

Tentamen Elektriska drivsystem och fält för Z2 (EEN155). 2024-03-11, 8:30-12:30.

Ansvariga lärare:

Emma Grunditz, ankn. 6010 (031-772 60 10), besöker tentamen ca. 09:30 och 11:00

Arto Heikkilä, ankn. 5723 (073 0284378), besöker tentamen ca. 09:30 och 11:00

Examinator: Emma Grunditz

Tillåtna hjälpmedel:

(indexeringar och markeringar är tillåtna i Formelsamling samt tabellverk):

- Chalmersgodkänd räknare
- Tabellverk: Physics Handbook, Mathematics Handbook
- Formelsamling: endast den som bifogas denna tentamenstes

Betygsgränser (av maximalt 50 poäng):

Betyg 3: 20 poäng

Betyg 4: 30 poäng

Betyg 5: 40 poäng

Granskning: Tid och plats anslås på Canvas.

Kom ihåg! Rita tydliga figurer med referensriktningar och beteckningar.

Glöm ej: enhet, dimensionskontroll, antaganden, motiveringar.

Om uppgifter saknas i problemtexten, gör då själv rimliga antaganden.

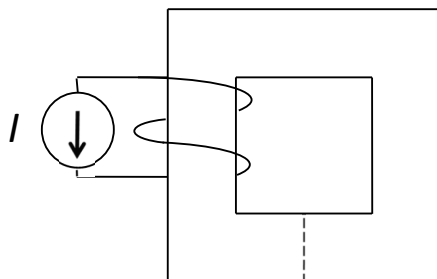
Uppgift 1 (4p)

En likströmkälla, en lindning (400 varv) och en kvadratisk järnkärna med ett luftgap utgör en magnetisk krets, se figuren nedan. Järnkärnan har medelsidlängden 6,0 cm, tvärsnittsarean 4,5 cm² och relativa permeabiliteten 2200. Ett luftgap (vidd 1,5 mm) är placerat vid den streckade linjen.

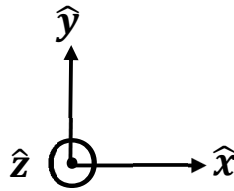
Bestäm strömstyrkan så magnetiska flödestätheten i luftgapet blir 0,4 T.

Beräkna magnetiska fältstyrkan (riktning och storlek) i järnkärnan.

(4p)



I uppgift 2 och 3 används ett koordinatsystem orienterat enligt figuren nedan. Enhetsvektorerna för de tre koordinataxlarna betecknas $\hat{x}$, $\hat{y}$, $\hat{z}$.



Uppgift 2 (6p)

Delfrågorna i denna uppgift är oberoende av varandra:

- a) Ett sfäriskt rumsområde centrerat i origo innehåller två laddningar $Q_1 = +4 \text{ nC}$ respektive $Q_2 = -7 \text{ nC}$. Området genomkorsas dessutom av två samriktade konstanta strömmar på 2 A respektive 3 A (båda riktade $+\hat{z}$). **Hur** stort är det sammanlagda elektriska flödet genom områdets begränsningsyta? **Är** flödet riktat ut ur eller in i området? (2p)

- b) En likströmskälla driver strömmen 2,0 A medurs i en ledande slinga (100 varv, kvadratisk form, sidans längd 0,15 m), som placeras i första kvadranten i xy-planet med ett av hörnen i origo. Vid tiden $t = 0$ släpps greppet om slingan, så att den är fri att röra sig. I området finns ett magnetfält:

$$\mathbf{B} = B_y \hat{y} + B_z \hat{z} \quad \text{där } B_y = 0,30 \text{ T och } B_z = 0,50 \text{ T}$$

Beräkna totala kraften och vridmomentet på slingan. **Hur** rör sig slingan precis efter $t = 0$? (2p)

- c) Två cirkulära (radie 0,05 m) metallplattor är anslutna till en tidsvarierande spänningskälla. Plattorna är placerade så att x-axeln går vinkelrätt genom deras centrum. Resultande elektriska fältet i området mellan plattorna är

$$\mathbf{E}(t) = E(t) \hat{x} \quad \text{där } E(t) = E_0 \frac{t}{\tau} \quad \text{med } E_0 = 10^5 \text{ V/m och } \tau = 2 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

Materialet i mellan plattorna har relativa permittiviteten 10.

