

Universiteit Twente - Faculteit der Elektrotechniek

Tentamen INLEIDING ELEKTRISCHE ENERGIETECHNIEK (191241770)

te houden op woensdag 19 januari 2011 van 13.30 tot 17.00 uur

Dit tentamen bestaat uit 6 bladzijden met 5 opgaven.

Beantwoord en beargumenteer alle vragen kort en bondig.
Begin de beantwoording van ieder vraagstuk op een nieuwe pagina.

Het aantal punten dat u maximaal per opgave kunt verkrijgen, is bij iedere opgave apart vermeld in de linker marge. Voor uw aanwezigheid krijgt u 10 punten.

Het maximaal te behalen aantal punten bedraagt 100.

Dit tentamen wordt beoordeeld met een cijfer dat volgt uit: $C = \frac{\text{aantal behaalde punten}}{10}$

Het eindcijfer voor dit tentamen is de afgeronde waarde van $C+T$, waarbij T de in dit jaar met behulp van huiswerktoetsen behaalde bonus is. Dit eindcijfer kan niet hoger zijn dan 10.

Veel succes!

Opgave 1

Voor het meten van de stroom die een wisselstroombron met een frequentie van 50 Hz levert, is alleen een ampèremeter met een bereik van 5 A beschikbaar, terwijl de te meten stroom groter kan zijn. Daarom wordt een zogenaamde stroomtransformator toegepast. Dit is een transformator waarbij de te meten stroom door de primaire wikkeling loopt en waarbij de secundaire wikkeling wordt afgesloten (kortgesloten) door een ampèremeter. De ampèremeter heeft een weerstand van 0.5Ω .

We gebruiken hier een stroomtransformator met een overzetverhouding $N_1:N_2 = 1:10$. De hoofdveldreactantie X_{1m} bedraagt $100 \text{ m}\Omega$ bij 50 Hz. De transformator is verliesvrij en heeft geen spreiding.

Geef alle numerieke antwoorden met ten minste 5 significante cijfers.

- 3 1a Teken een vervangingsschema van de transformator (let op: het is een verliesvrije, spreidingsloze transformator).
- 4 1b Wat is de grootte van de impedantie (niet de complexe waarde) die we tussen de primaire klemmen van de transformator waarnemen bij 50 Hz?

De stroomtransformator wordt in serie geschakeld met de wisselstroombron die een stroom met een (effectieve) waarde van 30 A levert.

- 2 1c Wat is de (effectieve) waarde van de spanning over de primaire zijde?

- 3 1d Hoe groot is de stroom door de meter?

Ten gevolge van een slechte verbinding schiet de ampèremeter los.

- 2 1e Wat is de waarde van de spanning over de primaire zijde?

14

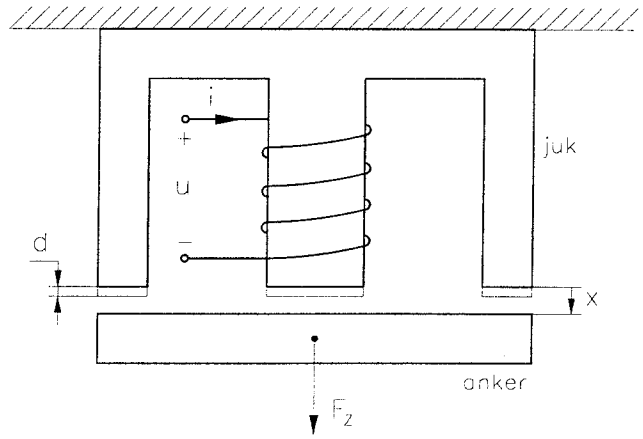
Opgave 2

De nevenstaande figuur is een schematische weergave van het magnetische circuit van een heftoestel.

Op het beweegbare deel, het anker, werkt de zwaartekracht F_z .

De spoel heeft N windingen. De oppervlakte (doorsnede) van het ijzercircuit is overal A , behalve in de middenpoot. Daar is de oppervlakte $2A$. Voor het ijzer van het magnetische circuit geldt: $\mu_r = \infty$.

In de luchtspleet zijn plaatjes niet-magnetisch materiaal opgenomen met een dikte van 1 mm: $\mu_r = 1$; $d = 1$ mm. Er wordt uitgegaan van een homogene verdeling van het veld in de luchtspleten (en dus in de plaatjes).



