

Beispielhafte Kontrollfragen für das Erlernen des Prüfungsstoffs:**Kapitel 2. Drehfelder in elektrischen Maschinen**

- 2.1 Was ist ein Drehfeld und wie kommt es zustande? Erläutern Sie das Weiterwandern des Luftspalt-Felds am Beispiel der dreisträngigen Wicklung graphisch!
- 2.2 Wie sind Drehstromwicklungen aufgebaut (Ein- und Zweischichtwicklungen)! Erläutern Sie konzentrische Spulen und Spulen gleicher Weite (Wickelkopfgestaltung?)! Welche Bevorzugungen gibt es hinsichtlich Runddraht-/Profildrahtwicklung, Niederspannungs-/Hochspannungswicklung?
- 2.3 Beschreiben Sie den Kurzschlusskäfig als einen Sonderfall einer vielsträngigen Drehstromwicklung und geben Sie die Feldverteilung im Luftspalt an!
- 2.4 Wie ist die magnetische Spannung definiert? Geben Sie die magnetische Spannungsverteilung einer Ständerspule im Luftspalt einer elektrischen Maschine an! Welche vereinfachenden Voraussetzungen werden dabei angenommen?
- 2.5 Geben Sie Formeln für die synchrone Winkelgeschwindigkeit und die zugehörige Umfangsgeschwindigkeit an! Geben Sie Zahlenwerte an für einen wasserstoffgekühlten Turbogenerator: 50Hz, 880MVA, Bohrungsdurchmesser 1.35m, 2-polig. Leiten Sie daraus ab, warum Turbogeneratoren die mechanisch am höchsten belasteten elektrischen Maschinen sind! Wie ist daher deren Rotor konstruktiv ausgeführt? In Japan und den USA sind 60Hz üblich. Was bedeutet das hinsichtlich der Fliehkraft-Beanspruchung im Läufer eines Turbogenerators?

Kapitel 3. Mathematische Analyse von Luftspaltfeldern

- 3.1 Drehfelder werden mit realen Wicklungen nicht oberfelderfrei erzeugt. Diskutieren Sie die das Zustandekommen und die Eigenschaften der Oberfelder (Amplitude, Umlauffrequenz, Ordnungszahl, Wellenlänge, Mit- und Gegenfelder). Wie nehmen die Amplituden der Felder mit steigender Ordnungszahl ab?
- 3.2 Erläutern Sie die Begriffe des Zonen-, Sehnungs- und Wicklungsfaktors anhand der *Fourier*-Analyse mit Formeln ! Erklären Sie den Begriff der Nutharmonischen!
- 3.3 Geben Sie eine Formel für die Ordnungszahl der Grund- und Oberwellen von a) m -strängigen Drehfeldwicklungen und b) von Käfigwicklungen an. Warum treten nur ungeradzahlige und bei a) nicht durch drei teilbare Ordnungszahlen auf?

Kapitel 4. Spannungsinduktion in Drehstrommaschinen

- 4.1 Das Luftspaltfeld in einem Synchrongenerator ist trotz optimierter Polschuhform der Läuferpole nicht sinusförmig. Warum ist trotzdem die induzierte verkettete Spannung nahezu exakt sinusförmig. Warum ist in der zugehörigen Phasenspannung der Oberschwingungsgehalt größer?