Beräkna förskjutningsströmmen (storlek och riktning) i detta område. (2p)

Uppgift 3 (5p)

En rektangulär ledande slinga (med arean $0,03 \text{ m}^2$) placerad i xy-planet är ansluten till en resistiv 50Ω last. I området finns även magnetfältet

$$\mathbf{B}(t) = B_x(t) \hat{x} + B_z(t) \hat{z} \quad \text{där } B_x(t) = B_0 \cos^2(\omega t) \text{ och } B_z(t) = B_0 \sin^2(\omega t)$$

med $B_0 = 0,2 \text{ T}$ och $\omega = 10^3 \text{ rad/s}$

Antag att slingan är fixerad (d.v.s. kan inte röra på sig). **Bestäm** högsta värdet för den i slingan inducerade strömmens styrka (d.v.s. absolutbeloppet).

Bestäm strömriktningen vid tiden då strömstyrkan antar sitt maxvärde för första gången efter tiden noll. (5p)

Uppgift 4 (10p)

En separat magnetiserad likströmsmaskin har följande märkdata: $v_{T,m} = 220 \text{ V}$, $i_{a,m} = 18 \text{ A}$, $v_{f,m} = 200 \text{ V}$, $n_{r,m} = 1400 \text{ rpm}$ och följande kända parametrar $R_f = 180 \Omega$, $L_a = 1.5 \text{ mH}$, $J = 0.006 \text{ kgm}^2$ maskinens interna friktionsmoment är linjärt proportionellt mot varvtalet enligt: $T_{L,frikt} = b\omega_r = 0.005\omega_r \text{ Nm}$. Maskinen driver en last vars moment är linjärt proportionellt mot vinkelhastigheten enligt: $T_{L,ext} = B\omega_r = 0.08\omega_r \text{ Nm}$. Ankarkretsen och fältkretsen matas med varsin omriktare som kan ge mellan 0–250 V på utgången. Vid ett tillfälle då maskinen matas med märkspänning fastnar rotorn en kort stund och ankarströmmen når 130 A.

- a) **Bestäm** R_a och det länkade flödet, λ vid märkspänning. (2p)

(Om inte a) löses, antag $R_a = 1.5 \Omega$, och $\lambda = 1.5 \text{ Wb}$.)

- b) Vid märkdrift, **beräkna**: (4p)

- motEMKn
- utvecklat vridmoment och moment ut på axeln
- förluster i ankarlindningen och i fältlindningen
- rotationsförluster på grund av friktion i maskinen
- verkningsgraden (inkluderat ankar- och fältkrets, ovan beräknade förluster)

- c) Med märkspänning i fältkretsen, **beräkna** det högsta tillåtna varvtalet vid vilket maskinen kan driva den externa lasten utan att överskrida märkdata i ankarkretsen, och **beräkna** den levererade effekten till lasten. (2p)

- d) För en given maskin av den aktuella maskintypen finns tre olika sätt att påverka motorns moment-varvtalskaraktäristik. **Nämn** och **skissa** approximativt den generella påverkan på motorns moment-varvtals-karaktäristik för **två** av dem. (2p)

Uppgift 5 (6p)

Maskinen i drivsystemet beskrivet i uppgift 4 skall ström(moment) och varvtalsstyras genom en inre ström(moment)-regulator och en yttre varvtalsregulator. ström(moment)regleringsloopen ska ha en stigtid på 18 ms.

- a) **Bestäm** lämplig stigtid för varvtalsregulatorn och **motivera** ditt val. (1p)

(Om inte a) löses, antag valfri stigtid för varvtalsregulatorn.)

