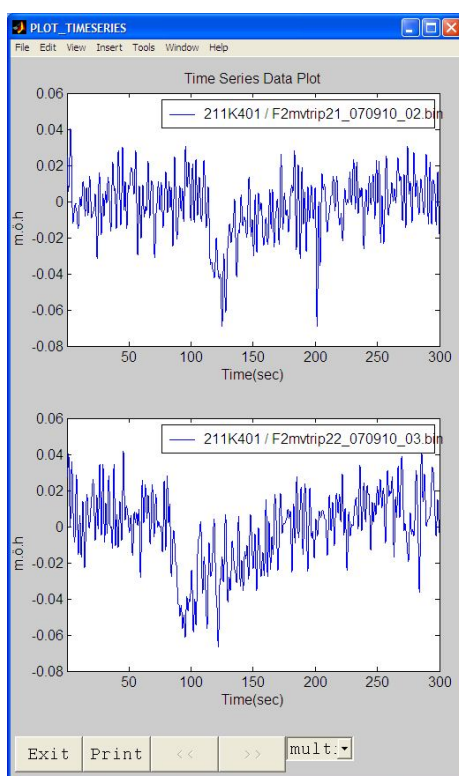
Figur 2.6 Flödesregulatorernas utsignaler för de två olika proven med matarvattenpumptripp och automatisk start av reservpump för respektive stråk.

Att den ena flödesregulatorn 537_FLKOR2 har hög utsignal initialt skulle kunna vara en tillfällighet, men så är inte fallet. Figur 2.7 visar de bägge utsignalerna 537_FLKOR1 och 537_FLKOR2 från flödesregulatorerna som registrerats 2008-01-08, det vill säga från ett annat tillfälle. Av denna registrering framgår att 537_FLKOR2 är ungefär 8 V medan 537_FLKOR1 är ungefär 3.5 V. Den olämpligt höga utsignalen hos 537_FLKOR2 kvarstår uppenbarligen på grund av den tidigare påpekade obalansen hos integratorn i D-regulatorn.

Nivåsignalens reaktion under de två proven med matarvattenpumptripp visas i Figur 2.8. I den övre figuren visas nivåsignalen under prov med Stråk 21. Vattennivån reduceras med cirka 6 cm när pumptrippet inträffar och nivån återställs sedan efter cirka 100 sekunder. Vattennivån under provet med pumptripp i Stråk 22 visas i den undre av graferna i Figur 2.8. Även detta experiment visar att vattennivån initialt reduceras med 6 cm och att reglerfelet reduceras helt efter cirka 100 sekunder. Nivåsignalen visar inte tecken på instabilitet. Insvängningsförloppet sker istället utan oscillation under de bägge proven.



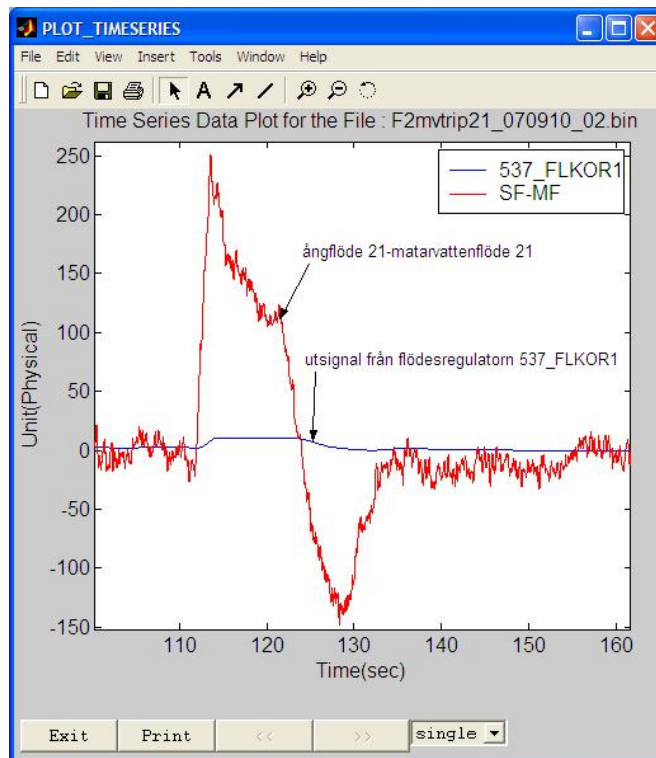
Figur 2.7 Flödesregulatorernas utsignaler (8 V respektive 3.5 V) från stabil fulleffektdrift 2008-01-06.



Figur 2.8 Nivån i reaktorn för de två olika proven med matarvattenpumptripp och automatisk start av reservpump för respektive stråk. Nivåsignalerna har lågpasfilterats med 0.5 Hz.

I Figur 2.9 görs en intressant jämförelse mellan flödesregulatorns utsignal i Forsmark 2 och en traditionell flödeskompensering som utgör skillnaden mellan ångflödes- och matarvattenflödessignalen. Skillnadssignalen har beräknats ur mätdata från experimentet med Stråk 21. Figuren visar med önskvärd tydlighet att den traditionella skillnadssignalen reagerar snabbare än utsignalen från flödesregulatorn vid såväl

uppgång (112 sekunder) som nedgång (125 sekunder). En traditionell flödesregulator bör därför kunna hantera transienter på ett effektivare sätt än den som är i drift i Forsmark 2 idag. En sådan regulator borde därför kunna reducera regleravvikelsen för vattennivån på kortare tid än de 100 sekunder som gäller idag.



Figur 2.9 Skillnaden mellan ång- och matarvattenflöde samt motsvarande signal från flödesregulatorn 537_FLKOR1 för Stråk 21 under provet med matarvattenpumptripp och återstart av reservpump.