4 2a Geef een vervangingsschema voor het magnetische circuit en geef een uitdrukking voor de coëfficiënt van zelfinductie van de spoel.

3 2b Geef een uitdrukking voor de kracht van elektromagnetische oorsprong op het anker.

Gegeven: $N = 1000$; $A = 3 \text{ cm}^2$; $F_z = 9 \text{ N}$; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$.

3 2c Wat is de kleinste waarde van de gelijkstroom die nodig is om het anker tegen de plaatjes te houden?

Vervolgens wordt de spoel gevoed uit een wisselstroombron. Door de voeding uit een wisselstroombron zal de kracht op het anker pulseren. We veronderstellen nu dat de massa van het anker zo groot is dat het anker tegen de plaatjes getrokken blijft als de gemiddelde kracht van elektromagnetische oorsprong op het anker groter is dan 10 N.

2 2d Wat is de kleinste (effectieve) waarde van de wisselstroom die nodig is om het anker tegen het juk te houden?

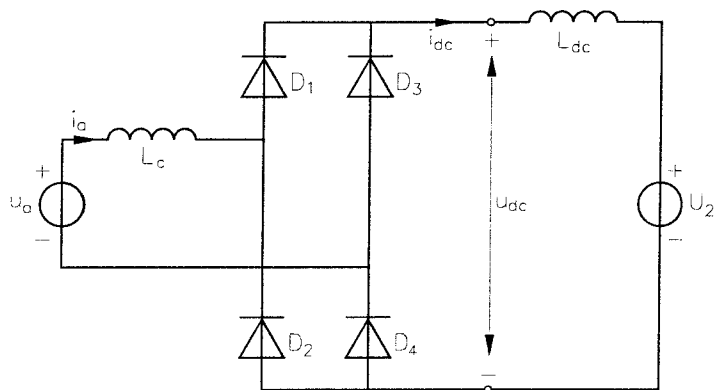
12

Opgave 3

Nevenstaande schakeling met diodebruggelijkrichter wordt gebruikt voor de voeding van een gelijkstroommachine. We beschouwen in deze opgave steeds de stationaire toestand. We veronderstellen hierbij dat L_{dc} zodanig groot is, dat de stroom in het gelijkstroomcircuit constant is ($L_{dc} = \infty$; $i_{dc} = I_{dc}$).

Voor de wisselspanning u_a in dit schema geldt $u_a = \hat{u} \sin(\omega t) = U\sqrt{2} \sin(2\pi f t)$ met $U = 220 \text{ V}$ en $f = 50 \text{ Hz}$.

De gelijkstroommachine wordt in de schakeling voorgesteld door de spanningsbron U_2 . Voor deze sterk geïdealiseerde, verliesvrije machine geldt $U_2 = K\Phi \omega_m$, waarbij ω_m de hoeksnelheid van de rotor van de machine is en waarbij voor de constante $K\Phi$ geldt: $K\Phi = 8.5 \text{ Vs/rad}$.



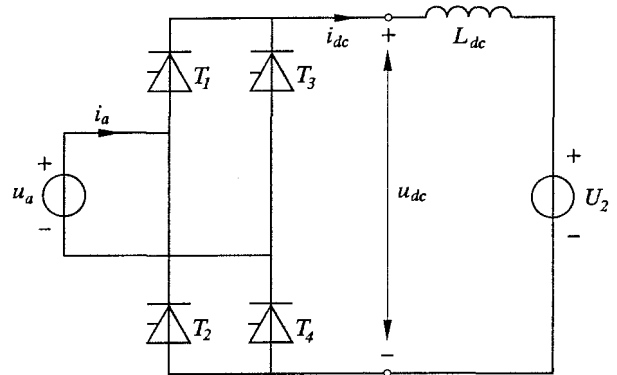
Voor het op de rotor uitgeoefende elektromagnetische koppel geldt: $T_e = K\Phi I_{dc}$.
 De gelijkstroommachine drijft een mechanische belasting aan, waardoor voor het koppel tevens geldt: $T_e = C_m \omega_m$ met $C_m = 7 \text{ Nms/rad}$.
 Voor de gemiddelde waarde van de uitgangsspanning van de gelijkrichter U_{dc} geldt:

$$U_{dc} = \frac{2}{\pi} \hat{u} - \frac{2}{\pi} \omega L_c I_{dc}$$

3 3a Schets de stroom i_a en de spanning u_{dc} als functie van de tijd voor één periode van de wisselspanning voor het geval dat $L_c = 0$ geldt.