- 4.2 Die *Faraday'sche* Scheibe im Feld eines rotationssymmetrischen Permanent- oder Elektromagneten: Erklären Sie die Spannungsinduktion für folgende Betriebsfälle:
a) Scheibe rotiert, Magnet ruht,
b) Scheibe ruht, Magnet rotiert
c) Scheibe rotiert mit anderer (konstanter) Drehzahl als Magnet
Welchem Trugschluss kann man leicht unterliegen (Fall b))?
- 4.3 Eine im Luftspalt einer elektrischen Maschine mit konstanter Geschwindigkeit umlaufende Feld-Drehwelle induziert in einer in Ständernuten liegenden Spule eine Sinusspannung. Welche Form der Induktion (Ruh-, Bewegungsinduktion) würde ein mit der Feld-Drehwelle mitbewegter Beobachter angeben? Und welche ein mit der Spule ruhender Beobachter? Erläutern Sie dies mit Formeln!
- 4.4 Wieso ist die Gesamtfeldinduktivität einer Drehstromwicklung höher als die Grundwelleninduktivität? Was bedeutet in diesem Zusammenhang der Begriff "Oberfelderstreuung"?
- 4.5 Wie wird die Grundwellen-Drehfeldinduktivität berechnet? Vollziehen Sie den Rechnungsgang in den folgenden Schritten nach: Eine aus drei Strängen bestehende Drehfeldwicklung wird mit einem dreiphasigen Stromsystem I bestromt und baut daher ein Drehfeld mit der Grundwellenamplitude B_δ im Luftspalt auf (Sättigung des Eisens vernachlässigt). Dieses induziert in jedem der drei Stränge die Strangspannung U (Dreiphasenspannungssystem), womit sich je Strang eine Reaktanz $X = U/I$ und daraus eine Drehfeld-Induktivität je Strang ergeben.
- 4.6 Erklären Sie den Zonenfaktor einer Spulengruppe und den Sehnungsfaktor einer Spule anhand der Spannungsinduktion durch eine Sinus-Felddrehwelle!
- 4.7 Erklären Sie die Funktion des Drehtransformators ("Drehreglers"). Welche Vor- und Nachteile hat er gegenüber klassischen Transformatoren z. B. in Dreischenkelbauweise?
- 4.8 Erklären Sie den Unterschied zwischen „elektrischen“ und „mechanischen“ Graden! Wie erfolgt die Umrechnung? Welche Sonderstellung haben zweipolige Maschinen?

Kapitel 5. Die Schleifringläufer-Asynchronmaschine

- 5.1 Wie funktioniert die Schleifringläufer-Asynchronmaschine prinzipiell? Wie kann man die $M(n)$ -Kennlinie der Asynchronmaschine physikalisch erklären?
- 5.2 Geben Sie die Ständer- und Läufer Spannungsgleichung je Strang für die Asynchronmaschine an und zeichnen Sie dazu das T-Ersatzschaltbild. Welche Parameter treten im Ersatzschaltbild der Asynchronmaschine auf? Welche vereinfachenden Annahmen wurden dabei getroffen?
- 5.3 Welchen Vorteil bringt es, die Läufergrößen Strom, Spannung, Flussverkettung, Widerstand und Induktivität mit einem Übersetzungsverhältnis \ddot{u} auf die Ständerseite umzurechnen?
Kann \ddot{u} im Prinzip willkürlich gewählt werden? Falls ja, zeigen Sie, warum!
Welches Übersetzungsverhältnis \ddot{u} ist bei Schleifringläufermaschinen gebräuchlich?

