



KTH Elektro-
och systemteknik

Kompletteringskrivning i EG2050/2C1118 Systemplanering, 14 april 2007, 18:00-20:00, 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 kompletteringskrivning kan totalt ge 40 poäng inklusive tillgodoräknade uppgifter. Godkänt betyg garanteras vid 33 poäng.

Tillåtna hjälpmedel

Vid denna kompletteringskrivning 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) AB Elbolaget är en balansansvarig elleverantör. Bolaget har en enda kund, nämligen AB Industri. Elhandeln på den marknad där AB Elbolaget i verksam har en handelsperiod på en timme. I följande situationer uppfyller AB Elbolaget sitt balansansvar utan någon obalans: I) Då AB Elbolaget producerar 1 000 MWh under en timme, samtidigt som AB Industris elförbrukning varierar mellan 800 MW och 1 250 MW med ett medelvärde på 1 000 MW under timmen, II) Då AB Elbolaget producerar 750 MW under den första halvtimmen och 1 250 MW under den andra halvtimmen, samtidigt som AB Industris elförbrukning uppgår till 1 000 MWh, III) Då AB Elbolaget köper 1 000 MWh från den lokala elbörsen ElKräng, samtidigt som AB Industris elförbrukning uppgår till 1 000 MWh.

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

b) (2 p) Konsumenterna på en vertikalt integrerad elmarknad har följande valmöjligheter: I) De kan välja vilken systemoperatör de vill ha, II) De kan välja vilken elleverantör de vill ha, III) De kan välja vilken aktör som ska sköta deras balansansvar.

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

Uppgift 2 (6 p)

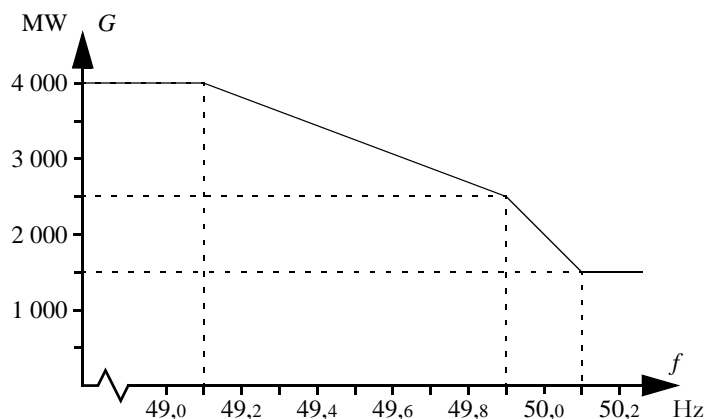
Betrakta den gemensamma elmarknaden för de två länderna Rike och Maa. Antag att det råder perfekt konkurrens, att alla aktörer har perfekt information, samt att det inte finns några magasinbegränsningar eller effektbegränsningar i kraftverken. Elsystemen i Rike och Maa är förbundna via en HVDC-ledning, som maximalt kan överföra ett visst antal TWh per år. Antag att elpriset i Rike är 360 kr/MWh , medan elpriset i Maa är 380 kr/MWh . Övriga data för den gemensamma elmarknaden framgår av tabell 1. De rörliga produktionskostnaderna antas vara linjära inom 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 elmarknaden i Rike och Maa.

Kraftslag	Produktionskapacitet [TWh/år]		Rörlig produktionskostnad [kr/MWh]
	Rike	Maa	
Vattenkraft	50	10	30–60
Kärnkraft	50	20	100–120
Kolkondens	15	15	300–450
Gasturbiner	5	5	800–1 000
Elförbrukning [TWh/år]	94	50	

- a) (1 p) Hur mycket producerar vattenkraftverken i Rike?
- b) (1 p) Hur mycket producerar gasturbinerna i Maa?
- c) (2 p) Hur mycket producerar kolkondenskraftverken i Rike?
- d) (2 p) Hur stor är överföringskapaciteten mellan Rike och Maa?

