



KTH Elektro-
och systemteknik

Kompletterings skrivning i EG2050 Systemplanering, 28 juni 2012, 14:00-16:00, seminarierummet

Instruktioner

Endast de uppgifter som är markerade på det bifogade svarsbladet behöver lösas (på de övriga uppgifterna tillgodoräknas resultatet från tentamen). Några motiveringar eller beräkningar behöver inte redovisas.

Denna kompletterings skrivning kan totalt ge 40 poäng. Godkänt betyg garanteras vid 33 poäng.

Tillåtna hjälpmedel

Vid denna kompletterings skrivning får följande hjälpmedel användas:

- Miniräknare utan information med anknytning till kursen.
- En **handskriven, enkelsidig** A4-sida med **egna** anteckningar (original, ej kopia).
Denna sida skall lämnas in tillsammans med svarsbladet.

Uppgift 1 (4 p)

Besvara följande teorifrågor genom att välja *ett* alternativ, som du anser är korrekt.

a) (2 p) En aktör som är balansansvarig har följande skyldigheter: I) Man är ekonomiskt ansvarig för att systemet under en viss handelsperiod (t.ex. en timme) tillförs lika mycket energi som ens kunder förbrukat, II) Man är fysiskt ansvarig för att systemet under en viss handelsperiod (t.ex. en timme) tillförs lika mycket energi som ens kunder förbrukat, III) Man är fysiskt ansvarig för att systemet i varje ögonblick tillförs lika mycket effekt som ens kunder förbrukar.

1. Inget av påståendena är sant.
2. Endast I är sant.
3. Endast II är sant.
4. Endast III är sant.
5. I och II är sanna men inte III.

b) (2 p) Följande gäller för ett nedregleringsbud på en reglermarknad: I) Om ett nedregleringsbud aktiveras så innebär det att den som lämnat budet köper energi av systemoperatören, II) Ett nedregleringsbud kan verkställas genom att minska produktionen i t.ex. ett vattenkraftverk, III) Ett nedregleringsbud kan verkställas genom att minska elförbrukningen i t.ex. en stor industri.

1. Endast I är sant.
2. I och II är sanna men inte III.
3. I och III är sanna men inte II.
4. II och III är sanna men inte I.
5. Alla påståendena är sanna.

Uppgift 2 (6 p)

Antag att det råder perfekt konkurrens på elmarknaden i Land. Data för kraftverken i Land ges i tabell 1. De rörliga produktionskostnaderna antas vara linjära i de angivna intervallen, d.v.s. då produktionen är noll är priset på den lägsta nivån och vid maximal produktion är priset maximalt.

Tabell 1 Data för kraftverken i Land.

Kraftslag	Produktionskapacitet [TWh/år]	Rörlig kostnad [\varnothing /MWh]
Vattenkraft	55	5
Kärnkraft	50	100–120
Biobränsle	16	100–260
Fossila bränslen	20	240–440

a) (2 p) Antag att elmarknaden i Land har perfekt konkurrens, perfekt information och att det inte finns några nät-, magasin- eller effektbegränsningar. Hur stor är elförbrukningen i Land om elpriset under ett visst år är 250 \varnothing /MWh?

b) (2 p) Strålinge AB äger ett kärnkraftverk med en produktionskapacitet på 8 TWh per år. Kraftverkets rörliga driftkostnad är 110 \varnothing /MWh och företaget har fasta kostnader på 2 400 M \varnothing /år. Hur högt måste elpriset minst vara för att företaget inte ska gå med förlust?

c) (2 p) Antag att elpriset en viss timme är 200 SEK/MWh och i nästa timme 220 SEK/MWh. Tänkbara förklaringar till prisskillnaden är att I) Vattenmagasinen är fulla i slutet av den första timmen, II) Vattenmagasinen är tomma i slutet av den första timmen, III) Vattenkraften producerar installerad effekt under den andra timmen.

1. Endast I är sant.
2. Endast II är sant.
3. Endast III är sant.
4. I och III är sanna men inte II.
5. II och III är sanna men inte I.