- Warum werden bei Käfigläufermaschinen für Strom und Spannung unterschiedliche Übersetzungsverhältnisse verwendet? Welche?
- 5.4 Was ist der Schlupf (Formel)? Was ist seine physikalische Bedeutung? Welche Betriebszustände entsprechen den Schlupfwerten -1 , 0 , 1 , 2 ? Wie groß sind die zugehörigen Läuferfrequenzen bei angenommenen Ständerfrequenzen von a) 50Hz und b) 60Hz)?
- 5.5 Was ist der Unterschied zwischen “elektrischen” und “mechanischen” Gradangaben? Wie erfolgt die Umrechnung? Welche Sonderstellung hat die zweipolige Maschine?
- 5.6 Welche Streuflüsse der Asynchronmaschine kennen Sie? Machen Sie anschauliche Skizzen zu dem Verlauf der Streuflüsse in der Maschine! Welche Kennziffer kennzeichnet die Gesamtstreuung?
- 5.7 Was versteht man unter dem Magnetisierungsstrom einer Asynchronmaschine? Wann fließt dieser Strom real in den Wicklungssträngen der Maschine?
- 5.8 Können die Streuflüsse der Asynchronmaschine einzeln experimentell bestimmt werden? Diskutieren Sie in diesem Zusammenhang den Begriff der BLONDEL’schen Streuziffer σ und geben Sie eine Methode zu ihrer experimentellen Bestimmung an!
- 5.9 Was ist das innere (oder “elektrische”) Drehmoment (Luftspaltdrehmoment) der Asynchronmaschine? Welchen Zusammenhang hat es mit der “Drehfeldleistung”? Ist es größer oder kleiner als das Wellenmoment (Generator/Motor)?
- 5.10 Welche Verluste treten in einer Asynchronmaschine auf? Leiten Sie daraus die Formel für den Wirkungsgrad ab (Generator/Motor)! Welche der genannten Verlustgruppen sind im Ersatzschaltbild der Asynchronmaschine bereits berücksichtigt?
- 5.11 Warum hat der Asynchronmotor ein ausgeprägtes Kippmoment? Hinweis: Bedenken Sie bei der physikalisch-qualitativen Erklärung die beiden Extrema “kleiner Schlupf, kleine Läuferfrequenz” und “großer Schlupf, große Läuferfrequenz”. Wie groß ist typisch der Kippschlupf beim Kupferkäfigläufer?
- 5.12 Ist bei der Asynchronmaschine trotz Berücksichtigung des Ständerwiderstands ($R_s \neq 0$) der Kippschlupf für Generator- und Motorbetrieb gleich groß? Was gilt für die zugehörigen Kippmomente?
Wie sieht die Situation im vereinfachten Fall $R_s = 0$ aus?
- 5.13 Zeichnen Sie qualitativ das Spannungs- und Stromzeigerdiagramm des Asynchronmotors am “starren” Netz im Verbraucher-Zählpeilsystem bei Nennlast !
- 5.14 Was gibt das Kreisdiagramm an? Welche Größen sind dabei fest vorgegeben, welche variabel? Zeichnen Sie das Kreisdiagramm der Asynchronmaschine qualitativ bei Berücksichtigung des Ständerwiderstands (*Ossanna*-Kreis) und tragen Sie die markanten Punkte $s = 0$, $s = s_b$, $s = 1$, $s = \infty$ ein! Bezeichnen Sie Drehmoment- und Leistungsgerade! Wie werden mit Hilfe dieser Geraden das innere Drehmoment, die mechanische Leistung, die Stromwärmeverluste im Ständer- und Läufer bestimmt?

- 5.15 Wie beziffert man das Kreisdiagramm nach Schlupfwerten mit Hilfe der Schlupfgeraden? Die Kenntnis welcher Betriebspunkte ist dazu nötig? Qualitative Skizze!
- 5.16 Wie hoch ist typisch der Leerlaufstrom und der Anzugsstrom einer Asynchronmaschine am Netz, bezogen auf den Nennstrom?
Wie groß sind typisch das Kipp- und das Anzugsmoment eines Hochstabläufers, bezogen auf das Nennmoment?
- 5.17 Schreiben Sie die Spannungsgleichungen für den Ständer- und Läuferkreis der Asynchronmaschine anhand des Ersatzschaltbilds auf! Ermitteln Sie daraus die Abhängigkeit des Läuferstroms vom Ständerstrom! Diskutieren Sie diese Relation für: $s = 0$, für $s = 1$ und $s = \infty$! Wann spricht man in diesem Zusammenhang von "Durchflutungsausgleich"?
- 5.18 Zeichnen Sie das Kreisdiagramm qualitativ bei Vernachlässigung des Ständerwiderstands (*Heyland-Kreis*). Wie werden mit Hilfe der Drehmoment- und Leistungsgerade die mechanische Leistung, das innere Drehmoment, die Läuferverluste und der Ständerstrom bestimmt? Wie groß ist der $\cos\varphi$ einer Asynchronmaschine typisch im Leerlauf, im Nennpunkt, im Anzugspunkt?
- 5.19 Was beschreibt die *Kloss'sche* Beziehung? Skizze, Formel! Welche vereinfachenden Annahmen liegen ihr zugrunde? Wie sieht das zugehörige Kreisdiagramm (Stromortskurve) aus? Qualitative Skizzen!
- 5.20 Leistungsschild eines Asynchronmotors:
400 V/690 V D/Y, 950 A D, 560 kW, 1492/min, 50 Hz, $\cos\varphi = 0.88$.
Bestimmen Sie daraus den Wirkungsgrad, das Wellendrehmoment, die Gesamtverlustleistung, die Polzahl und den Nennschlupf der Maschine!
- 5.21 Skizzieren Sie den Leistungsfluss einer Asynchronmaschine im
a) Motorbetrieb, b) Generatorbetrieb
und benennen und erläutern Sie die einzelnen Verlustgruppen!
- 5.22 Erläutern Sie die Möglichkeiten, mit einem Läuferwiderstand das Betriebsverhalten eines Schleifringläufer-Asynchronmotors zu verändern!

