



KTH Elektro-
och systemteknik

Kompletterings skrivning i EG2050 Systemplanering, 12 april 2013, 13:00-15:00, 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) Berakta ett balansansvarigt bolag som under en viss timme producerat 890 MWh, sålt 400 MWh till elbörsen, sålt 460 MWh till kunder med självbetjäningskontrakt och sålt 20 MWh reglerkraft till systemoperatören. Hur stor är detta bolags obalans för denna timme? (Bortse från om obalansen är positiv eller negativ.)

1. 0 MWh.
2. 10 MWh.
3. 20 MWh.
4. 30 MWh.
5. Inget av ovanstående alternativ är korrekt.

b) (2 p) På en vertikalt integrerad elmarknad gäller att I) Kraftbolagen är fria att sälja till vilka andra kraftbolag som helst, II) All elhandel måste ske via en elbörs, III) Konsumenterna är fria att köpa från vilken producent eller återförsäljare som helst.

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

Uppgift 2 (6 p)

Antag att man på elmarknaden i Land har perfekt konkurrens, alla aktörer har perfekt information, samt att det inte finns några nät- eller effektbegränsningar. Vattenmagasinen i Land har emellertid en viss maximal lagringskapacitet. Den rörliga produktionskostnaden i vattenkraften är försumbar. Den 1 januari innehåller vattenmagasinen totalt 20 TWh och enligt långtidsprognoserna för elmarknaden (vilka som sagt var antas vara felfria) ska magasinen innehålla 25 TWh den 31 december. Tillrinningen och övriga data för elmarknaden i Land ges i tabell 1 nedan. De rörliga produktionskostnaderna antas vara linjära inom de angivna intervallen; då produktionen är noll är priset på den lägsta nivån och vid maximal produktion är priset maximalt.

Antag att elpriset är 360 $\text{ö}/\text{MWh}$ mellan 1 januari och den 30 juni och 380 $\text{ö}/\text{MWh}$ mellan 1 juli och 31 december.

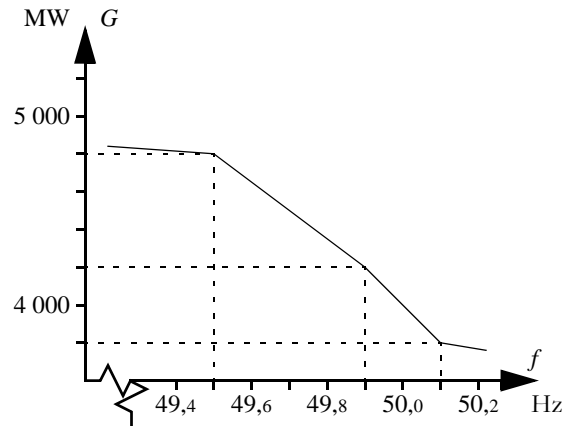
Tabell 1 Data för elmarknaden i Land.

Kraftslag	Produktionskapacitet [TWh]		Rörlig produktionskostnad [$\text{ö}/\text{MWh}$]
	1 januari till 30 juni	1 juli till 31 december	
Kärnkraft	40	35	100–120
Kolkondens	15	15	300–450
Gasturbiner	5	5	800–1 000
Tillrinning i vattenkraftmagasinen [TWh]	50	20	
Elförbrukning [TWh]	74	69	

- a) (1 p)** Hur stor är den totala kärnkraftproduktionen i Land mellan den 1 januari och den 30 juni?
- b) (1 p)** Hur stor är den totala gasturbinproduktionen i Land mellan den 1 juli och den 31 december?
- c) (2 p)** Hur stor är den totala kolkondensproduktionen i Land mellan den 1 januari och den 30 juni?
- d) (2 p)** Hur stor är den totala lagringskapaciteten i vattenmagasinen i Land?