Uppgift 3 (6 p)



Figuren ovan visar den totala elproduktionen i de reglerstyrkstyrda kraftverken som funktion av frekvensen i ett visst elsystem.

- a) (2 p) Hur stor är systemets reglerstyrka vid frekvensen 50,0 Hz?
- b) (2 p) Hur stor är systemets reglerstyrka vid frekvensen 49,5 Hz?
- c) (2 p) Antag att frekvensen i systemet är 49,5 Hz. Vad händer med frekvensen i systemet om man i detta läge tappar 900 MW produktion?
1. Om inte systemoperatören snabbt kan koppla bort last kommer systemet att kollapsa, eftersom det inte finns tillräckligt med primärregleringsreserver för att kompensera ett bortfall på 900 MW.
 2. Då primärregleringen har kompenserat bortfallet kommer den nya frekvensen i systemet att vara 49,02 Hz.
 3. Då primärregleringen har kompenserat bortfallet kommer den nya frekvensen i systemet att vara 49,10 Hz.
 4. Då primärregleringen har kompenserat bortfallet kommer den nya frekvensen i systemet att vara 49,68 Hz.
 5. Då primärregleringen har kompenserat bortfallet kommer den nya frekvensen i systemet att vara 50,00 Hz.

Uppgift 4 (12 p)

Stads energi AB äger ett termiskt kraftverk med tre block. Dessutom äger man en vindkraftpark. Bolaget säljer dels el till kunder med fastkraftavtal och dels handlar man på den lokala elbörsen, ElKräng, där man har möjlighet att både köpa och sälja el. Antag att bolaget formulerat sitt korttidsplaneringsproblem som ett MILP-problem och att man har infört följande beteckningar:

Index för kraftverken: Block I - 1, Block II - 2, Block III - 3.

- C_g^+ = startkostnad i kraftverk g , $g = 1, 2, 3$,
- D_t = avtalad last timme t , $t = 1, \dots, 24$,
- $G_{g,t}$ = elproduktion i kraftverk g , timme t , $g = 1, 2, 3$, $t = 1, \dots, 24$,
- \bar{G}_g = installerad effekt i kraftverk g , $g = 1, 2, 3$,
- \underline{G}_g = minimal elproduktion då kraftverk g är i drift, $g = 1, 2, 3$,
- p_t = köp från ElKräng timme t , $t = 1, \dots, 24$,
- r_t = försäljning till ElKräng timme t , $t = 1, \dots, 24$,
- $s_{g,t}^+$ = startvariabel för kraftverk g , timme t , $g = 1, 2, 3$, $t = 1, \dots, 24$,
- $u_{g,0}$ = driftstatus i kraftverk g vid planeringsperiodens början, $g = 1, 2, 3$,
- $u_{g,t}$ = driftstatus i kraftverk g , timme t , $g = 1, 2, 3$, $t = 1, \dots, 24$,
- W_t = förväntad vindkraftproduktion timme t , $t = 1, \dots, 24$,
- β_{Gg} = rörlig produktionskostnad i kraftverk g .

a) (4 p) Formulera lastbalansbivillkoret i Stads energi AB:s korttidsplaneringsproblem. Använd beteckningarna ovan.

b) (4 p) Formulera det bivillkor som reglerar sambandet mellan \bar{G}_g , $G_{g,t}$ och $u_{g,t}$ för kraftverk g , timme t .

c) (2 p) Följande beteckningar i Stads energi AB:s planeringsproblem representerar optimeringsvariabler: I) D_p , II) $G_{g,t}$, III) W_t .

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

d) (1 p) Block III eldas med bibränsle som kostar 600 kr/ton . Bränslets värmeinhåll är 5 MWh/ton och kraftverket har en verkningsgrad på 40%. Hur stor är den rörliga produktionskostnaden i block III?

e) (1 p) Forsens vattenmagasin innehåller 3 960 000 m^3 vatten klockan 18:00. Den lokala tillrinningen samt tappning och spill från kraftverket närmast uppströms uppgår till 100 TE mellan 18:00 och 19:00. Under samma tid tappar man 140 TE från Forsen. Hur mycket innehåller Forsens vattenmagasin klockan 19:00? Observera att svaret ska ges i TE!