Kapitel 6. Die Kurzschlussläufer-Asynchronmaschine

- 6.1 Was ist Stromverdrängung? Bei welcher Maschine wird sie nutzbar gemacht, um das Betriebsverhalten der Maschine zu verbessern?
- 6.2 Diskutieren Sie die Abhängigkeit des Stabwiderstands und der Nutstreuinduktivität eines Hochstabläufers von der Stromverdrängung! Skizze der entsprechenden Kurven! Welcher Parameter wird bei der Kurvendarstellung verwendet?
- 6.3 Wie sieht der Einfluss von Stromverdrängung auf die $M(n)$ -Kurve von Asynchronmaschinen aus? (Skizze) Zeichnen Sie Läuferformen, bei denen der Einfluss der Stromverdrängung auf Widerstand und Induktivität des Läuferstabs
a) gering und b) stark
ausgeprägt ist, und begründen Sie das Ergebnis!

- 6.4 Stimmt es, dass bei sonst gleichen Bedingungen ein in eine Rechtecknut eingebetteter Kupferstab stärker von der Stromverdrängung beeinflusst wird als ein Aluminiumstab?
Hinweis: Elektrische Leitfähigkeit:
Kupfer (20°C): $57 \cdot 10^6 \text{ S/m}$, Aluminium: $34 \cdot 10^6 \text{ S/m}$.
- 6.5 Welche Probleme treten auf, wenn große Asynchronmotoren direkt ans Netz geschaltet werden? Welche Abhilfe ist da mit einem Schleifringläufer-Motor möglich?

Kapitel 7. Antriebstechnik mit der Asynchronmaschine

- 7.1 Erläutern Sie für die Asynchronmaschine die quasistatische Stabilität
a) qualitativ und b) mit Formeln
anhand der stationären $M_e(n)$ -Motor-Kennlinie mit typischen Lastkennlinien $M_s(n)$.
- 7.2 Wie hoch ist die Energie, die den Läufer eines Asynchronmotors (als Antrieb einer Zentrifuge) erwärmt, wenn die Zentrifuge “leer” auf 3000/min hochgefahren wird (reiner Schwungmassenhochlauf)? Das polare Trägheitsmoment von Zentrifuge und Läufer beträgt 15 kgm^2 .
- 7.3 Skizzieren Sie die $M(n)$ -Kennlinien typischer Arbeitsmaschinen und begründen Sie ihren Verlauf!
- 7.4 Beschreiben Sie das Funktionsprinzip der Polumschaltung nach *Dahlander*! Welche Vor- und Nachteile existieren gegenüber Motoren, die mit zwei getrennten Wicklungen zwei Drehzahlen verwirklichen? Wo werden Antriebe mit zwei Festdrehzahlen häufig eingesetzt? Welche Alternativen bieten dazu drehzahlvariable Antriebe mit Umrichterspeisung?
- 7.5 Beschreiben Sie den Betrieb der Asynchronmaschine bei Speisung mit Ständerspannungen variabler Frequenz f und Amplitude U (Frequenzumrichterspeisung)! Wie werden U und f verändert, damit das Moment konstant bleibt? Vernachlässigen Sie dabei den Ständer-Widerstand!
Skizzieren Sie das zugehörige $M(n)$ -Kennlinienfeld für unterschiedliche (U, f) -Wertepaare!
- 7.6 Was bedeutet “Feldschwächung” bei Betrieb der Asynchronmaschine am Frequenzumrichter? Wie müssen U und f eingestellt werden, um Feldschwächbetrieb zu erreichen? Warum muss oft Feldschwächung eingesetzt werden, um einen großen Drehzahlstellbereich zu erhalten?
Wie wird im Vergleich zur Asynchronmaschine beim stromrichteragespeisten Gleichstromantrieb Feldschwächung erreicht?
- 7.7 Wie ist bei Frequenzumrichterspeisung von Asynchronmaschinen U zu verändern, damit der Fluss in der Maschine bei variabler Frequenz und damit Drehzahl konstant bleibt:
a) bei $R_s = 0$, b) bei $R_s \neq 0$?
In welchem Drehzahl- und Frequenzbereich ist der R_s -Einfluss wesentlich? Warum?
- 7.8 Nennen Sie den Vorteil der Umrichterspeisung (Spannungszwischenkreis-Umrichter) mit Pulsweitenmodulation der Ständerspannung gegenüber dem Blockspannungsbetrieb? Wie