Sammanfattningsvis framgår följande av proven med matarvattenpumptipp och automatisk start av reservpump:

- Med exempel visas att en offset hos flödesregulatorns utsignal för Stråk 22 under stationär drift kraftigt begränsar möjligheten att påverka objektregulatorn när transienten inleds. Detta bedöms vara en avvikelse från syftet med regulatorns design. Detta förhållande är inte bara en enstaka händelse 2007-09-10 när mätningen gjordes. Samma ogynnsamma offset hos flödesregulatorns utsignal gäller under en mätning 2008-01-08.
- Resultaten visar också att matarvattenregleringen nedvärderar flödesregulatorns bidrag till +/- 1 V och att det i huvudsak är nivåregulatorn med stöd av kondensorbilansregulatorn som styr matarvattenflödet.
- Teoretiska beräkningar har genomförts som visar att en stegformad skillnad mellan ång- och matarvattenflödet som är större än 18.5 kg/s leder till tillfällig mättnad av flödesregulatorns utsignal.
- Dessutom framgår det att den klassiska framkopplingsignalen som utgörs av skillnaden mellan ång- och matarvattenflöde reagerar snabbare och tydligare än den mättrade utsignalen 537_FLKOR från flödesregulatorn i Forsmark 2.

Proven med tripp av en matarvattenpump samt automatisk start av reservpump visar att regleringen av vattennivån i reaktorn med hjälp av matarvattenflödet fungerar på ett stabilt sätt. Vi kan dock konstatera att det inte framgår några kvantitativa uppgifter om dynamiska krav på matarvattenregleringen i säkerhetsredovisningen (FSAR). Det enda som uppgivits är det kvalitativa målet med följande formulering: ”Dimensionerande för reglerutrustningen är kravet på stabilitet, noggrannhet och snabbhet hos reglersystemet.” Några kvantitativa mått på stabilitet, noggrannhet och snabbhet ges inte i FSAR men bedöms tillgänglig i annan dokumentation i Forsmark. Det är GSE:s bedömning att sådana mått är viktiga för att lyckas med regulatorsyntesen. De är också viktiga för att avgöra underhållsbehov hos reglerutrustningen.

2.4 Uppskattning av PIP-parametrar baserat på ARx-modellering

En PIP-regulator har en överföringsfunktion som uttryckt i Laplaceoperatorn s har följande form:

$$G(s) = K_n \frac{1 + T_1 s}{1 + T_2 s} \quad (1)$$

där K_n är förstärkningen, T_1 och T_2 är tidskonstanter. Stegsvaret med PIP-regulatorn blir konvex när $T_1 < T_2$ och konkav när $T_1 > T_2$, se Figur 2.11.

Processidentifiering av regulatorns parametrar kan genomföras genom att använda en AR_x-modell som anpassas till regulatorns in- och utsignal. Modellen har följande allmänna beskrivning:

$$X(t) = \sum_{m=1}^{M_1} A(m) X(t-m) + \sum_{m=m_0}^{M_2} B(m) U(t-m) \quad (2)$$

där $\{A(m); m=1, \dots, M_1, B(m); m=1, \dots, M_2\}$ utgör AR_x modellens parametrar och $\{M_1, M_2\}$ är modellens ordningstal.

AR_x-modellen kan identifieras med hjälp av MATLAB-rutinen "arx". Därefter kan stegsvar genomföras med den identifierade modellen för att beräkna de karaktäristiska parametrarna som förstärkning och tidskonstanter hos modellen.

Med hjälp av invers Laplacetransformation så erhålls stegsvaret som funktion av tiden enligt följande uttryck:

$$h(t) = L[G(s)/s] = \frac{K_n T_1}{T_2} + \frac{K_n (T_2 - T_1)}{T_2} \{1 - e^{-t/T_2}\} = K_o + K_d \{1 - e^{-t/T_2}\} \quad (3)$$

där

$$K_o = \frac{K_n T_1}{T_2}, \quad K_d = K_n - K_o \quad (4)$$

Förstärkningen K_n utgör slutvärdet för stegsvaret medan K_d och T_2 beräknas med hjälp av den så kallade "Mode Characteristic Function" (MCF) med följande definition:

$$MCF(t) = \ln[abs\{h(\infty) - h(t)\}] \quad (5)$$

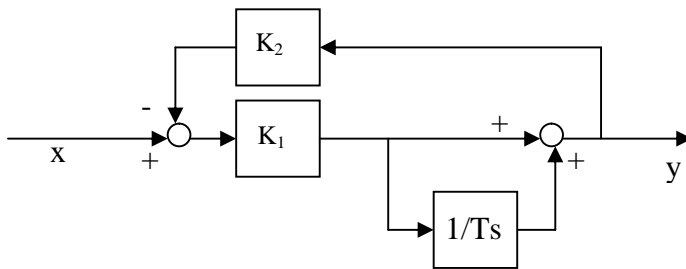
Genom att anpassa en linje till MCF så erhålls följande ekvation:

$$MCF(t) = -At + B \quad (6)$$

där

$$A = 1/T_2 \text{ och } B = \ln(K_d) \text{ och därigenom blir } T_2 = 1/A \text{ och } K_d = \exp(B). \quad (7)$$

En PIP-regulator kan konstrueras med hjälp av en återkopplad PI-regulator, se blockschemat i Figur 2.10. PI-regulatorn har förstärkningen K_1 och integrationstiden T , medan den negativt återkopplade förstärkningen är K_2 .



Figur 2.10 Överföringsfunktionen för PIP-regulator realiserad med en återkopplad PI-regulator

Överföringsfunktionen för regulatorn $y(s)/x(s)$ erhålls som en funktion av parametrarna K_1 , K_2 och T :

$$Y = (X - K_2 Y) K_1 \left(1 + \frac{1}{Ts} \right)$$

$$G(s) = \frac{1}{K_2} \frac{1 + Ts}{1 + T \left(1 + \frac{1}{K_1 K_2} \right) s} \quad (8)$$

Med hjälp av ekvationerna (1) och (8) erhålls följande samband mellan lead-lag filtrets och den återkopplade PI-regulatorns parametrar:

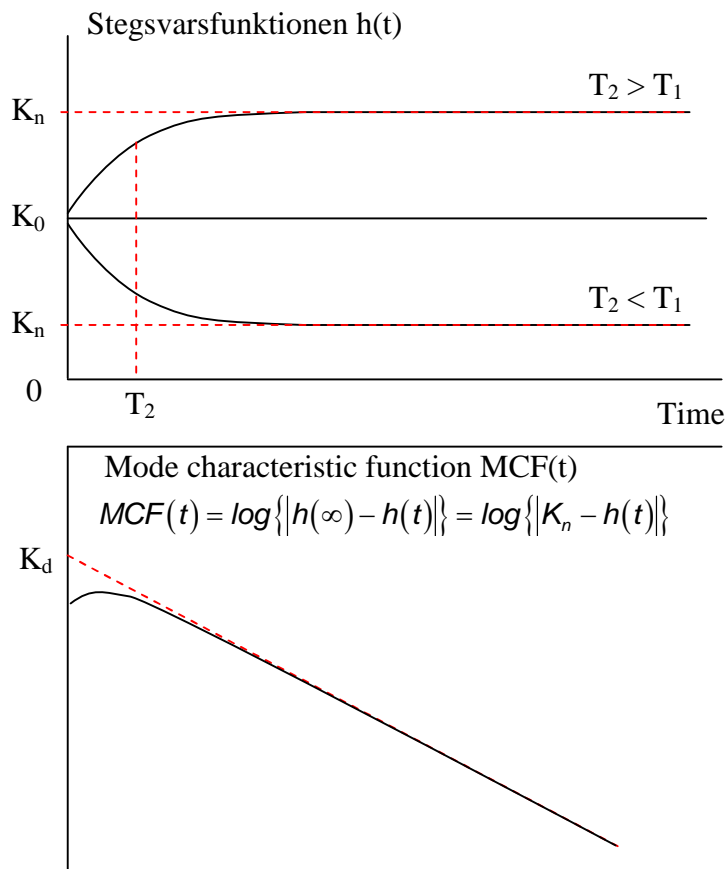
$$K_2 = \frac{1}{K_n}, \quad T = T_1$$

$$T \left(1 + \frac{1}{K_1 K_2} \right) = T_2 \quad (9)$$

Figur 2.11 presenterar stegsvaret $h(t)$ och MCF(t) för PIP-regulatorns modell. Modellens parametrar estimeras med hjälp av ekvationerna (3) till (7) genom evaluering av stegsvar och MCF-kurvor.

PIP-parametrarna estimeras med hjälp av följande procedur:

1. Identifiera en ARx-modell för passande kombination av modellordningar av $\{M_1, M_2\}$
2. Beräkna den uppskattade utsignalen och jämför med den registrerade för att validera ARx-modellen,
3. Beräkna stegsvaret och MCF,
4. Beräkna förstärkningen K_n från stegsvaret,
5. Genomför linjeanpassning till MCF-kurvan för att uppskatta T_2 och K_d , baserat på ekvationerna (6) och (7),
6. Beräkna K_o och T_1 med hjälp av ekvation (4)



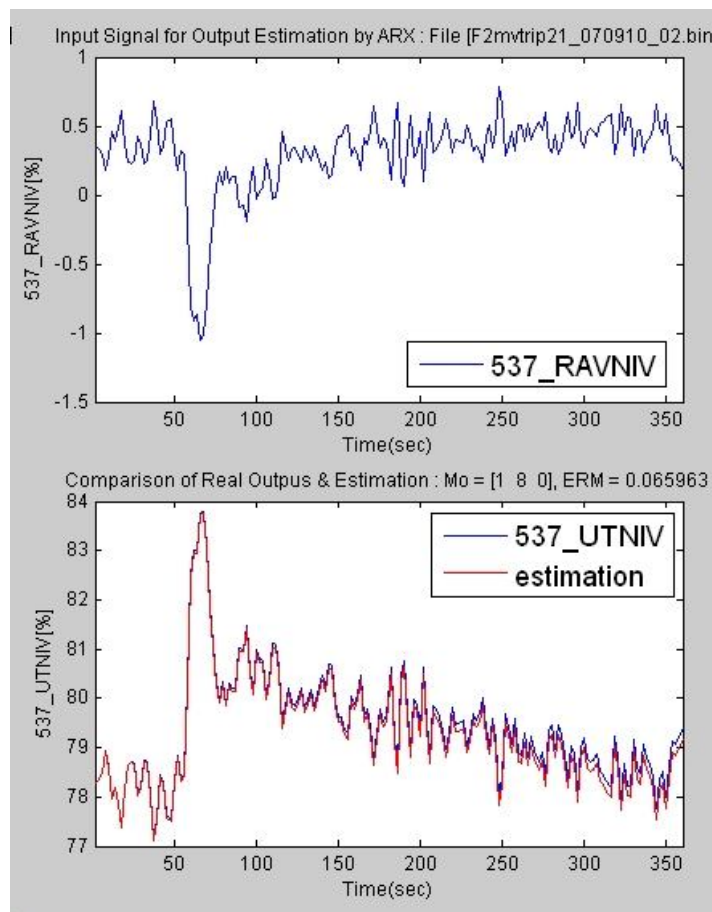
Figur 2.11 Stegsvär för en PIP regulator och dess MCF(t).

2.5 Nivåregulatorn i Forsmark 2

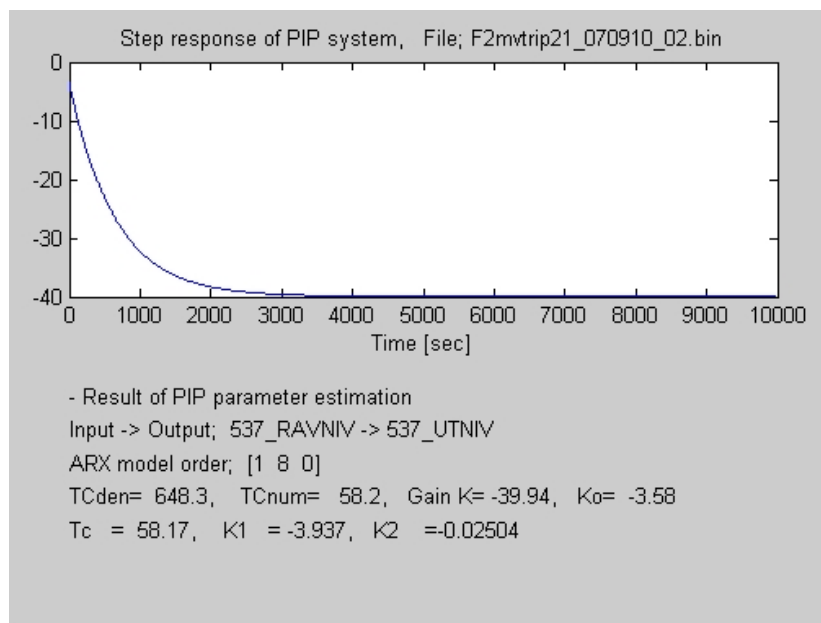
En PIP-regulator används som huvudregulator för att styra matarvattenflödet i Forsmark 2. Uttryckt som överföringsfunktionen $G(s)$ enligt ekvation (1) ovan har regulatorn förstärkningen $K_n = 40$ samt tidskonstanterna $T_1 = 60$ (s) och $T_2 = 660$ (s) enligt uppgift från Forsmarks Kraftgrupp AB (FKA).