4 3b Bereken de rotorhoeksnelheid ω_m van de machine voor het geval dat $L_c = 2.5 \text{ mH}$ geldt (de commutatie verloopt niet meer oneindig snel).

Vervolgens wordt de diodebruggelijkrichter vervangen door een thyristorbruggelijkrichter. Hierdoor ontstaat de nevenstaande schakeling, waarmee het toerental van de gelijkstroommachine ingesteld kan worden. De commutatie verloopt oneindig snel. Voor de gemiddelde waarde van de uitgangsspanning van de gelijk-



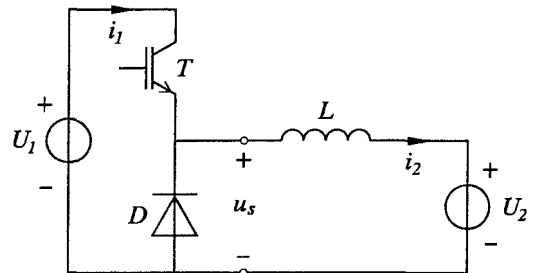
richter U_{dc} geldt: $U_{dc} = \frac{2}{\pi} \hat{u} \cos \alpha$

3 3c Schets de stroom i_a en de spanning u_{dc} als functie van de tijd voor één periode van de wisselspanning voor het geval dat voor de ontsteekhoek geldt $\alpha = \pi/4$ rad.

3 3d Bereken de rotorhoeksnelheid ω_m en de de gelijkstroom I_{dc} voor het geval dat $\alpha = \pi/4$ rad geldt.

3 3e Als de thyristorbrug in wisselrichterbedrijf is, werkt de gelijkstroommachine als generator en levert energie aan de wisselspanningsbron u_a . Bereken de waarde van de ontsteekhoek α als het toerental van de rotor van de gelijkstroommachine gelijk is aan 150 omw/min (Let op de draairichting van de rotor).

Ten slotte wordt de wisselspanningsbron met thyristorgelijkrichter vervangen door een gelijkspanningsbron U_1 met chopper zoals in nevenstaande figuur is weergegeven. We veronderstellen hierbij weer dat L zodanig groot is, dat de uitgangsstroom constant is ($L = \infty$; $i_2 = I_2$).

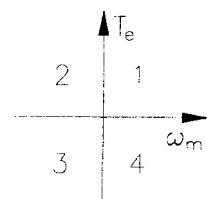


3 3f Schets de spanning u_s en de stromen door de IGBT T en de diode D als functie van de tijd voor het geval dat de relatieve inschakelduur d gelijk is aan 0.3 (Let op: $L = \infty$).

2 3g Geef een uitdrukking voor de rotorhoeksnelheid ω_m als functie van de relatieve inschakelduur d .

3
2

3h Voor de beschrijving van aandrijfsystemen wordt vaak gebruik gemaakt van nevenstaande kwadrantenverdeling. In welk(e) kwadrant(en) kan de gelijkstroommachine met diodebrug bedreven worden, in welk(e) de gelijkstroommachine met thyristorbrug en in welk(e) de gelijkstroommachine met chopper?



Opgave 4

Een synchrone machine heeft de volgende kenmerken. Hij is 3-fasig, het poolpaartal is 1 en de rotor is cilindrisch met een geconcentreerde diameterwikkeling. De straal van de rotor is r ; de lengte van de rotor is l . Voor de grootte van de luchtspleet δ geldt: $\delta \ll r$. Het totale aantal windingen van de rotor bedraagt N_f . De statorwikkelingen zijn sinusvormig verdeeld en hebben geen weerstand. Het ijzer van de machine heeft een oneindig grote permeabiliteit ($\mu_r = \infty$). Er treden geen ijzerverliezen op en de machine draait zonder wrijving.

Noem de synchrone reactantie X_s en de maximale waarde van de coëfficiënt van wederzijdse inductie tussen stator en rotor \hat{M}_{sf} . Het toerental van de machine blijft constant.

De statorwikkelingen zijn stroomloos. In de bekrachtigingswikkeling loopt een stroom I_f .

