



Försättsblad Prov Original

Kurskod	ET085G	Provkod	T101	Tentamensdatum	2018 - 08 - 20
Kursnamn	Elektroteknik GR (A), Elmaskiner och drivsystem				
Provnamn	Skriftlig tentamen				
Ort	Sundsvall				
Termin	H18				
Ämne	Elektroteknik				

Mittuniversitetet
ET085G, Elmaskiner och drivsystem, 7,5 hp
Skriftlig tentamen
2018-08-20 kl. 08.00-13.00

Tillåtna hjälpmedel:

- Inkluderat formel- och tabellhäfte
- Miniräknare av valfri typ (utan kommunikationsmöjligheter)
- Valfri förlagsutgiven formelsamling utan egna anteckningar, inklusive men inte nödvändigtvis begränsat till följande titlar:
 - Formler och tabeller (Björk, Brodin, Pilström, Alphonse ev. m , Natur och Kultur)
 - TEFYMA (Ingelstam, Rönngren, Sjöberg, ev. m , Studentlitteratur)
 - Tabeller och formler för NV och TE (Ekbom, Lillieborg, Larsson, Ölme, Jönsson, ev. m , Liber)
 - Formler och Tabeller (Pedersen, Gleerups)
 - Physics Handbook (Nordling, Österman, ev. m , Studentlitteratur)
 - Energiteknik - Formler och tabeller (Elovsson, Alvarez, Studentlitteratur)
 - EnBe - Energiberäkningar (Soleimani-Mohseni, Bäckström, Eklund, Studentlitteratur)

Poängberäkning görs separat för problem och teorifrågor. För att behålla någon form av sammanhang i provet är de teori- resp. problemrelaterade uppgifterna i blandad ordning. Deluppgifter som bidrar till teorieresultatet är markerade med T, medan problemuppgifter är märkta med P. Provet poängbedöms och betygsätts med A-F på en proportionell skala upp till 80 poäng, varav minst 40 poäng krävs för att resultatet ska bedömas som godkänt. Dock måste minst 50% uppnås på vardera av teori- och problemdelarna för godkänt betyg. Godkända inlämningsuppgifter ger bonuspoäng upp till maximalt 10% av resp. dels maxpoäng enligt särskild mall som kommer att meddelas.

Kontakta Daniel Nilsson på 0703-402755 vid frågor eller funderingar.



- 1.P Kängans Gravstenar AB i Norrlands Mississipi har en granitsåg som drivs med en trefas asynkron induktionsmotor med märk(axel)effekt 160 kW som försörjs med ett separat treledarsystem från en dedikerad transformator. D-kopplad till 400 V huvudspänning vid 50 Hz kräver motorn vid märkdrift 332 A linjeström vid varvtalet 494 varv/min och effektfaktorn 0,74. Maximala vridmomentet är 2,40 gånger högre än märkvridmomentet och startströmmen 5,8 gånger högre än märkströmmen.
- a) Bestäm motorns synkrona varvtal, poltal och eftersläpning vid märkdrift. (7 p)
 - b) Bestäm motorns märkvridmoment och maximala vridmoment. (5 p)
 - c) Bestäm verkningsgraden och totala (aktiva) förlusteffekten vid märkdrift. (7 p)
 - d) Motorns startström är hög och man skulle vilja minska den på något vis. Bestäm hur hög startströmmen är för den normalt D-kopplade motorn och hur hög den skulle vara om motorn Y-kopplades i stället. (6 p)

- 2.T Att undvika strömstötningar vid start och att hitta en driftpunkt som utnyttjar motorens vridmoment på bästa möjliga sätt är två utmaningar för induktionsmotordrivna anläggningar.
- a) Y/D-start är en (gammalmodig) metod för start av induktionsmotorer. Beskriv kortfattat vad den går ut på och på vilket/vilka sätt det kompenserar för induktionsmotorens nackdelar. (5 p)
- b) Man skulle med hjälp av någon typ av drivsystem vilja maximera motorens vridmoment oavsett varvtal. Nämn ett drivsystem som skulle kunna komma ifråga och beskriv (gärna med hjälp av figur/diagram) på vilket/vilka sätt det kompenserar för induktionsmotorens nackdelar. (7 p)
- c) Kängan kopplar in en av maskinerna, med märkskylt enligt nedan men den blir kraftigt överbelastad och havererar ganska omgående. Vilken typ av misstag är det möjligt att begå vid inkoppling av en felfri trefasdriven utrustning till ett i övrigt felfritt nät, och hur kan det leda till överbelastning av motorn? (4 p)