Realiserad som en återkopplad PI-regulator enligt ekvation (8) ovan får regulatorn integrationstiden $T = 60$ (s), förstärkningen $K_1 = 4$ och den återkopplade förstärkningen $K_2 = 0.025$.

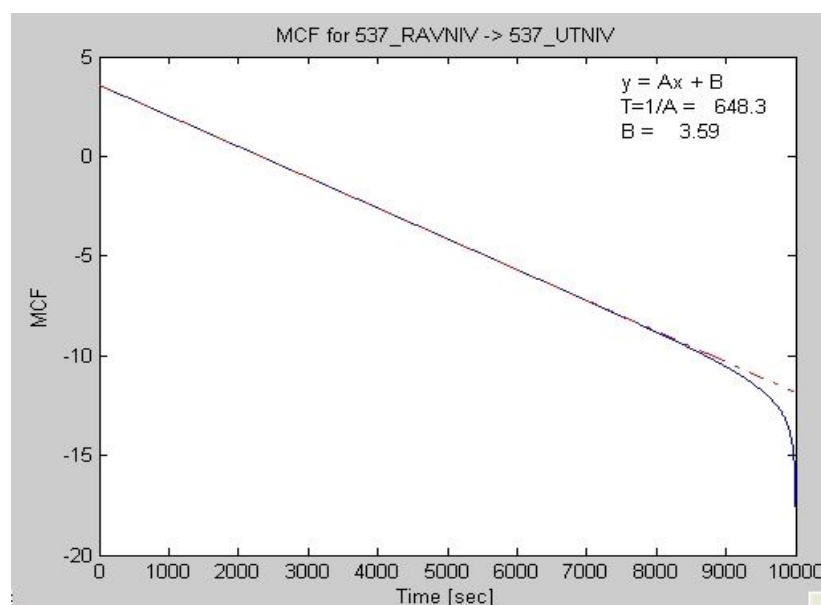
ARx-modellering har genomförts med signalparen 537_RAVNIV (input) och 537_UTNIV (output) som registrerats i filen F2mvtrip21_070910_02.bin. Dessa mätsignaler har registrerats i samband med tripp av matarvattenpump i Stråk 21 samt automatisk start av reservpump. Omfattande identifieringar med olika modellordningar visar att modellordningen $M1 = 1$ och $M2 = 6-10$ ger bra resultat. Figur 2.12 visar mycket god överensstämmelse mellan den registrerade utsignalen från regulatorn och den signal som estimerats med modellen, vilket innebär att modellen är en bra beskrivning av regulatorns dynamik. Denna ARx-modell har ordningen [1 8]. Figur 2.13 - 2.14 presenterar stegsvar med den identifierade modellen och beräknad MCF. PIP-regulatorns beräknade parametrar framgår i respektive figur. Motsvarande parameteruppskattning har också genomförts baserat på mätdata som registrerats i filen F2mvtrip22_070910_03.bin i samband med tripp av matarvattenpump i Stråk 22 samt automatisk start av reservpump.



Figur 2.12 Den övre grafen visar insignalen till nivåregulatorens medan den undre grafen visar den registrerade och den estimerade utsignalen från regulatorn.



Figur 2.13 Stegsvär med den identifierade nivåregulatormodellen samt beräknade regulatorparametrar.



Figur 2.14 MCF(t) och beräknade parametrar för nivåregulatorn.

Resultaten har sammanställts i Tabell 1. Resultaten visar att angivna tidskonstanter $T_1 = 60$ sekunder och $T_2 = 660$ sekunder har god överensstämmelse med de identifierade resultaten $T_1 = 58.3-59.4$ sekunder och $T_2 = 648.3-683.0$ sekunder. Dessutom stämmer den uppgivna förstärkningen $K_n = 40$ med beräknat $K_n = 39.9-41.7$.

Regulatorns parametrar när den realiserar som en återkopplad PI-regulator framgår också av Tabell 1. Integrationstiden som av FKA uppgivits vara $T = 60$ sekunder stämmer mycket bra med den identifierade integrationstiden $T = 58.3-59.4$ sekunder. Den återkopplade förstärkningen som uppgivits vara $K_2 = 0.025$ överensstämmer också bra med den beräknade förstärkningen $K_2 = 0.03$. Regulatorförstärkningen som uppgetts

vara $K_1 = 4$ överensstämmer också med det beräknade $K_1 = 3.9$.

Den stora variationen i resultat för tidskonstanten T_2 hänger samman med att tidskonstanten är så pass lång i jämförelse med mättiden. T_2 har uppgivits vara 660 sekunder medan mättiden använd för processidentifiering är 420 sekunder, vilket innebär att tidskonstanten T_2 är längre än använd mättid. Detta faktum har försvårat beräkningarna. Normalt sett bör mättiden vara flera gånger längre än den största tidskonstanten.

Tabell 1 Resultat vid processidentifiering av nivåregulatorns PIP-parametrar.

$$\text{Överföringsfunktionen } G(s) = K_n \frac{1 + T_1 s}{1 + T_2 s}$$

Filnamn	T_1	T_2	K_n	K_o
F2mvtrip21_070910_02	58.3	648.3	39.9	3.6
F2mvtrip22_070910_03	59.4	683.0	41.7	3.6
Enligt FKA	60	660	40	3.6

§ Tecknet för förstärkningarna är minus.