- wirkt sich dieses Verfahren bei ausreichend hoher Pulsfrequenz auf die Stromkurvenform der Asynchronmaschine aus?
- 7.9 Wann bleibt ein Asynchronantrieb während des Hochlaufs mit Gegenmoment “hängen”, erreicht also seine Nenndrehzahl nicht? Skizzieren Sie einen typischen Fall!
- 7.10 Erläutern Sie das Prinzip des Y/D-Hochlaufs! Welche Vorteile werden mit welchen Nachteilen erkauft?
- 7.11 Was versteht man unter “Vier-Quadranten-Betrieb”? Geben Sie für die vier Quadranten das Vorzeichen von Drehzahl und Drehmoment an! Wie wird dieser Betrieb mit einem Spannungszwischenkreis-Umrichter und einer Asynchronmaschine erreicht? Welche Voraussetzungen muss der Umrichter für NetZRückspeisung erfüllen?
- 7.12 Beschreiben Sie – unterstützt durch Skizzen – die Begriffe
- Gegenstrombremsen,
 - übersynchrones Bremsen?

Kapitel 8. Die Synchronmaschine

- 8.1 Erklären Sie das Funktionsprinzip der Synchronmaschine ! Wie ist der Polradwinkel einer Synchronmaschine definiert? Warum ist es nicht sinnvoll, bei Asynchronmaschinen einen Polradwinkel einzuführen?
- 8.2 Erläutern Sie den Unterschied zwischen Schenkelpol- und Vollpolmaschine
- in der Bauweise (Skizze!) und
 - bei der Drehmomenterzeugung ($M(\vartheta)$ -Kennlinie).
- 8.3 Zeichnen Sie das Spannungs- und Durchflutungszeigerdiagramm (Stromzeiger !) der Vollpolmaschine im übererregten Generatorbetrieb im Verbraucher-Zählpfeilsystem ! Bestimmen Sie aus seinen Vorzeichen die Richtung des Energieflusses!
- 8.4 Wie wirkt sich die Schenkelpolausführung des Läufers auf die Drehfeldinduktivität der Ständerwicklung aus? Erläutern Sie die Begriffe d - und q -Achse sowie L_d und L_q !
- 8.5 Zeichnen Sie das Spannungs- und Durchflutungszeigerdiagramm (Stromzeiger !) der Schenkelpolmaschine im übererregten Generatorbetrieb im Verbraucher-Zählpfeilsystem ! Bestimmen Sie aus seinen Vorzeichen die Richtung des Energieflusses!
- 8.6 Erläutern Sie graphisch am Beispiel des Spannungszeigerdiagramms der Vollpolmaschine (Verbraucher-Zählpfeilsystem, $R_s = 0$) die Begriffe “übererregt”, “untererregt”, “motorischer” und “generatorischer” Betrieb (somit vier Fallunterscheidungen)!
Beachten Sie die Vorzeichen von Phasenwinkel φ , Polradwinkel ϑ , Wirkleistung P und Blindleistung Q !
- 8.7 Warum benötigt eine Asynchronmaschine als Generator im Inselbetrieb eine parallel zu ihren Klemmen angeschlossene Kondensatorbank, der Synchrongenerator im Inselbetrieb jedoch nicht?