SQFBIM SA	3Ph - HZ50	IP54	c/F
T90LB 2 AB14F115-287		230/400 Δ/Y	
Kw 3.0		HP 4.0	
A	10.6 / 6.1	Co	0.88
Rpm	2810	Kg	19
		N° 8023509	

- 3.P Vid tillfällig överbelastning av sågen under drift händer det att fassäkringarna går, och för att i möjligaste mån minska strömmen under drift funderar Kängan på att faskompensera med ett kondensatorbatteri. En kondensator ska kopplas parallellt med varje fas och ska dimensioneras för maximal effektfaktor vid märkdrift. Vad blir den reaktiva effekt var och en av kondensatorerna behöver ta upp och vilken kapacitans behöver de ha vid märkspänning? (7 p)
- 4.T De mindre av maskinerna i verkstaden har inget högre effektbehov än att de kan försörjas av en fas.
- a) Vissa av dem drivs av för ändamålet konstruerade enfas induktionsmotorer. Visa, gärna med hjälp av figur, hur någon typ av enfas induktionsmotor är uppbyggd och beskriv kortfattat dess funktion. (5 p)

- b) Anta att man vill driva en trefas asynkron induktionsmotor med enfasig växelspanning. Ange åtgärd(er) som vid behov kan vidtas för att starta den resp. hålla den i drift när den redan har uppnått märkvarvtal. (5 p)
- 5.T Försörjningen av stenverkstaden i föregående sköts av en Dyn-kopplad transformator.
- a) Anta att transformatorns fullständiga kopplingsart är Dyn11. Gör en principskiss av primär- och sekundärspänningen som funktion av tiden i ett och samma diagram. Markera tydligt fasskillnaden och dess tecken (vilken av kurvorna som ligger före den andra). (5 p)
- b) Skulle man vinna något på en z-kopplad sekundärlindning (Dzn) för denna transformator i tillämpningen ifråga? Varför (inte)? (4 p)
- 6.P Den Dyn-kopplade transformatorn är en 24/0,4 kV 200 kVA distributionstransformator med 0,75 kW tomgångsförlusteffekt, 3,0 kW kortslutningsförlusteffekt och 6% kortslutningsförlustimpedans. Uppskatta spänningsfallet vid direktstart av en D-kopplad motor enligt uppgift 1.P under antagande att lasten är fullständigt induktiv last med den i databladet givna startströmmen, samt bestäm transformatorns sekundärspänning resp. verkningsgrad vid 150% belastningsgrad. (13 p)

Formelsamling, Elmaskiner och drivsystem (ET085G),
ver. 170525

Mittuniversitetet, Sundsvall

Storheter och deras SI-enheter i grundform

ℓ : längd (m)
 b : bredd (m)
 h : höjd (m)
 r, R : radie (m)
 A : area (m^2)
 V : volym (m^3)
 t : tid (s)
 T : periodtid (s)
 f : frekvens (s^{-1})
 n : varvtal (s^{-1})
 v : hastighet (m/s)
 ω : vinkelhastighet (rad/s)
 φ : fasvinkel (rad)
 F : kraft (N)
 M : vridmoment (Nm)
 P : effekt (aktiv) (W)
 W : arbete (J)
 E : energimängd (J)
 η : verkningsgrad (1)
 B : magnetisk flödestäthet ($T = \frac{V_s}{\text{m}^2}$)
 Φ : magnetiskt flöde ($\text{Wb} = V_s$)
 N : antal varv (lindningstal) i en ledarspole (1)
 U, u, \hat{u} : elektrisk spänning (V)
 e, \hat{e} : inducerad elektrisk spänning (V)
 I, i, \hat{i} : elektrisk ström (A)
 R : elektrisk resistans (Ω)
 C : kapacitans (F)
 L : induktans (H)
 Z : impedans (Ω)
 X_L : induktiv reaktans (Ω)
 X_C : kapacitiv reaktans (Ω)
 Q : reaktiv effekt (VAR)
 S : skenbar effekt (VA)
 U_h : huvudspänning i trefassystem (V)
 I_l : linjeström i trefassystem (A)
 I_s : fasström i trefassystem (A)
 U_n : Märkspänning för elmaskin (V)
 I_n : Märkström för elmaskin (A)
 I_m : Magnetiseringsström för elmaskin (A)

