



KTH Elektro-
och systemteknik

Kompletterings skrivning i EG2050 Systemplanering, 17 september 2009, 9:00-11:00, stora konferensrummet

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)

a) (2 p) På elmarknaden i Land råder perfekt konkurrens, alla aktörer har perfekt information och det inte finns vare sig några nät-, magasins-, eller effektbegränsningar. Data för elproducenterna i Land ges i tabell 1. Den rörliga produktionskostnaden för kolkondensen antas vara linjära i det angivna intervallet, d.v.s. då produktionen är noll är priset på den lägsta nivån och vid maximal produktion är priset maximalt. Antag att konsumenterna på elmarknaden i Land inte är priskänsliga. Vilket elpris får man om elförbrukningen är 145 TWh/år?

Tabell 1 Data för elproducenterna i Land.

Kraftslag	Produktionskapacitet [TWh/år]	Rörlig kostnad [ϰ/MWh]
Vattenkraft	65	10
Kärnkraft	60	100
Kolkondens	25	300–500

b) (2 p) Betrakta en elmarknad där det råder perfekt konkurrens, där alla aktörer har perfekt information och där det inte finns några nät- eller magasinbegränsningar. Under ett visst dygn kommer elpriset på denna elmarknad att överstiga 380 ϰ/MWh under 20 timmar. Hur mycket producerar ett kraftverk med driftkostnaden 380 ϰ/MWh under detta dygn, om den installerade effekten i kraftverket är 200 MW?

c) (2 p) Strålinge AB äger ett kärnkraftverk med en produktionskapacitet på 8 TWh per år. Kraftverkets rörliga driftkostnad är 100 ϰ/MWh och företaget har fasta kostnader på 2 600 Mϰ/år. Hur högt måste elpriset minst vara för att företaget inte ska gå med förlust?

Uppgift 3 (6 p)

Elsystemet i Land är uppdelat i två områden (A respektive B) som är förbundna med en växelströmsledning. Denna ledning har en maximal överföringskapacitet på 1 000 MW och är försedd med skyddssystem som efter en viss tidsfördröjning kopplar bort ledningen om den maximala kapaciteten överskrids.

Klockan 8:45 utbryter en brand i en transformatorstation i Stad (som ligger i område A). Till följd av branden måste hela regionnätet för Stad omedelbart kopplas bort från Lands nationella elnät, vilket innebär att det nationella nätet förlorar 200 MW elproduktion och 500 MW last. Efter att Stads regionnät kopplats bort uppgår reglerstyrkan i Land till 5 000 MW/Hz i område A och 5 000 MW/Hz i område B.

Alldeles innan Stads regionnät kopplades bort var frekvensen i systemet 50,02 Hz och det överfördes 750 MW från område A till område B.

a) (1 p) Vad händer då Stads regionnät kopplas bort?

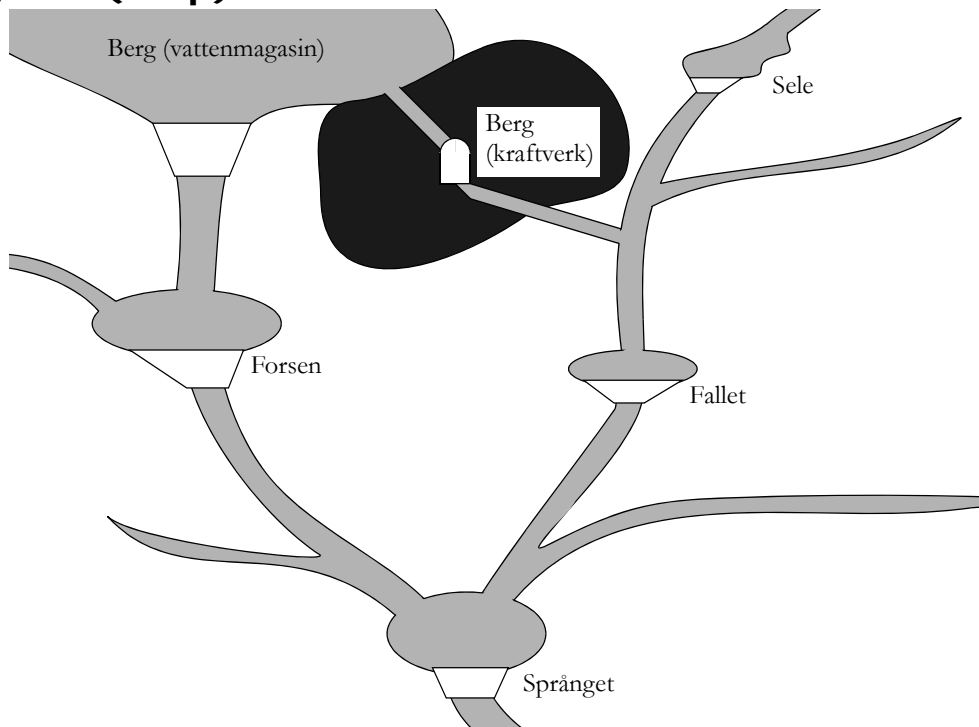
1. Det uppstår ett överskott av energi, vilket leder till att spänningen höjs i elnätet. Reglersystemet i de kraftverk som deltar i primärregleringen svarar på spänningsökningen genom att minska elproduktionen.
2. Det uppstår ett överskott av energi, som lagras i form av rotationsenergi i alla synkrongeneratorer och därmed ökar frekvensen i systemet. Reglersystemen i de kraftverk som deltar i primärregleringen svarar på frekvensökningen genom att minska elproduktionen.
3. Det uppstår ett underskott av energi, som täcks med rotationsenergi från alla synkrongeneratorer och därmed ökar frekvensen i systemet. Reglersystemen i de kraftverk som deltar i primärregleringen svarar på frekvensökningen genom att öka elproduktionen.