Överföringsfunktionen tolkad som återkopplad PI-regulator

Filnamn	T	K_1	K_2
F2mvtrip21_070910_02	58.3	3.9	0.03
F2mvtrip22_070910_03	59.4	3.9	0.03
Enligt FKA	60	4	0.025

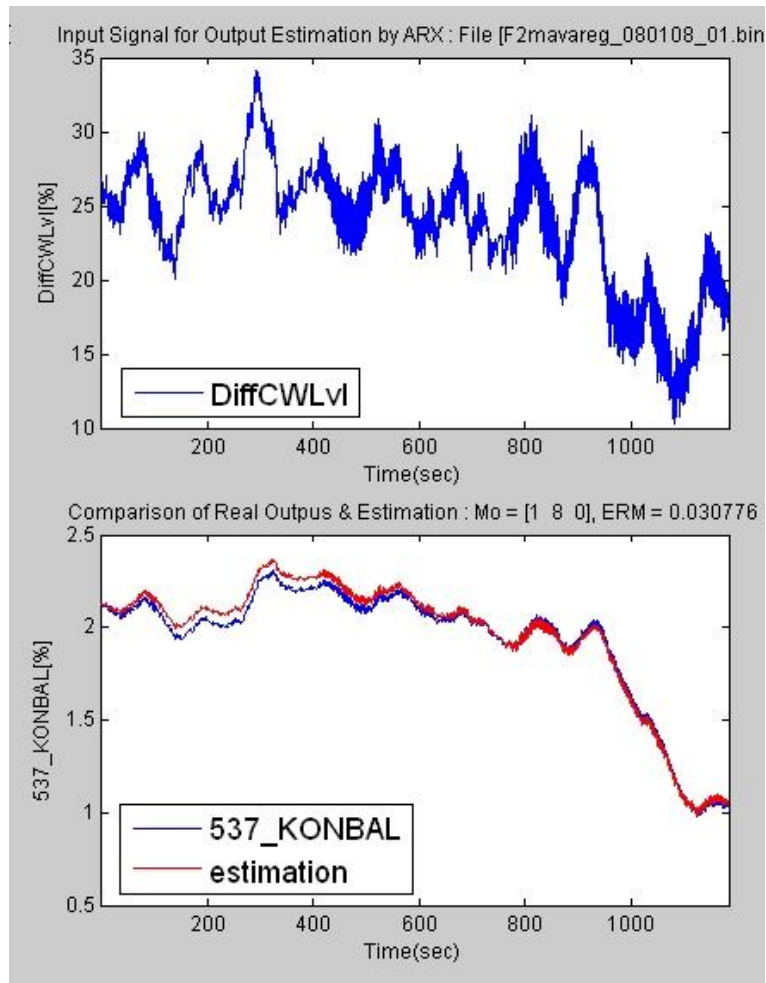
2.6 Kondensorbalsregleringen vid Forsmark 2

En PIP-regulator används också för att styra matarvattenflödet i Stråk 21 och 22 i Forsmark 2. Uttryckt som överföringsfunktionen $G(s)$ enligt ekvation (1) ovan har regulatorn förstärkningen $K_n = 10$ samt tidskonstanterna $T_1 = 10$ (s) och $T_2 = 100$ (s) enligt uppgift från FKA.

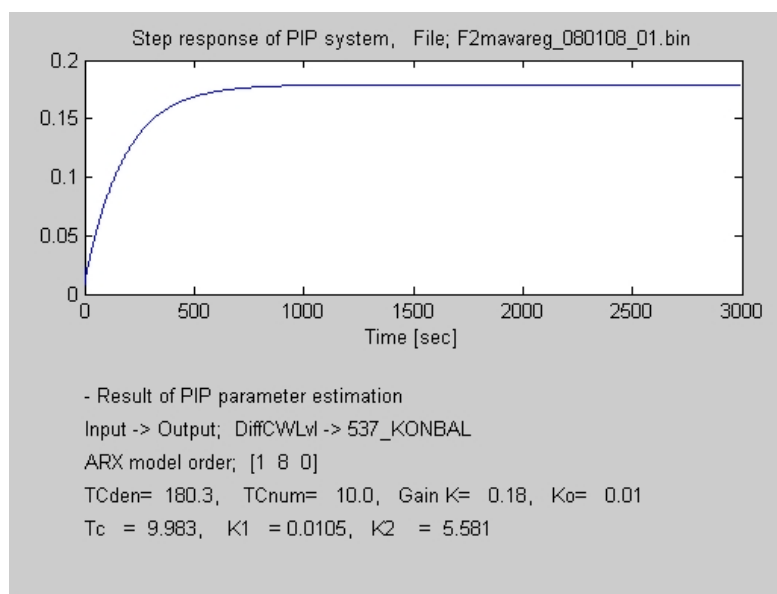
Realiserad som en återkopplad PI-regulator enligt ekvation (8) ovan får regulatorn integrationstiden $T = 10$ (s), förstärkningen $K_1 = 1.11$ och den återkopplade förstärkningen $K_2 = 0.1$.

Regulatorns insignal är skillnaden i vattennivå för de bägge kondensorererna. Mätsignalerna benämns 21413K468 för Stråk 21 och 22413K468 för Stråk 22. Utsignalen från regulatorn är 537_KONBAL. Insignalen till kondensorbalsregulatorn bildas matematiskt som skillnaden mellan 21413K468 och 22413K468. Mätsignalerna har registrerats i filen F2mavareg_080108_01.bin. Samplingsfrekvensen är 25 Hz men dessa data har reducerats till en samplingsfrekvens som motsvarar 2.5 Hz. Därefter har en ARx-modell identifierats och med ordningstalet [1 8] ger den en god överensstämmelse mellan regulatorns utsignal och den estimerade utsignalen, se Figur 2.15.