U_m : Magnetiseringsspänning för elmaskin (V)
 P_n : Aktiv märkeffekt för elmaskin (W)
 Q_n : Reaktiv märkeffekt för elmaskin (VAr)
 S_n : Skenbar märkeffekt för elmaskin (VA)
 P_f : Total förlusteffekt i elmaskin (W)
 P_b : Belastningsförlust i elmaskin (W)
 P_{bn} : Belastningsförlust vid märkström i elmaskin (W)
 P_m : Magnetiseringsförlust i elmaskin (W)
 P_{Fe} : Järnförlust i elmaskin (W)
 P_{Cu} : Resistiv (koppar)förlust i elmaskin (W)
 P_0 : tomgångseffekt i elmaskin (W)
 p : roterande elmaskins poltal (1)
 n_s : roterande elmaskins synkrona varvtal (s^{-1})
 P_1 : effekt som tillförs en roterande elmaskin (W)
 P_2 : effekt som avges från en roterande elmaskin (W)
 P_{fr} : friktionsförlust i en roterande elmaskin (W)
 k_E : likströmsmaskinens spänningskonstant (1)
 k_M : likströmsmaskinens momentkonstant (1)
 U_a : likströmsmaskinens ankarspänning (V)
 I_a : likströmsmaskinens ankarström (A)
 I_{a0} : likströmsmaskinens tomgångsankarström (A)
 R_a : likströmsmaskinens ankarresistans (Ω)
 N_1 : antal varv i transformatorns primärlindning (1)
 N_2 : antal varv i transformatorns sekundärlindning (1)
 n : transformatorns omsättningstal (1)
 R_1 : transformatorns primärlindningsresistans (Ω)
 R_2 : transformatorns sekundärlindningsresistans (Ω)
 U_1 : transformatorns primärspänning (V)
 U_2 : transformatorns sekundärspänning (V)
 I_1 : transformatorns primärström (A)
 I_2 : transformatorns sekundärström (A)
 α : transformatorns belastningsgrad (1)
 R_k : transformatorns kortslutningsresistans (Ω)
 X_k : transformatorns kortslutningsreaktans (Ω)
 Z_k : transformatorns kortslutningsimpedans (Ω)
 r_k : transformatorns procentuella kortslutningsresistans (1)
 x_k : transformatorns procentuella kortslutningsreaktans (1)
 z_k : transformatorns procentuella kortslutningsimpedans (1)
 Δu : transformatorns procentuella spänningsfall (1)
 s : asynkronmaskins eftersläpning (1)
 s_k : asynkronmaskins eftersläpning vid maximalt vridmoment (1)
 R_2 : asynkronmaskins rotorresistans (Ω)
 X_2 : asynkronmaskins rotorreaktans (Ω)
 f_1 : frekvensen för asynkronmaskinens matningsström/spänning (Hz)
 f_2 : frekvensen för asynkronmaskinens rotorström/spänning (Hz)

Konstanter

Coulombs konstant: $k = 8,988 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$

Magnetiska flödestäthetskonstanten: $k = 2,000 \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$

