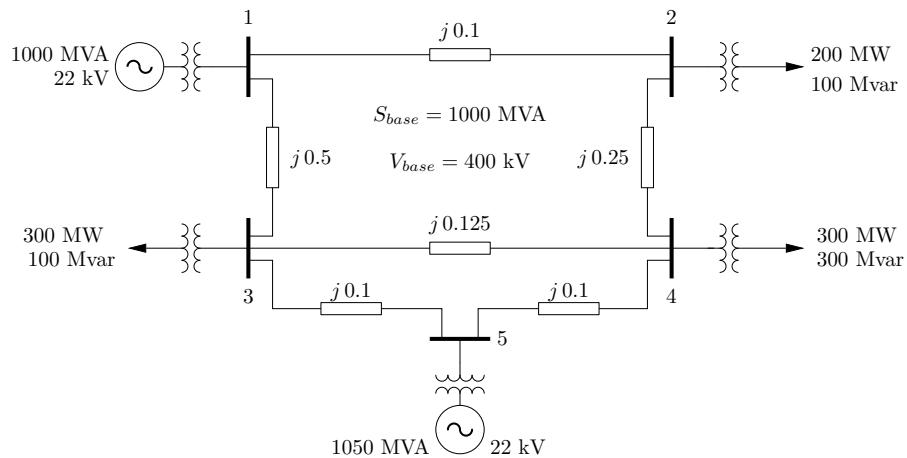


Försättsblad till skriftlig tentamen vid Linköpings Universitet

Datum för tentamen	2025-01-18
Sal	U14 (10) U10 (19) U11 (19) U4 (2)
Tid	14-18
Kurskod	TSFS17
Provkod	TEN1
Kursnamn	Elkraftsystem
Institution	ISY
Antal uppgifter som ingår i tentamen	7
Antal sidor på tentamen (inkl. försättsbladet)	5
Jour/kursansvarig	Lars Eriksson
Telefon under skrivtid	013-284409
Besöker salen ca.	15 och 17
Tillåtna hjälpmedel	Kursens bifogade formelblad. Miniräknare
Övrigt	Betygsgränser: 20 poäng = 3 30 poäng = 4 40 poäng = 5

System och data som är gemensamma för uppgift 1-3.

Elkraftssystemet består av många olika delar som samverkar och ämnet täcker förståelse för både komponenternas funktion och egenskaper samt hur de samverkar. I tentan utgår vi från ett symmetrisk trefas-elkraftssystem med frekvens 50 Hz och som har ett enlinjeschema enligt Figur 1. Generatorerna jobbar på 22 kV, och transmissionsnätet har 400kV som huvudspänning. Förbrukarna sitter på regionnäten som har 130 kV som huvudspänning efter transformatorerna på bussarna 2, 3, och 4.



Figur 1: Enlinjeschema för en del av ett transmissionssystem. Värdena på ledningarnas impedanser är angivna i per enhet.

Uppgift 1.

Vad är admittansmatrisen för systemet mellan bussarna 1 till 5 i enlinjeschemat som visas i figur 1? För full poäng behöver ni ge en kortare motivering till hur ni tagit fram matrisen. (6 poäng)

Uppgift 2.

Systemet med förbrukare på buss 4 konsumerar relativt mycket reaktiv effekt vilket ger onödiga förluster i transmissionsnätet eftersom det kan åtgärdas med en faskompenserande kondensatorbank.

- Hur stora kondensatorer behöver man ha för att åstadkomma fullständig faskompensering då kondensatorerna är inkopplade med deltakoppling? (3 poäng)
- Hur stor reaktiv effekt behöver kondensatorbanken ha om man vill nå $\cos(\phi) = 0.95$ och hur stora behöver kondensatorerna vara om de kopplas in med deltakoppling? (4 poäng)

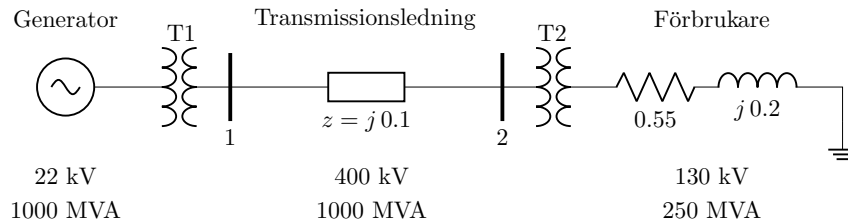
Uppgift 3.