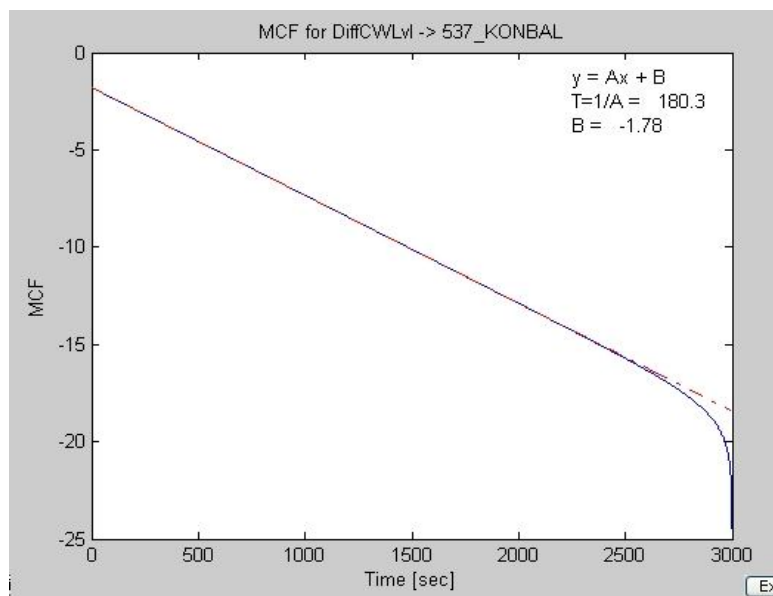
Figur 2.16–2.17 presenterar stegsvar med den identifierade modellen och beräknad MCF. PIP-regulatorns beräknade parametrar framgår i respektive figur.



Figur 2.15 Den övre grafen visar skillnaden mellan kondensornivåsignalerna medan den undre grafen visar nivåkompensationssignalen samt den estimerade kompensationssignalen.



Figur 2.16 Stegsvartest av den identifierade regulatormodellen. Erhållna tidskonstanter och förstärkningar framgår av figuren.



Figur 2.17 MCF(t) för kondensorbalsregulatorn.

Regulatorparametrarna för regulatorn beskriven med överföringsfunktionen $G(s)$ och som en återkopplad PI-regulator framgår av Tabell 2. Resultaten visar att överföringsfunktionen $G(s)$ har en identifierad tidskonstant $T_1 = 10$ (s) som stämmer helt med det av FKA uppgivna värdet $T_1 = 10$ (s). Den identifierade tidskonstanten $T_2 = 180$ (s) skiljer sig däremot tydligt från den uppgivna tidskonstanten $T_2 = 100$ (s). Detta gäller också förstärkningen som identifierats till $K_n = 0.18$ och som uppgivits vara $K_n = 10$. Orsaken till skillnaderna är i skrivande stund oviss.

Den återkopplade PI-regulatorn har integrationstiden $T = 10$ (s) samt förstärkningarna $K_1 = 0.01$ och $K_2 = 5.6$ enligt resultaten med processidentifiering, se Tabell 2. Motsvarande uppgifter från FKA visar att integrationstiden stämmer helt med det uppgivna värdet medan de bägge förstärkningarna avviker tydligt från de uppgivna värdena $K_1 = 1.11$ och $K_2 = 0.1$. Det är oklart vad som kan vara orsaken till skillnaderna i resultat.

Tabell 2 Processidentifieringen av kondensorbalsregulatorn. Resultaten visar parametrarna hos överföringsfunktionen $G(s)$ samt hos den återkopplade PI-regulatorn.

$$\text{Överföringsfunktionen } G(s) = K_n \frac{1 + T_1 s}{1 + T_2 s}$$

Filnamn	T_1	T_2	K_n	K_o
F2mavareg_080108_01	10.0	180.3	0.18	0.01
Enligt FKA	10	100	10	1

§ Tecknet för förstärkningarna är minus.

Överföringsfunktionen tolkad som återkopplad PI-regulator

Filnamn	T	K_1	K_2
F2mavareg_080108_01	10.0	0.01	5.6
Enligt FKA	10	1.11	0.1

2.7 Reglerteknisk bedömning

Undersökningen av matarvattenflödesregleringen vid Forsmark 2 har genomförts baserat på mätningar som registrerats i anläggningen i samband med experiment men också under lugn fulleffektdrift. Sammanfattningsvis kan sägas att det är tre skilda regulatorer som samverkar för att styra matarvattenflödet i Forsmark 2. De benämns nivåregulatorn, flödesregulatorn och kondensorbalsregulatorn. Dessutom finns ett separat styrsystem som tar över när snabbstopp inträffar. Det sistnämnda systemet har inte behandlats i rapporten. Det som varit fokus vid undersökningen har varit effektdrift.

Av de tre regulatorerna har flödesregulatorn begränsats till +/- 1 V och kondensorbalsregulatorn till +/- 2 V till skillnad från nivåregulatorn som arbetar i hela området +/- 10 V. Styrkemässigt mellan regulatorerna är det väsentligen nivåregulatorn med stöd av kondensorbalsregulatorn som styr matarvattenflödet. Flödesregulatorn lämnar visserligen ett bidrag men dess inflytande är blygsammare.

Flödesregulatorns funktion är ifrågasatt i rapporten när det gäller deriveringen av skillnaden mellan ång- och matarvattenflödet. Det är gåtfullt varför signalen deriveras vid låga frekvenser av flödesregulatorn. Derivationen innebär att regulatorns utsignal går mot noll även om en konstant avvikelse gäller för skillnadssignalen. Skillnadssignalen mellan ång- och matarvattenflödet borde istället vara den lämpligaste signalen för reglerteknisk framkoppling.

Den olinjära multiplikationen $XY/10$ hos flödesregulatorn ifrågasätts också i rapporten eftersom den skulle kunna förorsaka besvär vid stora transienter.

Experimenten med tripp av matarvattenpump och automatisk återstart av reservpump visar en tydlig, snabb nedgång i vattennivån i reaktortanken som sedan återställs av reglersystemet under ett insvängningsförlopp. Insvängningen till ursprunglig nivå sker på ett stabilt sätt utan oscillationer. Det tar dock ungefär 100 sekunder innan nivån återställts.

Flödesregulatorns utsignal 537_FLKOR2 har en offset som ger utsignalen 0.8 V under stabil effektdrift. Detta innebär att flödesregulatorns bidrag är ytterligare begränsat till 0.2 V istället för 1 V under inledningen av en transient. Även av den anledningen spelar flödesregulatorn inte den roll som förväntas när en störning inträffar som leder till en skillnad mellan ång- och matarvattenflödet. En styrkemässigt alertare flödesregulator borde kunna bidra till att återställa vattennivån i reaktorn på kortare tid än de 100 sekunder som gäller idag.