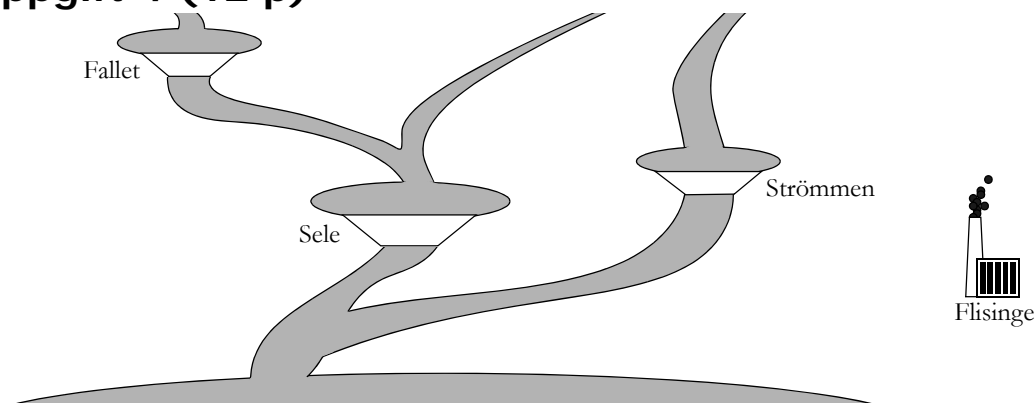
Uppgift 3 (6 p)

Primärregleringen i Land är uppdelad i en normaldriftreserv och en störningsreserv, där den förra har reglerstyrkan 2 000 MW/Hz och är till för att hantera normala variationer i t.ex. last och vindkraftproduktion, medan den senare är till för att hantera bortfall i större kraftverk. Normaldriftreserven är tillgänglig i frekvensintervallet 49,9–50,1 Hz och störningsreserven är tillgänglig i frekvensintervallet 49,5–49,9 Hz. Figuren nedan visar den totala elproduktionen i de reglerstyrkestyrda kraftverken som funktion av frekvensen.



- a) (2 p)** Hur mycket återstår av normaldriftreserven då frekvensen är 49,93 Hz (d.v.s. hur mycket kan elproduktionen i dessa kraftverk öka)?
- b) (1 p)** Vilken reglerstyrka har störningsreserven?
- c) (3 p)** Vid ett visst tillfälle är frekvensen i systemet stabil på 49,93 Hz, då vattenkraftverket Språnget kopplas bort från nätet efter ett fel i en transformatorstation. Språnget deltog inte i primärregleringen och producerade före felet 480 MW. Vilken frekvens får man i systemet då frekvensen stabiliserats efter felet?

Uppgift 4 (12 p)



AB Elkraft äger tre vattenkraftverk lokaliserade enligt figuren ovan. Dessutom äger man det bio-bränsleddade kraftverket Flisinge. I ett korttidsplaneringsproblem för bolagets kraftverk har man infört följande beteckningar:

Index för vattenkraftverken: Fallet 1, Sele 2, Strömmen 3.

β = rörlig produktionskostnad i Flisinge,

C^+ = startkostnad i Flisinge,

γ_i = förväntad framtida produktionsekvivalent för vatten lagrat i magasin i ,
 $i = 1, 2, 3$,

G_t = elproduktion i Flisinge, timme t , $t = 1, \dots, 24$,

\bar{G} = installerad effekt i Flisinge,

\underline{G} = minimal elproduktion då Flisinge är i drift,

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

λ_{25} = förväntat elpris efter planeringsperiodens slut,

$M_{i,0}$ = innehåll i magasin i vid planeringsperiodens början, $i = 1, 2, 3$,

$M_{i,t}$ = innehåll i magasin i vid slutet av timme t , $i = 1, 2, 3$, $t = 1, \dots, 24$,

\bar{M}_i = maximalt innehåll i magasin i , $i = 1, 2, 3$,

$\mu_{i,j}$ = marginell produktionsekvivalent i vattenkraftverk i , segment j ,
 $i = 1, 2, 3$, $j = 1, 2, 3$,