Nu skall vi titta på den övre delen av enlinjeschemat i figur 1 och anta att generatoren vid buss 1 bara skickar effekt till förbrukarna utanför buss 2. Genom att analysera systemet med storheter i per enhet blir det enkelt att räkna på hela systemet, eftersom det då kan behandlas som ett seriekopplat system. Ett förenklat schema för situationen ges i figur 2, där impedanserna och per-enhets baserna för de olika områdena är angivna.

Transformator T1 har 1000 MVA på märkplåten och omvandlar från 22:400 kV och dess ekvivalenta serieimpedans är $0.1j$ per enhet.

Transformator T2 har 250 MVA på märkplåten och omvandlar från 400:120 kV och dess ekvivalenta serieimpedans är $0.12j$ per enhet.

- Omvandla komponentvärdena så att resistansen och de 4 induktanserna hamnar på samma bas. Notera att en transformator och två områden redan ligger på samma bas så bara tre värden behöver omvandlas. (3 poäng)
- Rita upp det ekvivalenta kretsschemat, med komponentvärden i per enhet. (1 poäng)
- Beräkna strömmen genom den seriekopplade kretsen i per enhet och bestäm sedan hur stora strömmarna är i A i de olika zonerna. (3 poäng)
- Beräkna aktiv och reaktiv effekt hos förbrukaren. (1 poäng)



Figur 2: Enlinjeschema för systemet i uppgift 3.

Uppgift 4.

Det är välkänt att ett batteri åldras snabbare vid snabbaddning, men man får också mer förluster vid snabbaddning. Vi skall nu undersöka hur stora förlusterna är genom att analysera en battericell på $Q = 24$ Ah som har en nominell spänning på 3.6 V, och inre resistans $R_{DC} = 4m\Omega$. När vi laddar så går en del in i cellen och lagras som nyttig energi, och en del blir till förluster i resistansen. För att göra en enkel analys antar vi att cellen internt får samma energi, 86.4 Wh, efter full laddning, men förlusterna gör att laddaren kommer att behöva stoppa in mer energi för att kompensera för förlusterna.

- Hur mycket energi försvinner i resistansen om man laddar med i) 0.2 C dvs laddningen tar 5 timmar, ii) 1 C dvs 1 timme, eller iii) snabbaddar med 4 C dvs 15 minuter? (3 poäng)
- Vad blir i laddningseffektiviteterna för dessa tre fall? (2 poäng)

Uppgift 5.

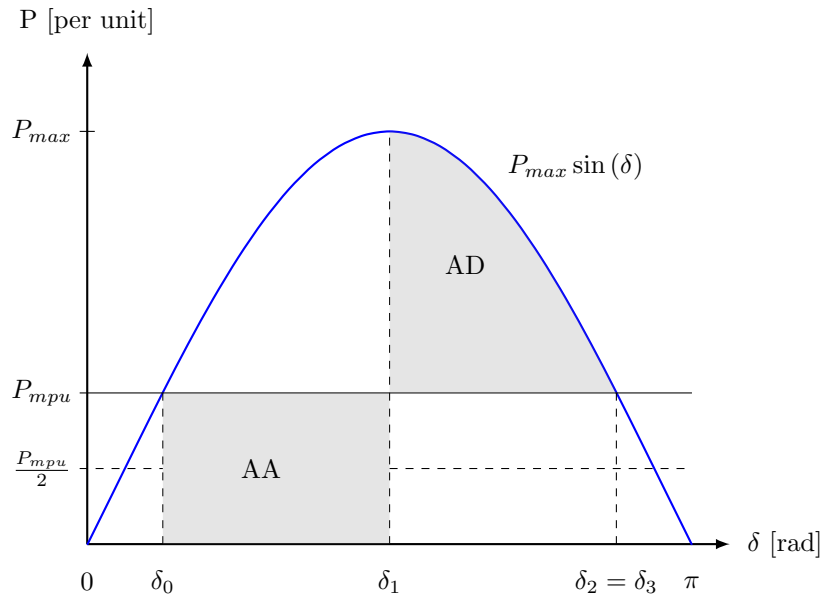
En kabel avsedd för 400 kV luftledning har följande data vid förlustfri överföring: $X'_L = \omega L' = 0.271$ [Ω/km], och $Y'_C = \omega C' = 4.33$ [$\mu\text{S}/\text{km}$]. En kabel avsedd för 130 kV luftledning har $X'_L = \omega L' = 0.53$ [Ω/km], och $Y'_C = \omega C' = 2.3$ [$\mu\text{S}/\text{km}$]