Teoretiska beräkningar har dessutom genomförts som visar att en stegstörning av skillnaden mellan ång- och matarvattenflödet som är större än 18.5 kg/s leder till mättnad av flödesregulatorns utsignal på grund av dess derivation samt höga PIP-förstärkning (71.4 gånger). Detta visar också att det finns ett tydligt förbättringsbehov av flödesregulatorns design.

Vi kan också konstatera att det som tidigare nämnts inte framgår några kvantitativa uppgifter om dynamiska krav på matarvattenregleringen i säkerhetsredovisningen (FSAR). Det är vår bedömning att sådana mått är viktiga för att lyckas med design av reglersystemet och för att fortlöpande avgöra underhållsbehov hos reglerutrustningen.

Vi vill dessutom betona att det är viktigt för underhållet att regelbundet undersöka sambandet mellan matarvattenregulatorns objektsignal och matarvattenflödet. Förändringar kan uppstå som skapar lokala variationer i förstärkningen hos dessa komponenter och som därigenom påverkar regleringens dynamiska prestanda. Mer detaljer om detta återfinns i referens [2].

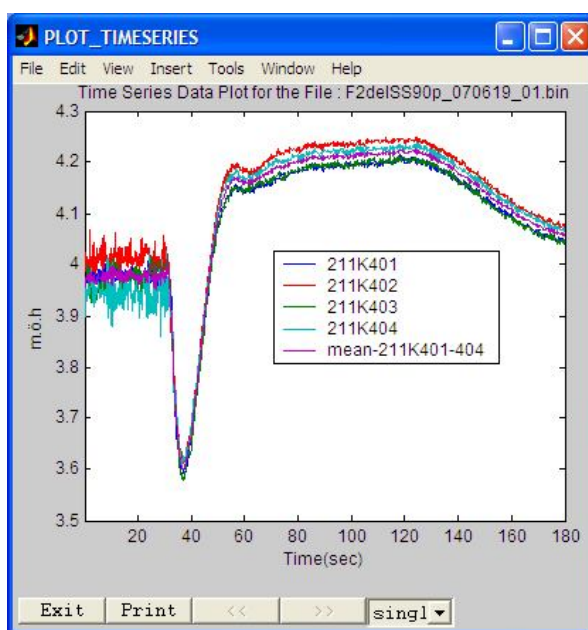
2.8 Egenskaper hos instrumentkomponenter

Majoritetsväljaren för vattennivåsignalerna

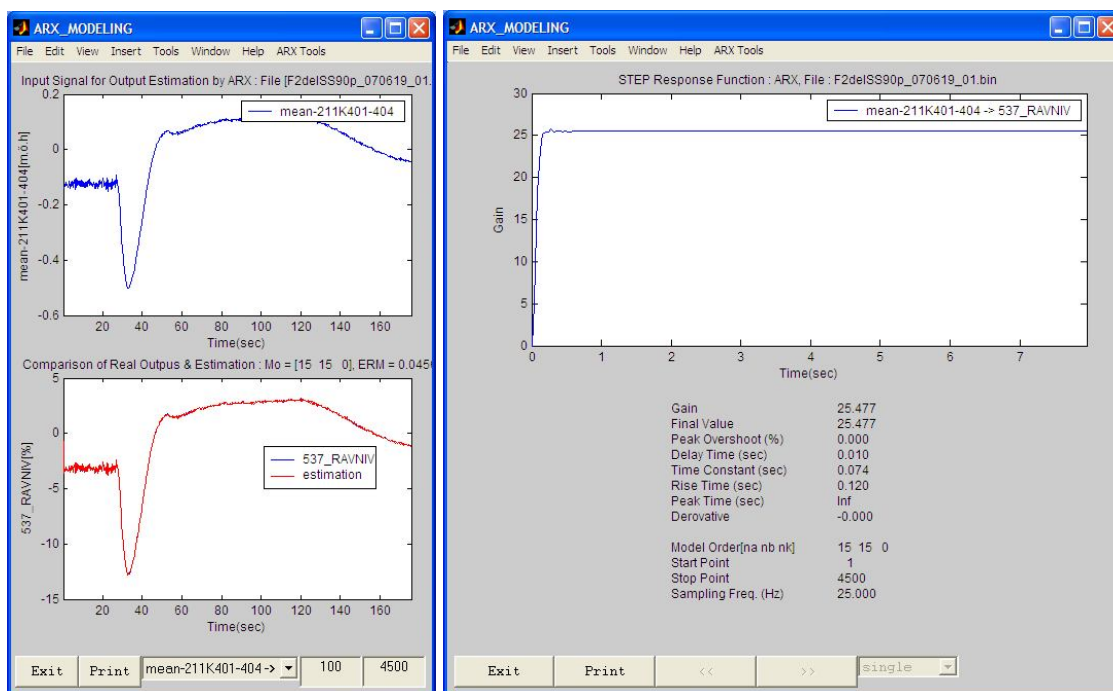
I detta kapitel redovisas resultat som belyser egenskapen hos majoritetsväljaren för nivån i reaktortanken som omvandlar 4 multipla nivåsignalerna till en ärvärdessignal. De fyra finnivåsignalerna 211K401-404 finns återgivna som funktion av tiden i Figur 2.18. Signalerna har registrerats i samband med ett delsnabbstopp och det är den efterföljande vattennivåtransienten som framgår av figuren. Förutom nämnda finnivåsignaler framgår det beräknade medelvärdet av de fyra nivåsignalerna. Denna syntetiska signal benämns ”mean-211K401-404” i Figur 2.18.

En elektronikkomponent innehåller ofta någon form av filtrering och denna kan undersökas med hjälp av processidentifiering. Med denna analys framgår också den förstärkning som gäller för instrumentkomponenten i fråga. Resultatet av identifieringen framgår av Figur 2.19. Den övre av graferna till vänster visar insignalen vid processidentifieringen. Denna signal, ”mean-211K401-404”, är insignal medan 537_RAVNIV betraktas som utsignal. Denna signal är egentligen insignal till nivåregulatorn men eftersom börvärdet är konstant så inses att 537_RAVNIV har samma dynamik som utsignalen från majoritetsväljaren för nivåsignalerna.