- 8.8 Erläutern Sie den Phasenschieberbetrieb der Synchronmaschine anhand des Zeigerdiagramms (Verbraucher-Zählpfeilsystem, $R_s = 0$)! Wie groß ist die Antriebsleistung an der Welle? Warum installiert man in großen Industrieanlagen, wo viele induktive Verbraucher im Einsatz sind (z.B. viele Asynchronantriebe), zur Blindleistungskompensation Synchronmaschinen? Welche Alternativen gibt es dazu?
- 8.9 Eine auf Nenndrehzahl angetriebene Synchronmaschine läuft unerregt am Netz im mechanischen Leerlauf (keine Wirkleistungsabgabe/-aufnahme, Maschine verlustfrei angenommen). Zeichnen Sie das Zeigerdiagramm! Wer deckt den Magnetisierungsbedarf für das Magnetfeld in der Maschine?
- 8.10 Zeichnen Sie das Zeigerdiagramm der auf Nenndrehzahl angetriebenen Synchronmaschine, wenn sie an ihren Klemmen dauernd kurzgeschlossen ist und das Polrad mit Nennerreglerstrom I_{fN} erregt ist (für $R_s = 0$).
- 8.11 Wie verändert sich das Drehmoment der Vollpol-Maschine bei zunehmender Belastung im Generator- und im Motorbetrieb (Formel) am starren Netz?
Wie kann die Höhe des Kippmoments beeinflusst werden?
- 8.12 Diskutieren Sie die quasistatische Stabilität der Synchron-Vollpolmaschine am starren Netz anhand der stationären Kennlinie $M(\vartheta)$ a) qualitativ und b) mittels Formeln!
Warum kann die Maschine im stabilen Bereich mit einer nichtlinearen Drehfeder verglichen werden und wie wird die "Ersatzdrehfeder-Konstante c_ϑ bestimmt?
- 8.13 Ist die "Feder" steifer bei niedriger oder bei hoher Last, bei niedrigem oder hohem I_f ?
Wie wirkt sich die Höhe der Last (Größe des Polradwinkels) auf die Eigenfrequenz (Pendelneigung) der Synchronmaschine aus? Wie groß ist typisch diese Eigenfrequenz bei Belastung zwischen Leerlauf und Nennmoment?
- 8.14 Erläutern Sie Funktionsweise und Betrieb der Reluktanzmaschine und geben Sie die $M(\vartheta)$ -Kennlinie an!
- 8.15 Kann der Synchrongenerator im Inselbetrieb mit einer mechanischen Drehfeder verglichen werden? Begründen Sie Ihre Antwort!
- 8.16 Zeichnen Sie die äußere Kennlinie $U_s(I_s)$ eines Synchrongenerators im Inselbetrieb bei konstanter Erregung (also ohne Spannungsregelung) für *Ohm'sche* Belastung, sowie rein induktive und rein kapazitive Belastung! Verwenden Sie eine normierte Darstellung, so dass die Kurven Gerade oder Kreissegmente sind!
- 8.17 Begründen Sie mit dem Zeigerdiagramm der Vollpolmaschine ($R_s = 0$) als Generator im Inselbetrieb bei konstanter Erregung, warum die Klemmenspannung bei rein kapazitiver Last höher ist als im Leerlauf!

9. Elektrisch und permanentmagnetisch erregte Synchronmaschinen

- 9.1 Was versteht man unter der Leerlauf-Kennlinie und der Kurzschluss-Kennlinie eines Synchrongenerators (Skizze)? Wie werden sie messtechnisch bestimmt?