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

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

$S_{i,t}$ = spill från magasin i under timme t , $i = 1, 2, 3$, $t = 1, \dots, 24$,

\bar{S}_i = maximalt spill från magasin i , $i = 1, 2, 3$,

s_t^+ = startvariabel för Flisinge, timme t , $t = 1, \dots, 24$,

u_0 = driftstatus i kraftverk g vid planeringsperiodens början,

u_t = driftstatus i kraftverk g , timme t , $t = 1, \dots, 24$,

$V_{i,t}$ = lokalt inflöde till magasin i , timme t , $i = 1, 2, 3$, $t = 1, \dots, 24$.

a) (2 p) Följande beteckningar i AB Elkrafts planeringsproblem representerar optimeringsvariabler: I) γ_i , II) u_0 , III) u_t

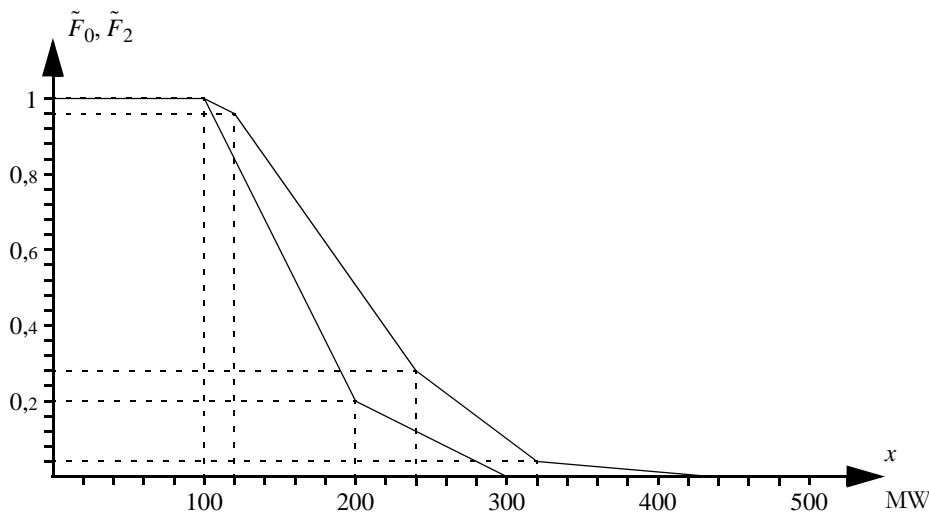
1. Inget av påståendena är sanna.
2. Endast I är sant.
3. Endast II är sant.
4. Endast III är sant.
5. I och III är sanna men inte II.

b) (6 p) Formulera målfunktionen om syftet med planeringsproblemet är att maximera intäkterna av såld el plus värdet av sparat vatten minus kostnaderna i Flisinge. Använd beteckningarna ovan.

c) (4 p) Formulera det bivillkor som reglerar sambandet mellan minimal elproduktion och driftstatus i Flisinge under timme t . Använd beteckningarna ovan.

Uppgift 5 (12 p)

Det nationella elnätet i Nchi försörjs av en vindkraftpark, tre vattenkraftverk samt två termiska kraftverk (se tabell 2). Figuren nedan visar varaktighetskurvan för den totala lasten i Nchi, $\tilde{F}_0(x)$, samt varaktighetskurvan för den ekvivalenta lasten då man inkluderat bortfall i vattenkraftverken och vindkraftparken, $\tilde{F}_2(x)$.



Tabell 2 Data för kraftverken i Nchi.

Kraftverk	Sammanlagd installerad effekt [MW]	Rörlig driftkostnad [ϰ/MWh]	Tillgänglighet [%]
Vindkraftparken Mlima	20	0	97*
Vattenkraftverk längs Mto-floden	220	0	99*
Diesलगenerator i Mji	20	600	80
Oljekondenskraftverk i Jiji	60	500	90

* Avser den tekniska tillgängligheten; den tillgängliga produktionskapaciteten beror även på väderförhållandena vid ett visst tillfälle.