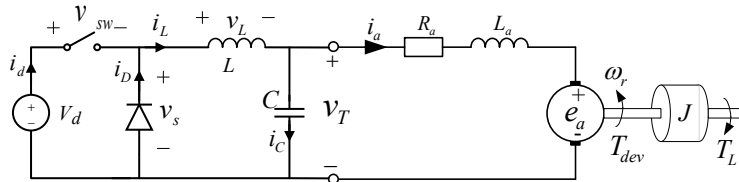
- b) **Härled** lämplig ström(moment)regulator och varvtalsregulator, samt **bestäm** numeriska värden för samtliga regulatorparametrar. **Redogör** för relevanta antaganden. (3p)

- c) Vid tiden $t=0$, sätts varvtals-referensen till märkvarvtalet. (2p)

- Rita** som funktion av tid under lämpligt tidsintervall (t.ex. tills stationärtillstånd nås); varvtalsreferensen och maskinens resulterande reglerade varvtal.
- Markera** varvtalsregleringens tidskonstant i grafen.
- Just efter $t=0$, **uppskatta** värdet på strömreferensen, **och** på strömregulatorns utsignal, dvs. spänningsreferensen till den kraftelektroniska omriktaren.

Uppgift 6 (7p)

Ankarkretsen i maskinen från uppgift 4, matas med en nedspänningsomriktare enligt nedan figur. Omriktarens inspänning V_d är 250 V, dess induktans är $L=40\mu\text{H}$, och dess switchfrekvens är 80 kHz. Kondensatorn C kan betraktas som mycket stor.



- Bestäm** värdet på duty cyclen för att ge märkspänning till ankarkretsen. Eventuell härledning behöver inte redovisas. (0.5p)
(Om inte a) löses, antag valfri duty cycle.)
- Härled** och **skissa** vågformen för $v_s(t)$, och $v_L(t)$, samt för strömmarna $i_L(t)$, och $i_C(t)$, över två switchperioder. Ange storheter på axlarna, men inte numeriska värden. (4p)
- Vid märkdrift av likströmsmaskinen, **avgör** om omriktaren arbetar i CCM. (1.5p)
- För att både kunna driva och bromsa lasten matas motorn nu istället med en 2-kvadrant-omriktare. Vid ett bromsande driftfall, **rita** strömmens väg och riktning i omriktaren för tillstånden switch-On respektive switch-OFF. (1p)

Uppgift 7 (8p)

En asynkronmotor skall köpas för att kunna driva en last på varvtal mellan ca. 900-1000 rpm då den matas via Y-koppling från ett elnät med 50 Hz, 400 V rms huvudspänning.

- Ange** ett lämpligt potal för motorn och **motivera** ditt val. (1p)
- Inom 900-1000 rpm, **skissa** approximativt motorns väntade vridmoment som funktion av varvtal, **ange** numeriska värden på varvtals-axeln, och **markera** tomgångsvarvtalet och det synkrona varvtalet. (1.5p)
- En motor köps in, märkt 400 V rms. För att bestämma maskinparametrarna till ekvivalenta schemat görs tre test, bland annat ett tomgångsprov. **Rita** ett ekvivalent kretsschema för motorn vid tomgångsdrift, och **ange** vilka motorparametrar som kan uppskattas med testresultatet. **Förklara/motivera** ditt svar. (2p)
- Maskinparametrarna bestäms till: $R_s=0.19\ \Omega$, $X_s=0.63\ \Omega$, $R'_r=0.18\ \Omega$, $X'_r=0.63\ \Omega$ och $X_m=11\ \Omega$. Maskinens eftersläpning vid märkdrift är 4%. Vid märkdrift, **beräkna**: (3.5p)
 - fasströmmen in i statorn
 - utvecklad axel-effekt
 - märkvarvtalet
 - utvecklat vridmoment

Uppgift 8 (4p)

En 100 kW 3-fasig permanent magnet synkronmaskin (PMSM) har följande parametrar i en dq -modell: $P=8$, $R_s=3\ \text{m}\Omega$, $L_{sd}=2\ \text{mH}$, $L_{sq}=6\ \text{mH}$, $\Psi_m=120\ \text{mWb}$. Dess märkvarvtal är $n_r=4000\ \text{rpm}$ och dess märk-ström är 85 A rms.

- Vid märkdrift, **beräkna** MTPA-strömvinkeln, i_{sd} , i_{sq} , u_{sd} och u_{sq} . (3p)
- Vid märk-ström och MTPA-strömvinkeln, **bestäm** hur stor andel av det utvecklade momentet som beror på reluktans-fenomenet. (1p)