b) (1 p) Kommer transmissionsförbindelsen mellan område A och område B att kopplas bort p.g.a. överbelastning?

c) (2 p) Vilken frekvens får man i område A respektive B efter att primärregleringen återställt balansen mellan produktion och konsumtion?

d) (2 p) Kraftverket Språnget ligger i område B. Kraftverket har en installerad effekt på 300 MW och reglerstyrkan är inställd på 200 MW/Hz. Basproduktionen (d.v.s. produktionen då frekvensen är exakt 50 Hz) är 200 MW. Hur mycket producerar Språnget då frekvensen är 50,02 Hz?

Uppgift 4 (12 p)



AB Vattenkraft äger fem vattenkraftverk lokaliserade som i figuren ovan. Notera att Berg är ett underjordiskt kraftverk och att vatten som tappas genom turbinen rinner vidare till Fallet, medan spill hamnar i Forsen. I ett korttidsplaneringsproblem för dessa kraftverk har man infört följande beteckningar:

Index för kraftverken: Berg - 1, Sele - 2, Forsen - 3, Fallet - 4, Språnget - 5.

- γ_i = förväntad framtida produktionsekvivalent för kraftverk i , $i = 1, \dots, 5$,
- D_t = avtalad last timme t , $t = 1, \dots, 24$,
- λ_{25} = förväntat elpris efter planeringsperiodens slut,
- $M_{i,0}$ = innehåll i magasin i vid planeringsperiodens början, $i = 1, \dots, 5$,
- $M_{i,t}$ = innehåll i magasin i vid slutet av timme t , $i = 1, \dots, 5$, $t = 1, \dots, 24$,
- $\mu_{i,j}$ = marginell produktionsekvivalent i kraftverk i , segment j , $i = 1, \dots, 5$, $j = 1, 2$.
- $Q_{i,j,t}$ = tappning i kraftverk i , segment j , under timme t ,
 $i = 1, \dots, 5$, $j = 1, 2$, $t = 1, \dots, 24$,
- $S_{i,t}$ = spill från magasin i under timme t , $i = 1, \dots, 5$, $t = 1, \dots, 24$,
- $V_{i,t}$ = lokal tillrinning till magasin i under timme t , $i = 1, \dots, 5$, $t = 1, \dots, 24$.

a) (3 p) Vilka av beteckningarna ovan representerar optimeringsvariabler respektive parametrar?

b) (4 p) Syftet med AB Vattenkrafts korttidsplaneringsproblem är att det vatten som återstår i vattenmagasinen efter planeringsperiodens slut ska vara värt så mycket som möjligt, samtidigt som man varje timme måste producera tillräckligt mycket för att leverera den avtalade lasten. Då man värderar det sparade vattnet utgår man från att allt vatten kommer att användas för att producera el och att inget vatten kommer att spillas. Formulera målfunktionen i bolagets planeringsproblem. Använd beteckningarna ovan.

