

# Försättsblad till skriftlig tentamen vid Linköpings Universitet

<b>Datum för tentamen</b>	2024-01-13
<b>Sal</b>	U14 (20) U4 (20) U7 (2) U10 (9)
<b>Tid</b>	14-18
<b>Kurskod</b>	TSFS17
<b>Provkod</b>	TEN1
<b>Kursnamn</b>	Elkraftsystem
<b>Institution</b>	ISY
<b>Antal uppgifter som ingår i tentamen</b>	6
<b>Antal sidor på tentamen (inkl. försättsbladet)</b>	5
<b>Jour/kursansvarig</b>	Lars Eriksson
<b>Telefon under skrivtid</b>	013-284409
<b>Besöker salen ca.</b>	15 och 17
<b>Tillåtna hjälpmedel</b>	Kursens bifogade formelblad. Miniräknare
<b>Övrigt</b>	Betygsgränser: 20 poäng = 3 30 poäng = 4 40 poäng = 5

### Uppgift 1.

En fabrik är kopplad till trefasnätet med ( $f=$ ) 50Hz, ( $U_H=$ ) 400 V. Förbrukningen på 40 kW utgörs i huvudsak av elektriska maskiner som har en effektfaktor på 0.7 ind. Parallellt med maskinerna i fabriken finns ett kondensatorbatteri bestående av tre lika stora D-kopplade kondensatorer på vardera 120  $\mu$ F. Man ser en 50% tillväxt av försäljningen framför sig och planerar att investera och sätta in ytterligare en maskin som kommer att kräva en effekt på 20 kW och med effektfaktorn 0.65 ind.

- Hur stor ström drar de elektriska maskinerna i den befintliga anläggningen? (1 poäng)
- Hur stor ström kommer anläggningen att dra från nätet efter investeringen och vad blir effektfaktorn för hela anläggningen? (4 poäng)
- Rita fasdiagrammet för fabriken komponenter. (2 poäng)
- Hur stor kondensatorbank (i kVAR) behöver man lägga till för att fullständigt faskompensera den nya fabriken? (2 poäng)
- Vad blir strömmen om fabriken är fullständigt faskompenserad efter expansionen? (1 poäng)

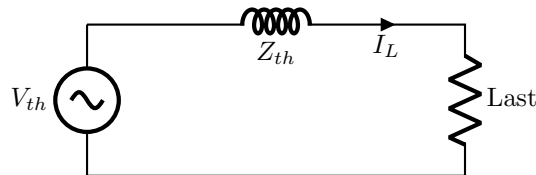
### Uppgift 2.

En kabel avsedd för 400 kV luftledningar har följande data vid förlustfri överföring:  $X'_L = \omega L' = 0.271$  [ $\Omega/\text{km}$ ], och  $Y'_C = \omega C' = 4.33$  [ $\mu\text{S}/\text{km}$ ].

- Är karaktäristiska impedansen beroende av ledningens längd? (1 poäng)
- Hur stor är ledningens SIL? (3 poäng)
- Om man har  $R' = 0.028$  [ $\Omega/\text{km}$ ] hur lång behöver ledningen vara för att ledningens resistans skall bli lika stor som den karaktäristiska impedansen? (1 poäng)

### Uppgift 3.

En fabrik matas från en 10 kV buss genom en luftledning och en trefas-transformator. Den elektriska belastningen i fabriken består av en datorserver hall och några produktionsmaskiner som drivs av induktionsmotorer. Vid 400 V drar denna belastning en ström på 250 A med en effektfaktor på 1, dvs fabriken är faskompenserad. Strömmen in i fabriken är konstant och oberoende av spänningen. Nedan visas det Thevenin-ekvivalenta systemet uttryckt i per enhet för en fas. Ta fram spänningen över lasten i både per enhet och i V. Använd följande värden:  $V_{th} = 1$  pu,  $Z_{th} = j 0.15$  pu. Börja med att först ange stömmen genom lasten i per enhet om  $Z_{base,2} = 0.6 \Omega$ . (6 poäng)