Uppgift 3 (6 p)

Betrakta ett elsystem indelat i fem areor. Vid ett visst tillfälle råder balans mellan produktion och konsumtion i systemet och frekvensen i varje area är exakt lika med 50 Hz. Data för primärregleringen i systemet framgår av tabell 2. Data för transmissionsförbindelserna mellan areorna framgår av tabell 3. Varje förbindelse är försedd med ett skyddssystem som efter en viss tidsfördröjning automatiskt kopplar bort förbindelsen om flödet skulle överskrida den maximala kapaciteten. Effektflödena på HVDC-förbindelsen påverkas inte av frekvensen i systemet, utan kan bara kontrolleras manuellt.

Tabell 2 Data för primärregleringen.

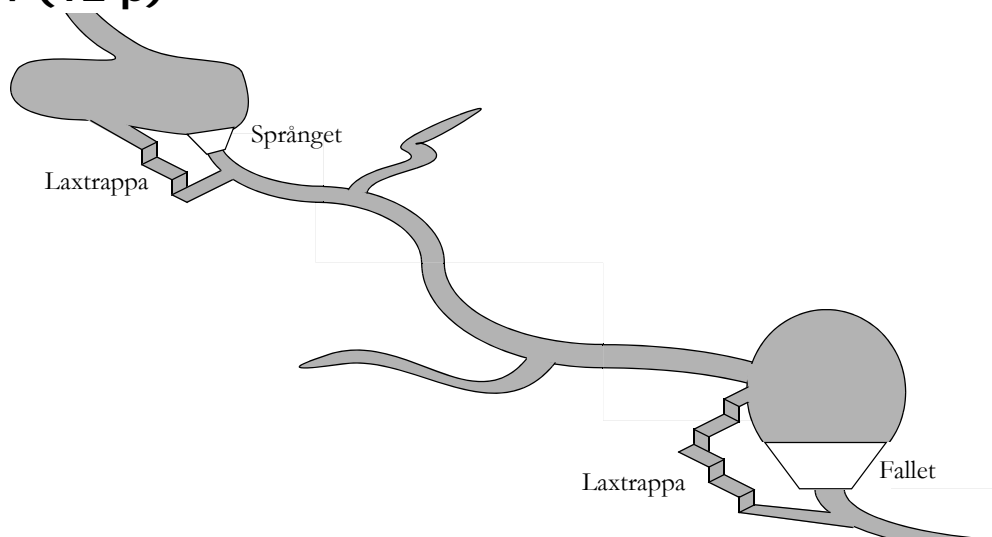
Area	Reglerstyrka (tillgänglig mellan 49,9 och 50,1 Hz) [MW/Hz]
A	2 000
B	2 000
C	1 000
D	500
E	500

Tabell 3 Data för transmissionsförbindelserna.

Förbindelse	Typ	Nuvarande transmission [MW]	Maximal kapacitet [MW]
A ↔ B	Växelström	1 000 MW från A till B	2 000
A ↔ C	Likström (HVDC)	600 MW från A till C	600
A ↔ D	Likström (HVDC)	400 MW från A till D	400
A ↔ E	Växelström	1 000 MW från A till E	1 500
B ↔ D	Växelström	500 MW från B till D	1 200

- a) (3 p)** Vid detta tillfälle slår ett blixtnedslag i ett ställverk ut 450 MW elproduktion i area A. De berörda kraftverken deltog inte i primärregleringen. Vilken frekvens får man i area A efter att primärregleringen återställt balansen mellan produktion och konsumtion?
- b) (1 p)** Vilken frekvens får man i area B efter händelsen i area A?
- c) (1 p)** Vilken frekvens får man i area C efter händelsen i area A?
- d) (1 p)** Vilken frekvens får man i area D efter händelsen i area A?

Uppgift 4 (12 p)



AB Vattenkraft äger två vattenkraftverk lokaliserade som i figuren ovan. För att lax ska kunna vandra förbi kraftverken har miljödomstolen ålagt AB Vattenkraft att alltid släppa ett flöde på $2 \text{ m}^3/\text{s}$ i laxtrapporna vid Språnget och Fallet.