Uppgift 5 (12 p)

Betrakta en elmarknad där lasten kan antas vara normalfördelad med väntevärdet 800 kW och standardavvikelsen 100 kW. I tabell 2 anges utvalda data för varaktighetskurvan $\tilde{F}_0(x)$.

Tabell 2 Lastens varaktighetskurva i uppgift 5.

	$x = 700$	$x = 800$	$x = 900$	$x = 1\ 000$	$x = 1\ 100$	$x = 1\ 200$
$\tilde{F}_0(x)$	0,841	0,500	0,159	0,023	0,001	0,000
$\int_x^\infty \tilde{F}_0(\xi) d\xi$	108,33	39,89	8,33	0,85	0,04	0,00

a) (1 p) Beräkna $EENS_0$, d.v.s. den förväntade ickelevererade energin om det inte finns några kraftverk i systemet.

b) (2 p) Antag att denna elmarknad försörjs av ett vattenkraftverk på 900 kW och att den installerade effekten i detta kraftverk alltid är tillgänglig. Hur stor är den förväntade elproduktionen i vattenkraftverket?

c) (3 p) Antag att denna elmarknad dels försörjs av vattenkraftverket från föregående uppgift, samt ett vindkraftverk. En modell av den tillgängliga vindkraftkapaciteten anges i tabell 3. Vad har detta system för *LOLP*?

Tips: Faltningsekvationen för en flertillståndsmo­dell ser ut så här:

$$\tilde{F}_g(x) = \sum_{i=1}^{N_g} p_{g,i} \tilde{F}_{g-1}(x - x_{g,i}).$$

Tabell 3 Modell av vindkraftverket i uppgift 5c.

Tillgänglig produktionskapacitet [kW]	Sannolikhet [%]
0	25
100	35
200	20
300	20

d) (2 p) Egentligen finns det en svag korrelation mellan lasten och den tillgängliga produktionskapaciteten i vindkraften. Antag att man önskar inkludera denna korrelation och att man därför simulerar systemet med hjälp av Monte Carlo-teknik. Totalt studeras 2 500 scenarier och i 112 av dessa uppstår effektbrist. Vilken skattning av *LOLP* får man från denna simulering?

e) (2 p) Antag att man slumpat fram ett värde på lasten och erhållit resultatet 700 kW. Vad är slump­­talskomplementet till detta värde?

f) (2 p) Man önskar skatta väntevärdet $E[X]$ med hjälp av en kombination av kontrollvariabelmetoden och stratifierad sampling. Antag att man definierat L stratum och låt ω_h beteckna stratumvikten för stratum h . Inför beteckningen $x_{h,i}$ för den i :te observationen av X från stratum h och låt $z_{h,i}$ beteckna den i :te observationen från stratum h av kontrollvariabeln, Z . Totalt har man gjort n observationer, och vi använder beteckningen n_h för antalet observationer från stratum h . Hur beräknas skattningen m_X ?

1. $m_X = \frac{1}{n} \sum_{h=1}^L \sum_{i=1}^{n_h} \omega_h x_{h,i} + E[Z].$
2. $m_X = \frac{1}{n} \sum_{h=1}^L \sum_{i=1}^{n_h} \omega_h z_{h,i} + E[Z].$
3. $m_X = \sum_{h=1}^L \frac{\omega_h}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} z_{h,i} + E[Z].$
4. $m_X = \sum_{h=1}^L \frac{\omega_h}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} (x_{h,i} - z_{h,i}) + E[Z].$
5. $m_X = \sum_{h=1}^L \frac{1}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} \omega_h x_{h,i} z_{h,i} + E[Z].$



**KTH Elektro-
och systemteknik**

Svarsblad

Namn:

Personnummer:

Uppgift 1

a) Alternativ är korrekt.

b) Alternativ är korrekt.