- 9.2 Wie bestimmt man die gesättigte Synchronreaktanzen und das Leerlauf-Kurzschluss-Verhältnis für Sättigung gemäß Leerlauf-erregung I_{f0} ? Die Sättigung welcher Aktiveisenteile verursacht die Krümmung der Leerlauf-Kennlinie?
- 9.3 Warum ist die Leerlaufkennlinie von Synchronmaschinen bei Nennfluss bereits gesättigt, die Kurzschlusskennlinie bei Nennstrom aber nicht?
- 9.4 Ist für den Betrieb am starren Netz eine große Synchronreaktanzen ein Zeichen hoher Überlastfähigkeit der Maschine (hoher Stabilitätsreserve), wenn die Erregung und damit die Polradspannung konstant gehalten wird? Begründen Sie Ihre Antwort anhand der Formel für das Kippmoment der Vollpolmaschine ($R_s = 0$)!
- 9.5 Welche gängigen Erregereinrichtungen für Synchronmaschinen sind gebräuchlich? Einfache Schaltungsskizzen! Diskutieren Sie Vor- und Nachteile der einzelnen Varianten!
- 9.6 Nennen Sie die Wirkungsweise und die damit verbundenen Vor- und Nachteile der "bürstenlosen" Erregung!
- 9.7 Was versteht man unter Stoßerregung und wozu wird sie benötigt? Was bedeutet in diesem Zusammenhang die Deckenspannung? Was soll mit der Schnellentregung erreicht werden? Wie wird sie verwirklicht?
- 9.8 Wozu benötigt die Synchronmaschine eine Dämpferwicklung? Ist die Notwendigkeit einer Dämpferwicklung sowohl am starren Netz als auch im Inselbetrieb gegeben?
- 9.9 Wie verändert sich die Eigenfrequenz der schwingenden Synchronmaschine am starren Netz mit/ohne Dämpferkäfig? Wie groß ist diese Eigenfrequenz etwa?

Kapitel 10. Gleichstromantriebe

- 10.1 Erläutern Sie das Funktionsprinzip der Gleichstrommaschine! Wie funktioniert die mechanische Gleichrichtung der in die Ankerwicklung induzierten Wechselspannung?
- 10.2 Wie wird erreicht, dass die gleichgerichtete Ankerspannung nahezu keine Restwelligkeit hat? Wie groß ist die Frequenz der Restwelligkeit? Mit welcher Frequenz wird der rotierende Anker (Eisenkern!) ummagnetisiert? Was hat dies zur Folge? Warum muss daher das Anker-Blechkpaket lamelliert (aus einzelnen gegeneinander isolierten Blechen geschichtet) sein?
- 10.3 Geben Sie die Grundformeln der Gleichstrommaschine an: induzierte Spannung, inneres Drehmoment, äußere Klemmenspannung für Generator-/Motorbetrieb!
- 10.4 Skizzieren Sie den Verlauf des Luftspaltfelds einer unkompensierten, wendepollosen Gleichstrommaschine für $I_f > 0$ a) bei Leerlauf ($I_a = 0$), b) bei Last ($I_a > 0$) über zwei Polteilungen. Tragen Sie bei b) den Flussverlust durch zusätzliche Sättigung zufolge Ankerrückwirkung ein.
- 10.5 Erläutern und skizzieren Sie die gesättigte Leerlaufkennlinie $U_0(I_f)$ eines Gleichstromgenerators bei konstanter Drehzahl $n = \text{const.}$ Wo ist in der Gleichstrommaschine die Hauptfeldsättigung im Eisenkreis im Wesentlichen zu lokalisieren?