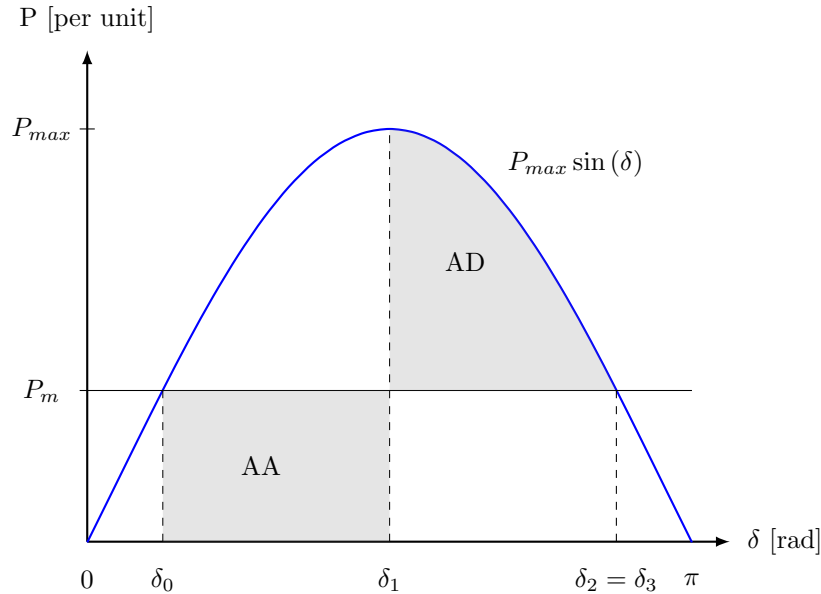


Figur 1: Thevenin-ekvivalent till uppgift 3.

#### Uppgift 4.

För en generator så kopplar Swing equation och Equal-area kriteriet ihop accelerationen och retardationen under och efter ett felfall för en generator. Under AA så accelererar maskinen och under AD så bromsas maskinen (decelerate).  $\delta_2$  är vinkeln när maskinen vänder, om den vinkeln är mindre än  $\delta_3 = 180 - \delta_0$  så hinner maskinen vända innan stabilitetsgränsen  $\delta_3$  är nådd. Om den inte hinner vända så kommer maskinen att fortsätta accelerera okontrollerat om inget görs, och man måste koppla ur den och synkronisera om den med nätet. I denna uppgift skall vi se ur länge en maskin kan vara bortkopplad innan vi måste utföra en synkronisering. Vid gränsen är  $\delta_2 = \delta_3 = 180 - \delta_0$ .

Synkrogeneratoren är initialt i drift i det stabila tillståndet med  $\delta_0$  med  $P_{mpu} = 1$  när en tillfällig kortslutning till jord sker. Tröghetskonstanten för generatoren är  $H=3.0$  per enhet-sekunder på systembasen. Antag att nätets effekt  $P_{mpu}$  förblir konstant under störningen. Antag också att nätfrekvensen är 50 Hz så att  $\omega_{pu}(t) = 1.0$  i svängningsekvationen.  $P_{epu}(\delta) = P_{max} \sin(\delta) = 2.4 \sin(\delta)$  per enhet.

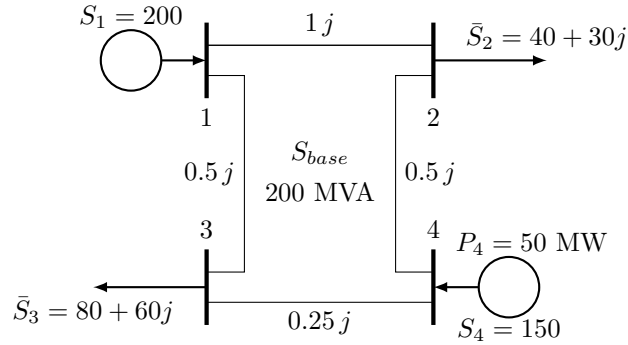


Figur 2: Figur till Uppgift 5, om illustrerar Equal Area kriteriet för.