Uppgift 2

a) TWh/år b) TWh/år

c) TWh/år d) TWh/år

Uppgift 3

a) MW/Hz

b) MW/Hz

c) Alternativ är korrekt.

Uppgift 4

a)

b)

c) Alternativ är korrekt.

d) \varnothing /MWh e) TE

Uppgift 5

a) kWh/h b) kWh/h

c) % d) %

e) kW

c) Alternativ är korrekt.

Lösningförslag till kompletteringskravning i ECG2050/2C1118 Systemplanering, 14 april 2007.

Uppgift 1

- a) 5, b) 1.

Uppgift 2

- a) Eftersom elpriset är högre än den rörliga produktionskostnaden i den dyraste vattenkraften kommer vattenkraftverken i Rike att producera för fullt, d.v.s. 50 TWh/år.
 b) Eftersom elpriset är lägre än den rörliga produktionskostnaden i de billigaste gasturbinerna kommer gasturbinerna i Maa inte att användas.
 c) Den del av kolkondensen som har en lägre driftkostnaden än elpriset 360 σ /MWh kommer att utnyttjas, d.v.s. $(360 - 300)/(450 - 300) \cdot 15 = 6$ TWh/år.
 d) Eftersom elpriset är lägre i Rike än i Maa så utnyttjas förbindelsen mellan Rike och Maa maximalt (om det inte hade funnits någon transmissionsbegränsning hade man haft samma elpris i bägge länderna). I Rike produceras totalt 106 TWh/år, medan elförbrukningen är 94 TWh/år. Överskottet exporteras till Maa. Alltså kan vi dra slutsatsen att den maximala överföringskapaciteten är 12 TWh/år.

Uppgift 3

- a) I intervall 49,9-50,1 Hz gäller att $R = \Delta G/\Delta f = 1\ 000/0,2 = 5\ 000$ MW/Hz.
 b) I intervall 49,1-49,9 Hz gäller att $R = \Delta G/\Delta f = 1\ 500/0,8 = 1\ 875$ MW/Hz.
 c) 1.

Uppgift 4

- a) $\sum_{k=1}^3 G_{g,t} + W_t + P_t = D_t + r_t$
 b) $G_{g,t} \leq u_{g,t} \bar{G}_g$
 c) 3.
 d) Ett ton bränsle ger $0,4 \cdot 5 = 2$ MWh och kostar 600 σ , vilket innebär att den rörliga produktionskostnaden är $600/2 = 300$ σ /MWh.
 e) $3\ 960\ 000\ \text{m}^3$ vatten motsvarar $3\ 960\ 000/3\ 600 = 1\ 100$ TE. Eftersom magasinet fylls på med 100 TE, och man tappat 140 TE, så måste det innehålla 1 060 TE i slutet av timmen.
Uppgift 5
 a) $EENS_0 = E[D] = 800$ kWh/h.
 b) Eftersom vattenkraftverket är 100% tillgängligt får vi $\bar{F}_1(x) = \bar{F}_0(x)$. Den förväntade elpro-

duktionen blir därmed

$$EG_1 = EENS_0 - EENS_1 = 800 - \int_{900}^{\infty} \bar{F}_1(x) dx = 800 - 8,33 = 791,67 \text{ kWh/h.}$$

- c) $LOLP = \bar{F}_2(1\ 200) = 0,20\bar{F}_1(1\ 200) + 0,20\bar{F}_1(1\ 100) + 0,35\bar{F}_1(1\ 000) + 0,25\bar{F}_1(900) = 0,2 \cdot 0 + 0,2 \cdot 0,001 + 0,35 \cdot 0,023 + 0,25 \cdot 0,159 = 4,8\%$
 d) $LOLP$ skattas till $m_{LOLP} = 112/2\ 500 = 4,48\%$.
 e) Normalfördelningen är symmetrisk, vilket betyder att om $D = \mu_D + X$ så är $D^* = \mu_D - X$. Således måste slumpvariabelkomplementet till $D = 700$ kW vara $D^* = 900$ kW.
 f) 4.