c) (1 p) Språngets vattenmagasin innehåller 1 000 TE klockan 9:00. Den lokala tillrinningen samt tappning och spill från kraftverken närmast uppströms uppgår till $120 \text{ m}^3/\text{s}$ mellan 9:00 och 10:00. Under samma tid tappar man 75 TE från Språnget. Hur mycket innehåller Forsens vattenmagasin klockan 10:00? Observera att svaret ska ges i m^3 !

d) (2 p) Ett korttidsplaneringsproblem omfattar \mathcal{G} termiska kraftverk och \mathcal{T} tidsperioder. I detta problem har man infört följande bivillkor för maximal respektive minimal produktion i kraftverken:

$$G_{g,t} \leq u_{g,t} \bar{G}_g, \quad g = 1, 2, \dots, \mathcal{G}, t = 1, 2, \dots, \mathcal{T}$$

$$G_{g,t} \geq u_{g,t} \underline{G}_g, \quad g = 1, 2, \dots, \mathcal{G}, t = 1, 2, \dots, \mathcal{T}$$

Vilka av beteckningarna ovan utgör parameterar respektive variabler i optimeringsproblemet?

1. Alla beteckningarna är parametrar.
2. \bar{G}_g , \underline{G}_g , och $u_{g,t}$ är parametrar, $G_{g,t}$ är optimeringsvariabler.
3. \bar{G}_g och \underline{G}_g är parametrar, $u_{g,t}$ och $G_{g,t}$ är optimeringsvariabler.
4. Endast $u_{g,t}$ är parametrar, \bar{G}_g , \underline{G}_g , och $G_{g,t}$ är optimeringsvariabler.
5. Alla beteckningarna är optimeringsvariabler.

e) (2 p) Antag att man beslutat att ett termiskt kraftverk ej ska tas ur drift för kortare tidsperioder än fyra timmar, d.v.s. om kraftverket tas ur drift 12:00 så får det inte startas igen före 16:00. Inför följande beteckningar:

s_t^+ = startvariabel för timme t (1 om kraftverket startar produktionen i början av timme t , annars 0),

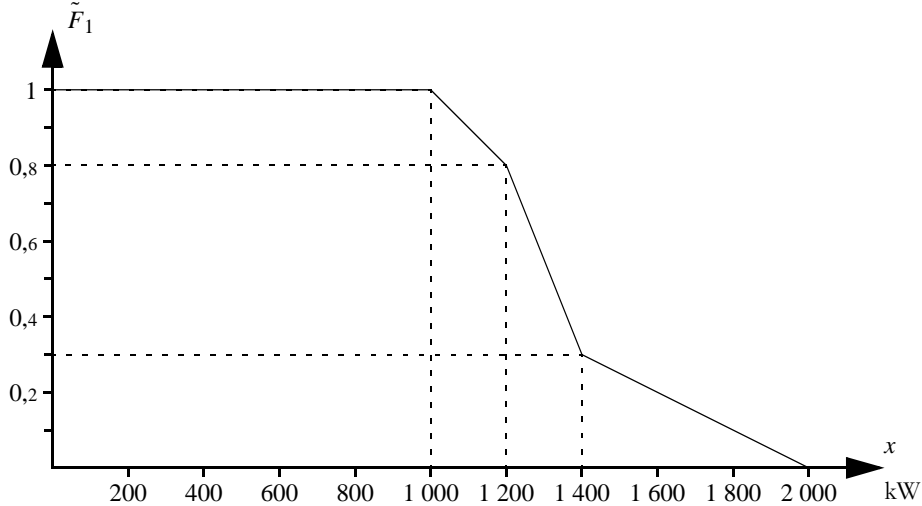
s_t^- = stoppvariabel för timme t (1 om kraftverket stoppar produktionen i början av timme t , annars 0).

Hur formuleras ett linjärt bivillkor som reglerar sambandet mellan s_t^- , s_{t+1}^+ , s_{t+2}^+ och s_{t+3}^+ ?

1. $s_t^- - s_{t+1}^+ - s_{t+2}^+ - s_{t+3}^+ = 0$.
2. $s_t^- - s_{t+1}^+ - s_{t+2}^+ - s_{t+3}^+ \leq 1$.
3. $s_t^- - s_{t+1}^+ - s_{t+2}^+ - s_{t+3}^+ = 1$.
4. $s_t^- + s_{t+1}^+ + s_{t+2}^+ + s_{t+3}^+ \leq 1$.
5. $s_t^- + s_{t+1}^+ + s_{t+2}^+ + s_{t+3}^+ = 1$.