I ett korttidsplaneringsproblem för dessa kraftverk har man infört följande beteckningar:

Index för kraftverken: Språnget 1, Fallet 2.

γ_i = förväntad framtida produktionsekvivalent för vatten lagrat i magasin i ,
 $i = 1, 2$,

λ_t = förväntat elpris timme t , $t = 1, \dots, 24$,

λ_{25} = förväntat elpris efter planeringsperiodens slut,

$M_{i,t}$ = innehåll i magasin i vid slutet av timme t , $i = 1, 2$, $t = 1, \dots, 24$,

\bar{M}_i = maximalt innehåll i magasin i , $i = 1, 2$,

p_t = köp från ElKräng timme t , $t = 1, \dots, 24$,

$Q_{i,j,t}$ = tappning i kraftverk i , segment j , under timme t ,
 $i = 1, 2$, $j = 1, 2, 3$, $t = 1, \dots, 24$,

$\bar{Q}_{i,j}$ = maximal tappning i kraftverk i , segment j , $i = 1, 2$, $j = 1, 2, 3$,

r_t = försäljning till ElKräng timme t , $t = 1, \dots, 24$,

$S_{i,t}$ = spill från magasin i (inklusive flödet genom laxtrapporna) under timme t ,
 $i = 1, 2$, $t = 1, \dots, 24$,

\underline{S}_i = minsta tillåtna flöde genom laxtrapporna vid magasin i , $i = 1, 2$.

a) (3 p) Vilka beteckningar representerar optimeringsvariabler respektive parametrar?

b) (4 p) AB Vattenkraft säljer el till kunder med fastkraftavtal, men bolaget har också möjlighet att handla på den lokala börsen ElKräng. Formulera målfunktionen i bolagets planeringsproblem om syftet med planeringen är att maximera intäkterna från el såld på ElKräng plus värdet av sparat vatten minus kostnaden för el köpt från ElKräng. Använd beteckningarna ovan.

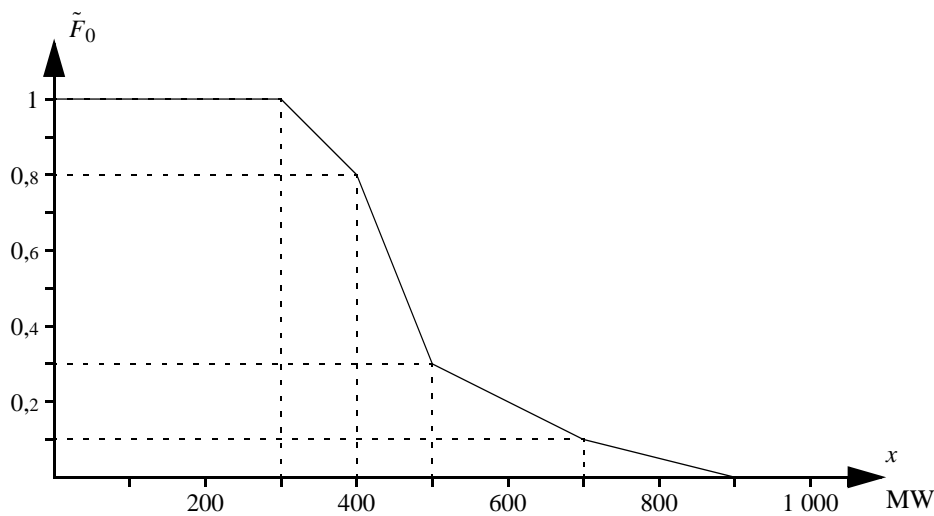
c) (3 p) Formulera gränserna för de optimeringsvariabler i AB Vattenkrafts korttidsplaneringsproblem som definierats ovan. För att få full poäng på denna uppgift måste du även ange tillåtna indexvärden för varje gräns!

d) (2 p) I följande fall är man tvungen att använda heltalsvariabler till en linjär modell av elproduktionen i ett termiskt kraftverk: I) Då kraftverket har en startkostnad som anges i SEK/start, II) Då kraftverket har en stoppkostnad som anges i SEK/stopp, III) Då kraftverket har en lägsta möjliga produktionsnivå, \underline{Q} , då kraftverket är i drift.