- (1 p)** Hur stor är sannolikheten att lasten kan täckas enbart med vindkraft och vattenkraft?
- (1 p)** Hur stor är sannolikheten att inget av de två termiska kraftverken är tillgängligt?
- (1 p)** Hur stor är sannolikheten att systemets marginalkostnad (d.v.s. den rörliga driftkostnaden i det dyraste kraftverk som är i drift) är lika med noll?
- (3 p)** Använd stokastisk produktionskostnadssimulering för att beräkna risken för effektbrist i systemet.
- (2 p)** Ta fram ett värde på lasten med hjälp av den inversa transformmetoden och slumptalet 0,04 från en $U(0, 1)$ -fördelning.

f) (4 p) Antag att man ska simulera samma elmarknad med hjälp av stratifierad sampling och slumpvals-komplement. För att bestämma hur samplen ska fördelas mellan stratumen genomför man först en pilotstudie, där man genererar 10 scenarier och 10 komplementära scenarier för varje stratum. Resultaten från pilotstudien redovisas i tabell 3. Vilken skattning av *ETOC* får man efter pilotstudien?

Tabell 3 Resultat från en Monte Carlo-simulering av elsystemet i uppgift 5.

Stratum, h	Stratumvikt, ω_h	Total driftkostnad i de ursprungliga scenarierna, $\sum_{i=1}^{10} g(y_i)$ [□/h]	Total driftkostnad i de komple- mentära scenarierna, $\sum_{i=1}^{10} g(y_i^*)$ [□/h]
1	0,40	0	0
2	0,35	28 000	26 000
3	0,25	300 000	320 000



KTH Elektro-
och systemteknik

Svarsblad

Namn:

Personnummer:

Uppgift 1

a) Alternativ är korrekt.

b) Alternativ är korrekt.

Uppgift 2

a) TWh b) TWh

c) TWh d) TWh

Uppgift 3

a) MW b) MW/Hz

c) Hz

Uppgift 4

a) Alternativ är korrekt.

b)

.....

.....

c)

Uppgift 5

a) % b) %

c) % d) %

e) MW f) ϖ /h

Lösningsslag till kompletteringskrivning i ECG2050 Systemplanering, 12 april 2013.

Uppgift 1

- a) 2, b) 2.

Uppgift 2

- a) Eftersom elpriset är högre än den rörliga produktionskostnaden i den dyraste kärnkraften kommer kärnkraftverken i land att producera för fullt, d.v.s. 40 TWh.
 b) Eftersom elpriset är lägre än den rörliga produktionskostnaden i de billigaste gasturbinerna kommer gasturbinerna inte att användas.
 c) Den del av kolkondensen som har en lägre driftkostnaden än elpriset 360 □/MWh kommer att utnyttjas, d.v.s. $(360 - 300)/(450 - 300) \cdot 15 = 6$ TWh.
 d) Eftersom elpriset är lägre det första halvåret så är magasinen maximalt fyllda mellan den 30 juni och 1 juli (om det inte hade funnits någon magasinbegrensning hade man haft samma elpris under hela året). Under det första halvåret kan vattenkraften totalt producera 20 TWh (startinnehåll + 50 TWh (tillrinning) = 70 TWh. Eftersom elförbrukningen under denna period är 74 TWh, varav 46 TWh täcks av kärnkraft och kolkondens, så måste vattenkraftproduktionen vara 28 TWh. Alltså kan vi dra slutsatsen att vattenmagasinen rymmer 42 TWh.

Uppgift 3

- a) Frekvensen kan sjunka med 0,03 Hz innan kraftverken i normaldriftsreserven upphör att reglera; detta innebär att den reserv som återstår är 2 000 MW/Hz · 0,03 Hz = 60 MW.
 b) Reglerstyrkan kan läsas av i figuren: 600 MW/0,4 Hz = 1 500 MW/Hz.
 c) Uppenbarligen kommer ett så stort bortfall leda till en frekvens som är lägre än 49,9 Hz. Kraftverken i normaldriftsreserven kommer således att öka sin elproduktion så mycket de kan, d.v.s. 60 MW. I detta läge har frekvensen sjunkit till 49,9 Hz, men man behöver ytterligare 420 MW, som måste tillföras av kraftverken i störingsreserven. Frekvensen måste alltså sjunka med ytterligare 420/1 500 = 0,28 Hz. Den nya frekvensen blir därmed 49,9 - 0,28 = 49,62 Hz.