- Vad är vinkeln  $\delta_0$ ? (1 poäng)
- Hitta gränsen för stabilitet. Ställ upp uttrycken för AA och AD som funktion av  $\delta_1$ , sätt AA=AD och lös ekvationen för  $\delta_1$ ? (4 poäng)
- Ställ upp svängningsekvationen och integrera den för att få ut den tid som ger  $\delta_1$ . (6 poäng)
- Hur många perioder i 50 Hz systemet klarar generatoren av att vara borta utan att nå stabilitetsgränsen? (1 poäng)

### Uppgift 5.

Betrakta enlinjeschemat i Figur 3 nedan. Impedanserna är angivna i per enhet. De skenbara effekterna har enheter MVA, och värdena som är angivna för generatorerna är deras kapacitet från märkplåtarna. Generatorernas spänningar är lika  $V_1 = V_4 = 1$  pu.



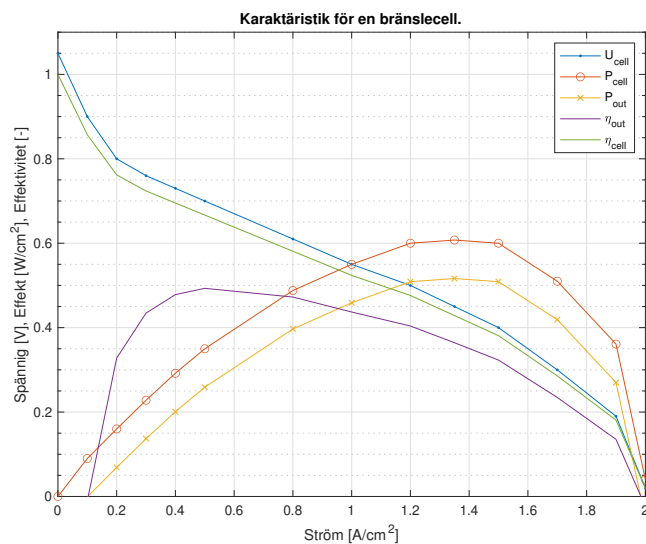
Figur 3: Figur över enlinjeschema till Uppgift 6.

- Sätt upp admittansmatrisen i per enhet för systemet. (5 poäng)
- Klassificera bussarna som *slack buss*, *PV-buss* eller *PQ-buss*. (2 poäng)
- Avgör för varje buss om spänningen storlek och fasvinkel är kända eller inte. (1 poäng)
- Avgör för varje buss om totalt tillförd aktiv och reaktiv effekt är känd eller inte. (1 poäng)
- Uppfyller systemet enkelfels kriteriet (N-1), med avseende på bortfall av en generator. (2 poäng)

### Uppgift 6.

En bränslecell är karakteriserad genom polarisationsdiagrammet i figuren nedan, karakterisering är för en cell och strömmen är uttryckt per  $\text{cm}^2$ . En stack som använder dessa celler består av av 350 seriekopplade celler som vardera har arean  $400 \text{ cm}^2$ .

- Vilken är den maximala spänningen från stacken? (1 poäng)
- Vad är stackens ström och spänning vid stackens maximala effekt, samt vad är den maximala effekten från stacken? (3 poäng)
- Vad är bränslecellssystemets maximala uteffekt, dvs efter vi tagit bort effekten  $P_{aux}$  som pumpar och fläktar tar från systemet? (2 poäng)



Figur 4: Bränslecellsdata för uppgift 6. Cell betecknar cellen, och out är vad som fås ut från cellsystemet när pumpar och fläktar räknas in.