1. Inget av påståendena är sanna.
2. I och II är sanna men inte III.
3. I och III är sanna men inte II.
4. II och III är sanna men inte I.
5. Alla påståendena är sanna.

Uppgift 5 (12 p)

Det nationella elnätet i Nchi försörjs av tre större vattenkraftverk med en sammanlagd effekt på 750 MW och ett 50 MW termiskt kraftverk. Figuren nedan visar varaktighetskurvan för den totala lasten i Nchi.



a) (3 p) Antag att samtliga kraftverk är 100% tillförlitliga och att den rörliga produktionskostnaden är 10 $\text{¤}/\text{MWh}$ i det termiska kraftverket, medan den rörliga produktionskostnaden i vattenkraftverken är försumbar. Använd stokastisk produktionskostnadssimulering till att beräkna den förväntade totala driftkostnaden per timme.

b) (3 p) Antag att vattenkraftverken har 100% tillförlitlighet och att det termiska kraftverket har 90% tillförlitlighet. Vad blir risken för effektbrist i Nchi?

c) (4 p) Energidepartementet i Nchi undersöker möjligheterna att satsa på en vindkraftutbyggnad i landet. Energidepartementet har i samband med denna studie tagit fram en modell som tar hänsyn till förlusterna i det nationella elnätet. I en Monte Carlo-simulering med denna modell har man studerat 10 scenarier (se tabell 4). För att förbättra noggrannheten i simuleringen använder man kontrollvariabelmetoden. Antag att den *ETOC* för den förenklade modellen beräknats till 20 $\text{¤}/\text{h}$ och att *LOLP* för den förenklade modellen beräknats till 3,0%. Vilken skattning av *ETOC* och *LOLP* får man från den detaljerade modellen?

Tabell 4 Resultat från en Monte Carlo-simulering av elmarknaden i uppgift 5c.

Scenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>TOC</i> [$\text{¤}/\text{h}$]										
Förenklad modell	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0
Detaljerad modell	0	20	0	180	0	0	0	0	500	0
<i>LOLO</i>										
Förenklad modell	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Detaljerad modell	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

d) (2 p) Antag att man önskar använda slumptalskomplement för att förbättra noggrannheten i simuleringen av Nchi. Vilket värde får slumptalskomplementet, D^* , om den totala lasten i systemet slumpas fram till $D = 400$ MW?



KTH Elektro-
och systemteknik

Svarsblad

Namn:

Personnummer:

Uppgift 1

a) Alternativ är korrekt.

b) Alternativ är korrekt.

Uppgift 2

a) TWh/år

b) Elpriset måste vara högre än $\text{€}/\text{MWh}$

c) Alternativ är korrekt.

Uppgift 3

a) Hz b) Hz

c) Hz d) Hz

Uppgift 4

a) Parametrar:

Optimeringsvariabler:

b)

c)

d) Alternativ är korrekt.

Uppgift 5

a) $\text{€}/\text{h}$ b) %

c) *ETOC* $\text{€}/\text{h}$ *LOLP* %

d) MW

Uppgift 1

- a) 2, b) 2.

Uppgift 2

- a) Vid elpriset 250 $\text{€}/\text{MWh}$ producerar vattenkraften och kärnkraften för fullt, d.v.s. $53 + 49 = 102 \text{ TW/h}$. Bidraget från biobränslekraftverken är lika med $(250 - 100)/(260 - 100) \cdot 16 = 15 \text{ TW/h}$ och fossilkraften levererar $(250 - 240)/(440 - 240) \cdot 20 = 1 \text{ TW/h}$. Sammantaget produceras således 121 TW/h/år och elförbrukningen är förstås lika stor.
- b) För varje $\text{€}/\text{MWh}$ som elpriset översäger den rörliga driftkostnaden tjänar företaget $1 \text{ €}/\text{MWh} \cdot 8 \text{ TW/h/år} = 8 \text{ M€}/\text{år}$. Detta överskott måste täcka de fasta kostnaderna, vilket innebär att elpriset måste vara $110 + 2 \cdot 400/8 = 410 \text{ €}/\text{MWh}$.
- c) 4.