Uppgift 5 (12 p)

Mji är en stad i Östafrika. Staden är inte ansluten till något nationellt elnät, utan man har ett eget lokalt system som försörjs av ett vattenkraftverk och två dieselgeneratorer. Vattenkraftverket saknar magasin, men vattenflödet är alltid tillräckligt stort för att man ska kunna producera installerad effekt (1 400 kW) och risken för driftstopp i kraftverket är försumbar. Dieselgeneratorerna har en kapacitet på 200 kW vardera, tillgängligheten är 80% och driftkostnaden 1 ¢/kWh.



a) (2 p) Vad har lasten för väntevärde?

Tips: Studera $EENS_0$!

b) (2 p) Med hjälp av stokastisk produktionskostnadssimulering kan man räkna ut att den förväntade vattenkraftproduktionen för detta system är 1 290 kWh/h och den icke-levererade energin är 22,8 kWh/h. Hur stor är den förväntade driftkostnaden?

c) (3 p) Använd stokastisk produktionskostnadssimulering till att beräkna risken för effektbrist i systemet.

d) (2 p) Antag att man önskar använda slumptalkomplement för att förbättra noggrannheten i simuleringen av Mji. Vilket värde får slumptalkomplementet, D^* , om den totala lasten i systemet slumpas fram till $D = 1\,100$ MW?

e) (3 p) För att ta hänsyn till förlusterna i elnätet har man genomfört en Monte Carlo-simulering av elsystemet i Mji. Simuleringen använder kontrollvariabelmetoden. Den förenklade modellen motsvarar den modell som används i stokastisk produktionskostnadssimulering, medan den detaljerade modellen tar hänsyn faktorer som att förlusterna beror på vilka kraftverk som körs, hur stor lasten är i olika delar av systemet. Resultaten visas i tabell 2. Vilken skattning av $ETOC$ får man för den detaljerade modellen?

Tabell 2 Resultat från Monte Carlo-simulering av elsystemet i Mji.

Antal scenarier, n	Resultat från den detaljerade modellen, $\sum_{i=1}^n toc_i$	Resultat från den förenklade modellen, $\sum_{i=1}^n \tilde{toc}_i$
1 000	68 100	66 500



KTH Elektro-
och systemteknik

Svarsblad

Namn:

Personnummer:

Uppgift 1

a) Alternativ är korrekt.

b) Alternativ är korrekt.

Uppgift 2

a) α /MWh b) MWh

c) Elpriset måste vara högre än α /MWh

Uppgift 3

a) Alternativ är korrekt b)

c) Område A: Hz Område B: Hz

d) MW

Uppgift 4

a) Parametrar:

Optimeringsvariabler:

b)

c) m^3

d) Alternativ är korrekt.

e) Alternativ är korrekt.

Uppgift 5

a) kWh/h b) α /h

c) % d) MW

e) α /h

Uppgift 1

- a) 2, b) 2.

Uppgift 2

- a) Vattenkraft och kärnkraft kan totalt ge 125 TWh, vilket betyder att man också kommer att behöva utnyttja 20 TWh kolkondens, vilket motsvarar 80% av den potentialen. Därmed behöver man utnyttja 80% av prisintervall för kolkondens, vilket betyder att elpriset måste vara 460 $\text{€}/\text{MWh}$.
- b) Kraftverket kommer att producera installerad effekt under de timmar då elpriset är högre än den rörliga driftkostnaden. 200 MW under 20 timmar ger en total produktion på 4 000 MWh.
- c) För varje $\text{€}/\text{MWh}$ som elpriset överstiger den rörliga driftkostnaden tjänar företaget 1 $\text{€}/\text{MWh} \cdot 8 \text{ TWh/år} = 8 \text{ M€}/\text{år}$. Detta överskott måste täcka de fasta kostnaderna, vilket innebär att elpriset måste vara $100 + 2 \cdot 600/8 = 425 \text{ €}/\text{MWh}$.