Uppgift 4

- a) 4.
 b) maximera
$$\sum_{t=1}^{24} \left(G_t + \sum_{i=1}^3 \mu_i Q_{i,t} \right) + \lambda_1 \gamma_1 + \lambda_2 \gamma_2 M_{1,24} + \lambda_3 \gamma_3 M_{2,24} + \lambda_4 \gamma_4 M_{3,24}$$

$$- \sum_{t=1}^{24} (C^+ s_t^+ + \beta G_t).$$

 c) $G_t \geq u_t \bar{G}.$

Uppgift 5

- a) Sannolikheten att man lasten *inte* kan täckas enbart med vindkraft och vattenkraft är lika med sannolikheten att den ekvivalenta lasten överstiger den installerade effekten i vindkraften och vattenkraften, d.v.s. $\bar{F}_2(240) = 28\%$. Sannolikheten att vindkraft och vattenkraft är tillräckligt måste då vara 72%.
 b) Sannolikheten att inget termiskt kraftverk är tillgängligt är $q_3 \cdot q_4 = 0,1 \cdot 0,2 = 2\%$.
 c) Systemets marginalkostnad är lika med 0 □/MWh då vindkraft och vattenkraft är tillräckligt för att täcka lasten i systemet samt då vindkraft och vattenkraft inte är tillräckliga, men inget termiskt kraftverk är tillgängligt. Från a-uppgiften vet vi att sannolikheten för det första fallet är 72%. Sannolikheten för det andra fallet är 0,28 (sannolikheten att de termiska kraftverken behövs) · 0,02 (sannolikheten att inget av kraftverken är tillgängligt) = 0,56%. Sammanlagt får vi alltså sannolikheten 72,56% att marginalkostnaden är lika med 0 □/MWh.

- d) Risken för effektbrist ges av

$$\begin{aligned} \bar{F}_4(320) &= 0,8 \bar{F}_3(320) + 0,2 \bar{F}_3(300) = \\ &= 0,8(0,9 \bar{F}_2(320) + 0,1 \bar{F}_2(260)) + 0,2(0,9 \bar{F}_2(300) + 0,1 \bar{F}_2(240)) = \\ &= 0,8 \cdot (0,9 \cdot 0,04 + 0,1 \cdot 0,22) + 0,2 \cdot (0,9 \cdot 0,1 + 0,1 \cdot 0,28) = 0,07. \end{aligned}$$

Risken för effektbrist är således 7%.

- e) Om det givna slumptalet betecknas U så erhålls ett värde på lasten genom $D = \bar{F}_0^{-1}(U) = \{\text{läs av i figuren}\} = 280$ MW.

- f) Först beräknar vi väntevärdet i respektive stratum. I praktiken behöver man inte göra något skillnad mellan observationer från de ursprungliga scenarierna och de komplementära scenarierna, vilket ger följande skattningar:

$$m_{X,h} = \frac{1}{20} \left(\sum_{t=1}^{10} g(y_t) + \sum_{t=1}^{10} g(y_t^*) \right) = \begin{cases} 0 & h = 1, \\ 2\,700 & h = 2, \\ 31\,000 & h = 3. \end{cases}$$

Därefter viktar vi ihop resultaten för varje stratum i enlighet med deras stratumvikter:

$$ETOC = m_X = \sum_{h=1}^3 \omega_h m_{X,h} = 0,4 \cdot 0 + 0,35 \cdot 2\,700 + 0,25 \cdot 31\,000 = 8\,695 \text{ □/h}.$$