Uppgift 3

- a) Area A ingår i samma synkrona nät som area B, D och E, vilket betyder att systemets totala regulerstyrka är $5 \cdot 000 \text{ MW}/\text{Hz}$. Den minskade elproduktionen leder till en frekvensminskning $\Delta f = \Delta G/R = 450/5 \cdot 000 = 0,09 \text{ Hz}$, d.v.s. den nya frekvensen blir $50 - 0,09 = 49,91 \text{ Hz}$.
- b) Eftersom area B ingår i samma synkrona nät som area A är frekvensen densamma, d.v.s. $49,91 \text{ Hz}$.
- c) Eftersom area C inte ingår i samma synkrona nät som area A är frekvensen i area C oförändrad, d.v.s. den är fortfarande exakt 50 Hz .
- d) Eftersom area D ingår i samma synkrona nät som area A är frekvensen densamma, d.v.s. $49,91 \text{ Hz}$.

Uppgift 4

- a) Parametrar: $\lambda_p, \lambda_{25}, \bar{M}_t, \bar{Q}_{i,j}$ och \bar{S}_t . Optimeringsvariabler: $M_{i,p}, P_p, Q_{i,j}, r_p$ och $S_{i,r}$.
- b) maximera $\sum_{t=1}^{24} \lambda_1(r_t - P_t) + \lambda_{25}((\gamma_1 + \gamma_2)M_{1,24} + \gamma_2 M_{2,24})$.
- c) $0 \leq M_{i,t} \leq \bar{M}_{i,t} \quad i = 1, 2, t = 1, \dots, 24,$
 $0 \leq P_p \quad t = 1, \dots, 24,$
 $0 \leq Q_{i,j,t} \leq \bar{Q}_{i,j} \quad i = 1, 2, j = 1, 2, 3, t = 1, \dots, 24,$
 $0 \leq r_p \quad t = 1, \dots, 24,$
 $\bar{S}_t \leq S_{i,r} \quad i = 1, 2, t = 1, \dots, 24.$
- d) 5.

Uppgift 5

- a) Eftersom samtliga kraftverk är 100% tillgängliga får vi $\tilde{F}_2(x) = \tilde{F}_1(x) = \tilde{F}_0(x)$, vilket ger att

$$\begin{aligned} EG_2 &= EENS_1 - EENS_2 = \int_{750}^{\infty} \tilde{F}_1(x) dx - \int_{800}^{\infty} \tilde{F}_2(x) dx = \int_{750}^{\infty} \tilde{F}_0(x) dx = \\ &= (0,075 + 0,05) \cdot 50/2 = 3,125 \text{ MWh/h}. \end{aligned}$$

Vi kan anta att vattenkraften har försumbar driftkostnad, vilket innebär att den förväntade driftkostnaden per timme blir med andra ord $ETOC = 10EG_2 = 31,25 \text{ €}/\text{h}$.

- b) $LOLP = \tilde{F}_2(800) = 0,9\tilde{F}_1(800) + 0,1\tilde{F}_1(800 - 50) = 0,9 \cdot 0,05 + 0,1 \cdot 0,075 = 5,25\%$.
- c) $m_{TOC} = m_{TOC} - \tilde{TOC} + \mu\tilde{TOC} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} (TOC_i - \tilde{TOC}_i) + 35 = (20 + 180 + 400)/10 + 20 = 80 \text{ €}/\text{h}$.
- $m_{LOLO} = m_{LOLO} - LOLO + \mu LOLO = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} (LOLO_i - LOLO) + 0,05 = 1/10 + 0,05 = 13\%$.

- d) Med den inversa transformmetoden erhålls $D = F_D^{-1}(U)$, där U är ett $U(0, 1)$ -fördelat slumpial. Eftersom vi i uppgiften fått varmekighetskurvan i stället, kan vi lika gärna använda transformen $D = F_D^{-1}(U)$. Det ursprungliga slumpialet måste ha varit $U = F_D(400) = 0,8$. Således är $U^* = 1 - U = 0,2$, vilket ger $D^* = F_D^{-1}(U^*) = 600 \text{ MW}$.