Matematiska samband

Arean av en rektangel: $A = b \cdot l$

Volymen av ett rätblock: $V = b \cdot l \cdot h$

Arean av en cirkel: $A = \pi \cdot r^2$

Volymen av en cylinder: $V = \pi \cdot r^2 \cdot h$

Arean av ett klot: $A = 4\pi \cdot r^2$

Volymen av ett klot: $V = \frac{4\pi}{3} \cdot r^3$

Sinus av en vinkel i en rätvinklig triangel: $\sin \varphi = \frac{\text{motstående katet}}{\text{hypotenusan}}$

Cosinus av en vinkel i en rätvinklig triangel: $\cos \varphi = \frac{\text{närliggande katet}}{\text{hypotenusan}}$

Tangens av en vinkel i en rätvinklig triangel: $\tan \varphi = \frac{\text{motstående katet}}{\text{närliggande katet}}$

Pythagoras' sats: $\text{hypotenusan} = \sqrt{(\text{närliggande katet})^2 + (\text{motstående katet})^2}$

Sammansatta enheter

$$1 \text{ Hz} = 1 \frac{1}{\text{s}}$$

$$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$$1 \text{ F} = 1 \frac{\text{As}}{\text{V}}$$

$$1 \text{ H} = 1 \frac{\text{Vs}}{\text{A}}$$

$$1 \text{ T} = 1 \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}$$

$$1 \text{ Wb} = 1 \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$$

Enhetsomvandlingar

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$1 \text{ hk} = 735 \text{ W}$$

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$$

Allmänna samband

$$\text{Effekt: } P = \frac{E}{t}$$

$$\text{Verkningsgrad: } \eta = \frac{\text{nyttig energi}}{\text{tillförd energi}} = \frac{\text{nyttig effekt}}{\text{tillförd effekt}}$$

Mekanik

$$\text{Arbete på en kropp: } W = F \cdot s$$

$$\text{Vinkelhastighet: } \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

$$\text{Vridmoment: } M = F \cdot r$$

$$\text{Rotationseffekt: } P = \frac{W}{t} = M \cdot \omega = M \cdot 2\pi \cdot n$$

Elektriska och magnetiska fält

$$\text{Magnetiska flödestätheten kring en ledare: } B = k \cdot \frac{I}{r}$$

$$\text{Kraften från ett magnetfält på en strömgenomfluten ledare: } F = BI\ell$$

$$\text{Magnetiskt flöde: } \Phi = BA$$

Grundläggande ellära

$$\text{Ohms lag: } U = R \cdot I$$

$$\text{Ohms lag för elektrisk effekt: } P = UI = I^2R = \frac{U^2}{R}$$

$$\text{Seriekoppling av resistanser: } R = R_1 + R_2 + \dots$$

$$\text{Parallellkoppling av resistanser: } \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

Växelfält och induktion

Generatorformeln: $e = vB\ell$

Faradays induktionslag: $e = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

Inducerad spänning i en ledarspole: $e = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

Vinkelhastighet: $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$

Växelströmlära

Sinusformad växelspanning: $u(t) = \hat{u} \sin \omega t = \hat{i}R \sin \omega t$

Effektiv- och toppvärden av sinusformad växelspanning: $U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$

Sinusformad växelström: $i(t) = \hat{i} \sin \omega t = \frac{\hat{u}}{R} \sin \omega t$

Effektiv- och toppvärden av sinusformad växelström: $I = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}}$

Effekt av sinusformad växelström i resistiv last: $P = UI = I^2R = \frac{U}{R}$

Seriekoppling av induktanser: $L = L_1 + L_2 + \dots$

Parallellkoppling av induktanser: $\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots$

Seriekoppling av kapacitanser: $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$

Parallellkoppling av kapacitanser: $C = C_1 + C_2 + \dots$

Induktiv reaktans: $X_L = \omega L$

Kapacitiv reaktans: $X_C = \frac{1}{\omega C}$

Total serieinduktans: $Z = \sqrt{(X_L - X_C)^2 + R^2}$

Aktiv effekt: $P = S \cdot \cos \varphi$

Reaktiv effekt: $Q = S \cdot \sin \varphi$

Skenbar effekt: $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