- 10.6 Was versteht man unter "Kommutierung" (Stromwendung) bei der Gleichstrommaschine? Welche Probleme ergeben sich daraus für den Betrieb dieser Maschinen? Erklären Sie dazu den Begriff der "Reaktanzspannung"!
- 10.7 Beschreiben Sie die Funktionsweise der Wendepolwicklung! Funktioniert damit die (annähernd) funkenfreie Kommutierung bei jedem beliebigen Wertepaar (n, I_a) , also bei jeder Belastung und Drehzahl?
- 10.8 Welchen Leistungsgrenzen unterliegt die Gleichstrommaschine? Diskutieren Sie diese Grenzen im Vergleich zur Käfigläufer-Asynchronmaschine!
- 10.9 Beschreiben Sie die Wirkungsweise der Anker-Schleifen- und Anker-Wellenwicklung (eingängige Ausführung) anhand von Spulenskizzen samt Anschlüssen an den Kommutator!
- 10.10 Welche elektrischen Unterschiede bestehen zwischen Schleifen- und Wellenwicklung? Was folgt daraus für ihre Einsatzmöglichkeiten?
- 10.11 Wie wirkt die Kompensationswicklung (Skizze)? Warum wird sie verwendet?
- 10.12 Skizzieren Sie die vier grundlegenden Schaltungsvarianten der Gleichstrommaschine! Wozu benötigt man Feldsteller-Widerstand und Anlasser-Widerstand?
- 10.13 Skizzieren Sie die "äußere" Kennlinie des fremderregten Generators $U(I_a)$ mit und ohne Kompensationswicklung!
- 10.14 Skizzieren Sie die elektrische Schaltung des Nebenschlussgenerators! Wie geht die Selbsterregung beim Nebenschlussgenerator vor sich?
- 10.15 Skizzieren Sie die $n(M)$ -Kennlinien a) vom fremderregten, kompensierten Motor und b) vom Reihenschlussmotor. Diskutieren Sie beide Kennlinien: Verhalten bei Entlastung, Drehzahlabnahme bei Belastung, Veränderung der Kennlinie durch Hauptflussveränderung.
- 10.16 Beschreiben Sie die quasistatische Stabilität des Nebenschlussmotors anschaulich mit Einfluss der Ankerrückwirkung! Wie lautet die mathematische Bedingung für Stabilität?
- 10.17 Was ist ein *Ward-Leonard*-Umformer? Wozu wurde/wird er benötigt?
- 10.18 Wie wird bei modernen Gleichstromantrieben die Veränderung der Maschinendrehzahl erreicht? Skizzieren Sie die allpolige Schaltung für
- a) sechspulsige Stromrichterspeisung und
 - b) für pulswertenmodulierte Transistor-Chopper-Speisung, für den Ein-Quadrantenbetrieb.
- 10.19 Skizzieren Sie das Ein-Quadranten-Kennlinienfeld $n(M)$ eines stromrichtergespeisten, fremderregten, kompensierten Gleichstrommotors mit Feldschwächbereich.
- 10.20 Bei hohen Drehzahlen muss die Reaktanzspannung begrenzt werden (auf welchen Wert etwa?), damit die Funkenbildung bei der Kommutierung in erträglichen Grenzen bleibt. Wie sehen die folgenden Kennlinien dazu aus: $M(n)$, $I_a(n)$, $U(n)$, $\Phi(n)$?
- 10.21 Wie hoch ist der Spannungsabfall an den Bürsten von Gleichstrommaschinen typisch? Wie sieht die Bürstenspannungs-Bürstenstromdichte-Kennlinie aus? Wie verändert sich der Bürstenübergangswiderstand mit steigender Temperatur?
- 10.22 Was bedeuten die Begriffe "Über-" bzw. "Unterkommutierung"? Wieso kann durch Überkommutierung Neigung zur Instabilität des fremderregten Motors entstehen?

- 10.23 Skizzieren Sie den Feldverlauf des Wendepolfelds der Gleichstrommaschine schematisch bei einer zweipoligen Maschine ! Wie ist das Verhältnis der Windungszahlen je Pol der Wendepolwicklung $N_{W,Pol}$ und der Ankerwicklung $N_{a,Pol} = z/(8ap)$ einer unkompenzierten Maschine zu wählen, damit ein positives Wendefeld im Wendepolluftspalt erregt wird ?
- 10.24 Nennen Sie die Grenzwerte a) der Reaktanzspannung für Dauerbetrieb und stoßweise (z.B. Walzwerksanwendungen) und b) der mittleren und maximal zulässigen Stegspannung sowie c) der Dauerstromdichte in den Bürstenlaufflächen.