

## 2. Teilklausur zur Vorlesung

### Elektrische Maschinen und Antriebselektronik

29. Juni 2024, 11:00, HS 8

Name: ..... Vorname: ..... Matr.-Nr.: .....

Studienkennzahl: .....

#### Eidesstattliche Erklärung

Hiermit bestätige ich, die Klausur aus „VO Elektrische Maschinen und Antriebselektronik“ am 29.06.2024 eigenständig und ohne Verwendung unerlaubter Hilfsmittel absolviert zu haben.

.....  
Datum, Ihre Unterschrift

#### Hinweise:

- *Es werden ausschließlich Fragen zum Angabezettel beantwortet.*
- *Es müssen nicht alle Angaben für die Berechnungen nötig sein!*
- *Geben Sie alle verwendeten Einheiten, Maßstäbe, Formeln und Schaltungen (z.B. Maschen- und Knotengleichungen ohne Schaltung mit Zählpfeilen werden nicht gewertet!) an. Komplexe Größen sind als solche erkennbar zu machen.*
- *Geben Sie alle Rechenschritte zu Ihrer Lösung an. Ergebnisse ohne erkennbaren Rechengang werden nicht gewertet!*
- *Falls Sie Vernachlässigungen oder Vereinfachungen treffen, müssen Sie diese begründen und den Fehler abschätzen!*

## Themenkreis Drehstrommaschinen

### Aufgaben:

- 1) Frequenzumrichter:  
Wie ist ein Frequenzumrichter (mit Spannungszwischenkreis) grundsätzlich aufgebaut? Skizzieren (und bezeichnen) Sie die Eingangs- und Ausgangsstufe für jeweils 3 Phasen sowie den Zwischenkreis. Legen Sie eine in Dreieck verschaltete Drehstrommaschine an den Ausgang des Frequenzumrichters.

- 2) Ansteuerverfahren  
Zur Ansteuerung der Halbbrücken eines Frequenzumrichters wird beim Trägerverfahren oft das Referenzsignal

$$u_{U0,soll} = M \frac{U_d}{2} \sin(\omega_1 t) + A_3 M \frac{U_d}{2} \sin(3\omega_1 t)$$

verwendet. Diese Referenzspannung zieht in der Drehfeldmaschine eine annähernd sinusförmige Bestromung (ohne dritte Harmonische) nach sich – Warum? Erklären Sie, weshalb beim Referenzsignal trotzdem die dritte Harmonische hinzugenommen wird und leiten Sie die den optimalen Zahlenwert für den Parameter  $A_3$  her.

- 3) Raumzeiger  
Wie lässt sich aus den Phasen- bzw Stranggrößen  $x_U, x_V$  und  $x_W$  ein Raumzeiger bilden? Stellen Sie einen solchen Raumzeiger und dessen Komponenten (Real- und Imaginärteil  $x_{RE}$  und  $x_{IM}$ , sowie  $x_U, x_V$  und  $x_W$ ) in einem gemeinsamen Diagramm dar. Wie schnell rotieren Raumzeiger?
- 4) Space Vector Modulation:  
Wie viele mögliche Schaltzustände gibt es bei einer dreiphasigen Brückenschaltung? Diesen Schaltzuständen wird bei der Space Vector Modulation in der komplexen Ebene jeweils ein Punkt zugeordnet. Zeichnen Sie diese Punkte. Welche Figur ergibt sich?

## Themenkreis Asynchronmaschine

### Aufgaben:

- 5) Ersatzschaltbild:  
Geben Sie das allgemeine, nicht vereinfachte Ersatzschaltbild der Asynchronmaschine (ohne Berücksichtigung von Eisenverlusten) an. Bezeichnen Sie alle Größen. Dieses Ersatzschaltbild kombiniert die Stator- und Rotorspannungsgleichung. Geben Sie diese beiden Gleichungen für  $\underline{u}_s$  und  $\underline{u}_r$  auch explizit formal an. Was bedeutet das ‘ bei den Läufergrößen und wie rechnet man sie jeweils auf die physikalisch vorhandenen Größen um?
- 6) Zeigerdiagramm:  
Zeichnen Sie das zum Ersatzschaltbild der vorgehenden Frage zugehörige Zeigerdiagramm (der Spannungen und Ströme, jeweils auf die Statorseite bezogen) einer Kurzschlussläufer-Asynchronmaschine für einen generatorischen(!) Betrieb.

- 7) U/f-Steuerung:  
Zeichnen Sie die Betriebskurve für die Steuerspannung  $U_s$  als Funktion des Verhältnisses Steuerfrequenz zur Nennfrequenz ( $f_s/f_N$ ) bei der Spannungs-Frequenzsteuerung in ein Diagramm. Unterscheiden Sie hierbei zwischen zwei Betriebsarten. Wie heißen diese? Zeichnen Sie zudem die drei Drehzahl-Drehmomenten-Kennlinien für die Betriebspunkte auf der Kennlinie bei den Frequenzen  $0,5f_N$ ,  $f_N$  und  $1,5f_N$  in ein weiteres gemeinsames Diagramm ein.
- 8) Rotorvorwiderstände:  
Bei einer Schleifringläufer-Asynchronmaschine kann eine Drehzahlstellung durch Hinzufügen von Rotorvorwiderständen erfolgen.  
Wie ändert sich Ortskurve, wenn man das tut?  
Zeichnen Sie die Drehzahl-Drehmomenten-Kennlinien mit und ohne Vorwiderstand in ein gemeinsames Diagramm.

## Themenkreis Synchronmaschine

### Aufgaben:

- 9) Ersatzschaltbilder:  
Für die Synchronmaschine gibt es ein Ersatzschaltbild mit Stromquelle und eines mit Spannungsquelle. Geben Sie beide an. Wie hängen die Spannung und der Strom dieser beiden Quellen zusammen?
- 10) Zeigerdiagramm:  
Zeichnen Sie das Zeigerdiagramm (der Spannungen und Ströme) der Synchronmaschine für den Betrieb im 3. Quadrant (als kapazitiver Generator). Kennzeichnen Sie auch den Polradwinkel und den Leistungswinkel.  
Findet dieser Betriebsfall häufig Anwendung? Wenn ja, wo?
- 11) Ortskurve:  
Leiten Sie aus dem Ersatzschaltbild mit Spannungsquelle (unter Vernachlässigung des Statorwiderstandes  $R_S$ ) dem Stromzeiger als Funktion der Statorspannung  $i_s=f(u_s)$  her. Welche Ortskurven des Stromzeigers ergeben sich für einige, jeweils konstante Erregerströme über dem Polradwinkel? Zeichnen Sie diese und kennzeichnen Sie die verschiedenen Betriebsbereiche (kapazitiver, induktiver, motorischer, generatorischer, stabiler und instabiler Betrieb) sowie Betriebspunkte mit konstantem Moment.
- 12) Drehmoment:  
Geben Sie für die Synchronmaschine die allgemein gültige Gleichung für die Wirkleistung an und modifizieren Sie diese schrittweise nachvollziehbar (eventuell mit Hilfe der Ortskurve), so dass diese letztlich eine Abhängigkeit von Polradspannung und Polradwinkel aufweist. Ermitteln Sie basierend darauf eine Gleichung für das Drehmoment und stellen sie dieses in Abhängigkeit des Polradwinkels dar. Bezeichnen Sie charakteristische Größen und Betriebsbereiche.