- 2 4a Geef het equivalente schema voor het magnetische circuit van de rotorwikkeling.
- 2 4b Wat is de coëfficiënt van zelfinductie van de rotorwikkeling?
- 3 4c Teken het eenfasige vervangingsschema van de synchrone machine. Geef hierin referentierichtingen voor de spanningen en de stroom aan.

De frequentie die in de statorwikkelingen wordt opgewekt is 50 Hz. Stel:
 $X_s = 8 \Omega$; $\hat{M}_{sf} = 3 \text{ H}$.

De machine wordt belast met drie in ster geschakelde weerstanden van 16Ω . De bekrachtigingsstroom wordt ingesteld op 0.3 A.

- 4 4d Schets een fasordiagram van deze belastingstoestand en geef de effectieve waarden van de fasoren aan. Gebruik de referentierichtingen voor de spanningen en de stroom van het bij opgave 4c getekende schema.
- 4 4e Hoe groot is de lasthoek en hoe groot is het elektromagnetische koppel?

De weerstandsbelasting wordt verwijderd.

De machine wordt met een elektriciteitsnet gekoppeld waarvan de fasespanning 230 V is en de frequentie 50 Hz bedraagt. De statorstroom is 0 A.

- 3 4f Hoe groot is de bekrachtigingsstroom?

Vervolgens wordt de bekrachtigingsstroom twee keer zo groot gemaakt. Het toegevoerde mechanische vermogen blijft gelijk.

- 3 4g Schets een fasordiagram van deze toestand.

De bekrachtigingsstroom en het toegevoerde vermogen worden veranderd zodanig dat de statorstroom 28.75 A is en $\cos \varphi = -\sqrt{3}/2$ (φ is de faseverschuiving tussen fasespanning en -stroom). De machine werkt nu als generator en is nog steeds overbekrachtigd.

- 4 4h Teken een fasordiagram van deze toestand. Geef de effectieve waarden van de fasoren aan.

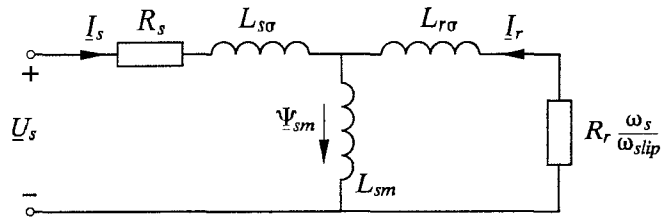
25

Opgave 5

In deze opgave beschouwen we een driefasige inductiemachine, waarvoor het nevenstaande eenfasige vervangingschema is gegeven. Voor de parameters in dit schema geldt:

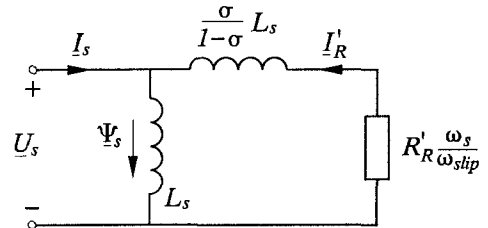
$$R_s = 0; \quad L_{s\sigma} = 3 \text{ mH}; \quad L_{sm} = 82 \text{ mH}; \quad L_{r\sigma} = 3 \text{ mH}; \quad R_r = 0.3 \Omega$$

We gaan verder met het nevenstaande Γ -schema.



- 6 5a Bereken de waarden van L_s , σ en R'_R .

De machine wordt gevoed uit een symmetrische driefasige spanningsbron met een frequentie van 50 Hz ($\omega_s = 2\pi 50 \text{ rad/s}$), die voor het vervangingschema wordt gerepresenteerd als de spanningsfasor $\underline{U}_s = 230 \text{ V}$.



Rekenen verder met $L_s = 90 \text{ mH}$; $\sigma = 0.07$; $R'_R = 0.3 \Omega$

- 6 5b Bereken het door de machine opgenomen elektrische vermogen (let op de machine heeft drie statorfasen), het in de machine gedissipeerde vermogen en het elektromagnetische

koppel voor het geval $\omega_{slip} = \frac{R'_R}{\frac{\sigma}{1-\sigma} L_s}$.

- 3 5c Schets de koppelhoeksnelheidskarakteristiek van een inductiemachine en geef hierin de relevante variabelen en parameters aan.

15