Uppgift 3

- a) 2.
- b) Efter att Stad kopplats bort måste de reglerstyrda kraftverken minska elproduktionen med 300 MW. Område B har halva reglerstyrkan i systemet och står således för hälften av produktionsminskningen. Eftersom lasten och den övriga elproduktionen i område B är oförändrad måste produktionsminskningen i de reglerstyrda kraftverken kompenseras med ökad import från område A. Överföringen på transmissionsförbindelsen ökar därför till 900 MW, vilket är lägre än ledningens kapacitet. Ledningen kommer således inte att kopplas bort.
- c) Eftersom de två områden fortfarande är förbundna med en växelströmsledning kommer frekvensen att vara densamma i bägge områdena. För att elproduktionen ska minska med 300 MW krävs att frekvensen ökar med $\Delta f = \Delta G/R = 300/10\,000 \text{ Hz}$, d.v.s. den nya frekvensen blir 50,02 + 0,03 = 50,05 Hz.
- d) Då frekvensen är 50,02 Hz producerar Sprängnet $G = G_0 - R(f - f_0) = 200 - 200(50,02 - 50) = 196 \text{ MW}$.

Uppgift 4

- a) Parametrar: $\gamma_p, D, \lambda_{25}, M_{i,0}, H_{i,j}$ och $V_{i,r}$. Optimeringsvariabler: $M_{i,p}, S_{i,t}$ och $Q_{i,j,r}$.
- b) maximera $\lambda_{25}(\gamma_1 + \gamma_4 + \gamma_5)M_{1,24} + \lambda_{25}(\gamma_2 + \gamma_4 + \gamma_5)M_{2,24} + \lambda_{25}(\gamma_3 + \gamma_5)M_{3,24} + \lambda_{25}(\gamma_4 + \gamma_5)M_{4,24} + \lambda_{25}\gamma_5 M_{5,24}$.
- c) Eftersom magasinet fylls på med 120 TE och man tappar 75 TE, så måste det innehålla 1 045 TE = 3 762 000 m³ vatten i slutet av timmen.
- d) 3.
- e) 4.

Uppgift 5

- a) $EENS_0 = \int_0^{\infty} \tilde{F}_0(x) dx = 1\,000 \cdot 1 + 200 \cdot (1 + 0,8)/2 + 200 \cdot (0,8 + 0,3)/2 + 600 \cdot 0,3/2 = 1\,380 \text{ MWh/h}$.
- b) Den förväntade lasten är 1 380 kW/h, vilket betyder att $EG_1 + EG_2 + EG_3 + EENS_3 = 1\,380$. Givet att $EG_1 = 1\,290 \text{ kWh/h}$ och $EENS_3 = 22,8 \text{ kWh/h}$ får man att den förväntade elproduktionen i dieselgeneratorerna är 67,2 kWh/h. Den förväntade driftkostnaden blir således $ETOC = 1 \cdot (EG_2 + EG_3) = 67,2 \text{ €}/\text{h}$.
- c) Risken för effektbrist ges av $\tilde{F}_3(1\,800) = 0,8\tilde{F}_2(1\,800) + 0,2\tilde{F}_2(1\,600) = 0,8(0,8\tilde{F}_1(1\,800) + 0,2(0,8\tilde{F}_1(1\,600) + 0,2\tilde{F}_1(1\,400)))$. Eftersom vattenkraftverket är 100% tillgängligt är $\tilde{F}_1(x) = \tilde{F}_0(x)$, vilket ger $LOLP = 0,8 \cdot (0,8 \cdot 0,1 + 0,2 \cdot 0,2) + 0,2 \cdot (0,8 \cdot 0,2 + 0,2 \cdot 0,3) = 14\%$.
- d) Med den inversa transformmetoden erhålls $D = F_D^{-1}(U)$, där U är ett $U(0, 1)$ -fördelat slumptal. Eftersom vi i uppgiften fått varaktighetskurvan i stället, kan vi lika gärna använda transformen $D = \tilde{F}_D^{-1}(U)$. Det ursprungliga slumptalet måste ha varit $U = \tilde{F}_D(1\,100) = 0,9$. Således är $U^* = 1 - U = 0,1$, vilket ger $D^* = \tilde{F}_D^{-1}(U^*) = 1\,800 \text{ MW}$.
- e) $m_{TOC} = m_{TOC} - \bar{TOC} + \mu_{TOC} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n TOC_i - \sum_{i=1}^n \bar{TOC}_i \right) + \bar{TOC} = \frac{1}{1\,000} (68\,100 - 66\,500) + 67,2 = 68,8 \text{ €}/\text{h}$.