Enligt uppgift i FSAR har finnivåsignalerna mätområdet 2.5–6.4 (m). Utsignalen 537_RAVNIV är däremot angiven i intervallet 0–100 %. Förstärkningen hos överföringsfunktionen blir därför i enheten (%/m). Utryckt i siffror blir förstärkningen $100/(6.4-2.5) \text{ (%/m)} = 25.6 \text{ (%/m)}$. Grafen till höger i Figur 2.19 visar stegsvaret för den identifierade modellen. Resultaten stämmer mycket bra med det som förväntas. Förstärkningen är 25.5 (%/m) att jämföra med ovan beräknade 25.6 (%/m), och tidskonstanten 74 (ms) bedöms vara en rimlig responstid för en elektronikkomponent av detta slag.



Figur 2.18 De fyra nivåsignalerna (211K401-404) som utgör ärvärde för nivåregulatorn tillsammans med det beräknade medelvärdet för nivån mean-211K401-404.



Figur 2.19 Resultat med processidentifiering. Övre vänster figur visar den beräknade medelnivån som utgör insignal och undre vänster figur visar den elektroniska signalen motsvarande nivåärvärdet som utgör utsignal samt den estimerade utsignalen. Stegsvartstest med den identifierade modellen visas i höger figur.

3 Slutsatser

En undersökning har genomförts av matarvattenflödesregleringen vid Forsmark 2. Undersökningen baseras på mätdata som registrerats i samband med prov genomförda under drift i anläggningen.

Matarvattenregulatorn består av 3 regulatorer som samverkar för att styra matarvattenflödet från de två kondensatorerna till reaktortanken. Dessa är nivåregulatorn, kondensatorbalansregulatorn och flödesregulatorn. Styrkeförhållandet mellan regulatorerna är i samma ordning som den angivna. Prov med tripp av matarvattenpump och automatisk start av reservpump i Stråk 21 respektive 22 har analyserats. Dessa visar en tydlig, snabb nedgång i vattennivån i reaktortanken som sedan återställs av reglersystemet under ett insvängningsförlopp. Insvängningen till ursprunglig nivå sker på ett stabilt sätt utan oscillationer, vilket är bra. Det tar dock ungefär 100 sekunder innan nivån återställts.

Vi ifrågasätter flödesregulatorns funktion. Regulatorn saknar rimlig proportionalitet. Teoretiska beräkningar har genomförts som visar att en stegstörning av skillnad mellan ång- och matarvattenflödet som är större än 18.5 kg/s leder till mättnad av flödesregulatorns utsignal. Orsaken till detta är deriveringen samt den höga PIP-förstärkningen = 71.4 gånger hos flödesregulatorn. Flödesregulatorn spelar således inte den roll vid regleringen som förväntas när en störning inträffar hos skillnaden mellan ång- och matarvattenflödet. Detta visar att det finns ett förbättringsbehov hos flödesregulatorn.

Förutom denna principiella svaghet finns en offset-avvikelse hos flödesregulatorn i Stråk 22 som gör att dess utsignal ger mindre styrbidrag än det som teoretiskt kunde förväntas vid inledningen av en störning. Denna avvikelse bör justeras i samband med underhåll av matarvattenregulatorn.

Nivåregulatorns parametrar har beräknats med hjälp av identifiering av in- och utsignalerna. Regulatorns PIP-parametrar har jämförts med uppgifter från Forsmark ($T_1 = 60$ s, $T_2 = 660$ s samt förstärkningen $K_n = 40$). Vi kan konstatera att de beräknade tidskonstanterna $T_1 = 58\text{--}59$ s och $T_2 = 648\text{--}683$ s och den beräknade förstärkningen $K_n = 39.9\text{--}41.7$ har god överensstämmelse med uppgifterna från Forsmark. Kondensatorbalansregulatorns PIP-parametrar har också evaluerats. Resultaten visar att överföringsfunktionen för PIP-regulatorn har en identifierad tidskonstant $T_1 = 10$ (s) som stämmer helt med det av Forsmark uppgivna värdet $T_1 = 10$ (s). Den identifierade tidskonstanten $T_2 = 180$ (s) skiljer sig tydligt från den uppgivna tidskonstanten $T_2 = 100$ (s). Detta gäller också förstärkningen som identifierats till $K_n = 0.18$ och som uppgivits vara $K_n = 10$. Orsaken till skillnaderna är i skrivande stund oviss.

Den instrumentkomponent som utgör majoritetsväljare för vattennivåsignalerna (211K401-404) i matarvattenregulatorn och vars utsignal motsvarar 537_RAVNIV har också undersökts med hjälp av signalanalys. Resultatet visar att den elektroniska enheten har en tidskonstant på 74 ms vilken bedöms rimlig samt en helt förväntad förstärkning 25.6 (%/m).

4 Referenser

- [1] KSU-kompodium: F12-A2-011 GK2 Turbinreglering & Matarvattenreglering, Turbinteori 2
- [2] B.-G. Bergdahl & R. Oguma. Regleringen av matarvattenflödet i en PWR, med exempel från Ringhals 3. September 2007. SKI Rapport 2007:42.
- [3] K. J. Åström. Reglerteori. Almqvist & Wiksell/Gebbers Förlag AB, Stockholm 1968.
- [4] K. J. Åström. Reglerteknik olinjära system. Föreläsningar vid LTH 1968. TLTH/VBV
- [5] Bertil Thomas. Modern Reglerteknik. Almqvist & Wiksell 1992.
- [6] Tore Hägglund. Praktisk processreglering. Studentlitteratur 1997.
- [7] K. J. Åström. Reglerteknik en elementär introduktion. Kapitel 5 PID reglering. Institutionen för Reglerteknik, Lunds Tekniska Högskola, 1982.



Strålsäkerhetsmyndigheten
Swedish Radiation Safety Authority

SE-171 16 Stockholm
Solna strandväg 96

Tel: +46 8 799 40 00
Fax: +46 8 799 40 10

E-post: registrator@ssm.se
Webb: stralsakerhetsmyndigheten.se