- Hur stora är ledningarnas karaktäristiska impedanser? (1 poäng)
- Hur stora är ledningarnas SIL? (2 poäng)

Uppgift 6.

Olika fel i nätet kan få synkrongeneratorer att tappa synkroniseringen, om det finns risk för fel kan man öka marginalen genom att sänka effektuttaget, och det skall vi titta på nu. Betrakta en generator kopplad till 50 Hz nätet som har $P_{epu}(\delta) = P_{max} \sin(\delta) = 2.2 \sin(\delta)$ per enhet och en tröghetskonstant på $H=2.5$ per enhet-sekunder på systembasen. Innan och under störningen har generatorm $P_{mpu} = 1$, vilket ger ett δ_0 . Equal-area kriteriet, som illustreras i figur 3 kan användas tillsammans med svängningsekvationen, för att bestämma hur länge generatorm kan vara borta utan att förlora stabiliteten.

- Vad är den initiala vinkeln δ_0 och den kritiska gränsen δ_1 ? (5 poäng)
- Hur lång tid t_{krit} motsvarar detta i sekunder? (5 poäng)
- Om vi sänker effektuttaget till hälften så att $P_{mpu} = 0.5$. Vad får man nu för värden på δ_0 , δ_1 , och t_{krit} , dvs hur mycket längre tid kan generatorm vara borta vid denna reducerade lastpunkt men ändå hålla sig kvar i det stabila området? (5 poäng)

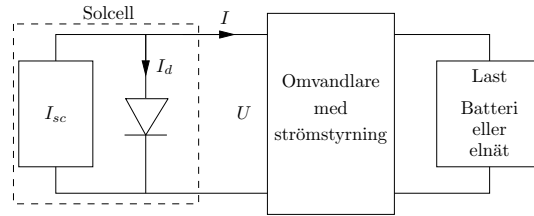


Figur 3: Figur till Uppgift 5, om illustrerar Equal Area kriteriet.

Uppgift 7.

En solcell har olika karaktäristik vid olika solinstrålning och man använder kraftelektronik (omvandlare) för att styra strömuttaget så att man maximerar effektuttaget, detta kallas på engelska för maximum power point tracking (MPPT). Den ideala kretsen i Figur 4 används som modell för systemet, och utgående från den kan Shockley ekvationen som beskriver strömmen genom dioden som funktion av spänningen användas för att bestämma ett samband mellan cellens spänning $U = V_d$ och ström $I(U)$. Uteffekten från cellen är $P(U) = U \cdot I(U)$ och detta ger en ekvation som kan användas för att bestämma den maximala effekten ut ur en solcell så vi kan bestämma vad U är vid maximal effekt. Sedan kan I beräknas från Shockley ekvationen.

- Vad blir uttrycket för effekten med diodekvationen insatt? (3 poäng)
- Vilka ekvationer behöver man lösa för att hitta maximum för de båda fallen? (2 poäng)
- Ekvationerna som vi tog fram i b går inte att lösa analytiskt, men man kan använda miniräknare eller dator för att göra det numeriskt. För att spara tid får er har vi tagit fram två lösningar $U = 0.5306875$ V och $U = 0.54775$ V, men vilken lösning hör till vilken solstrålning? (1 poäng)



Figur 4: Kretsschema för en solcell med inkopplad kraftelektronik och last. Den här cellen har vid 25°C och full solinstrålning kortslutningsströmmen $I_{sc} = 4$ A och backströmmen $I_0 = 1 \times 10^{-10}$ A. Dess karaktäristik visas för två solstrålningar i figuren nedan.

