

Schriftliche Prüfung aus VO Energieübertragung und Hochspannungstechnik  
am 10.10.2019

Name/Vorname: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ Matr.-Nr./Knz.: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Allgemeine Hinweise: **Kennzeichnen** Sie Ihre Ergebnisse eindeutig. Ergebnisse müssen aus **Zahlenwert** und **Einheit** bestehen und bei Wechselstromsystemen in **komplexer Form** (Komponenten- oder Polardarstellung) angegeben werden, wenn nicht anders gefragt ist.

**1. Asynchrongenerator als Einspeiser (33 Punkte)**

Ein Asynchrongenerator soll über ein Kabel in ein 400V-Niederspannungs-Netz mit einer Kurzschlussleistung von 3 MVA ( $c = 1$ ) einspeisen, der Winkel des Netzes beträgt  $89^\circ$ . Die Daten des Asynchrongenerators bzw. des Kabels sind folgend zusammengefasst:

Nennbetrieb:  $S_N = 30 \text{ kVA}$   $\cos(\varphi_N) = 0,85$

Anlauf:  $\frac{I_A}{I_N} = 5$   $\left. \begin{matrix} R_M \\ X_M \end{matrix} \right|_{Anlauf} = 0,05$

$R'_L = 0,54 \text{ } \Omega/\text{km}$   $X'_L = 0,064 \text{ } \Omega/\text{km}$   $\ell_L = 300 \text{ m}$

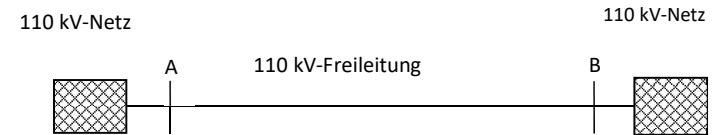
- a. (8) Wie groß ist die **Kurzschlussleistung** und der **Netzwinkel** im Anschlusspunkt des Generators ( $c = 1$ )?
- b. Der Asynchrongenerator wird im Stillstand an das Netz geschaltet und soll über das Netz hochlaufen. Die Zuschaltung führt zu einer schaltbedingten Spannungsänderung, der Nennbetrieb des Generators schließlich zu einer stationären Spannungsanhebung.
  - i. (1) Welche **Zählpeilsysteme** werden definitionsgemäß zur Berechnung der schaltbedingten Spannungsänderung bzw. stationären Spannungsanhebung verwendet?
  - ii. (1) Welches **Vorzeichen** haben P, Q und  $\varphi$  des Generators während des Hochlaufs im Verbraucherzählpeilsystem bzw. während des Nennbetriebs im Erzeugerzählpeilsystem?

Nachfolgende sollen die **näherungsweise Abschätzungen** verwendet werden:

- c. (6) Wie hoch ist die **schaltbedingte Spannungsänderung** im Moment des Zuschaltens des Generators? Ist diese **zulässig**?
- d. (3) Wie hoch ist die **stationäre Spannungsanhebung**? Ist diese zulässig?
- e. (4) Durch einen Drehstromsteller kann der Anlaufstrom des Generators beschränkt werden. Welcher **Anlaufstrom** ist **maximal einzustellen**, damit die schaltbedingte Spannungsänderung innerhalb des zulässigen Bereichs bleibt?
- f. (4) Alternativ könnte auch das Anschlusskabel verstärkt werden. Wie hoch müsste die **Kurzschlussleistung** im Anschlusspunkt des Motors nach der Verstärkung sein, damit die schaltbedingte Spannungsänderung innerhalb des zulässigen Bereichs bleibt (die Netzwinkel bleiben unverändert)?
- g. (6) Welche **Parameter** ( $R'_{L,neu}$  und  $X'_{L,neu}$ ) müsste das verstärkte Kabel aufweisen, um die Kurzschlussleistung gem. Punkt f. zu erhalten (die Netzwinkel bleiben unverändert,  $c = 1$ )?

**2. Netzeinspeisung (27 Punkte)**

Zwei benachbarte Netze sind über eine Freileitung miteinander verbunden. Die Quellspannungen in den Netzen A und B bilden jeweils ein Mitsystem. Die  $\underline{U}_{A(1)}$  wird durch einen Spannungsregler konstant gehalten, alle Winkel werden auf  $\underline{U}_{B(1)}$  bezogen.



$\underline{U}_{A(1)} = 63,51 e^{+j20^\circ} \text{ kV}$

110 kV-Freileitung  
 $R' = 0,034 \text{ } \Omega/\text{km}$   
 $L' = 0,84 \text{ mH/km}$   
 $G' = 20 \text{ nS/km}$   
 $C' = 14 \text{ nF/km}$   
 $\ell_{AB} = 100 \text{ km}$   
 $I_{th} = 1800 \text{ A}$

$\underline{U}_{B(1)} = 63,51 \text{ kV}$

- a. (5) Wie groß ist die **natürliche Leistung** der Leitung?

Hinweis: Für die weiteren Berechnungen werden die ohmschen Anteile, die Querkapazitäten und Querleitwerte vernachlässigt. Komponentensystem Index

- b. (3) Wie groß ist die **maximal übertragbare Leistung** über die Leitung (Kippleistung)?
- c. (3) Bestimmen Sie die **übertragene Wirkleistung** für den oben dargestellten Betriebsfall.
- d. (4) Mittels kombinierter FACTS-Regler wird eine Serienspannung von  $\underline{U}_{zu1} = 5 e^{+j0} \text{ kV}$  in Punkt B eingespeist. Berechnen Sie nun die **übertragene Wirkleistung  $P_B$** .
- e. (4) Mittels eines Static Synchronous Series Compensator (SSSC) wird eine Spannung mit  $\underline{U}_{zu2} = 5 e^{-j10^\circ} \text{ kV}$  in Punkt B eingespeist. Bestimmen sie nun die **übertragene Wirkleistung  $P_B$** .
- f. (4) Auf der Freileitung tritt nun ein Fehler auf, welcher nach kurzer Zeit geklärt wird. **Welche der beiden Kompensationen (Punkt d und e)** gewährleistet eher ein stabiles Verhalten nach Fehlerklärung (inkl. Begründung)?
- g. (4) **Um wie viel Prozent ist die Freileitung** im Fall einer Übertragung der Wirkleistung  $P_B$  aus dem **Punkt e. thermisch ausgelastet**? Einfluss der Blindleistung kann vernachlässigt werden.

**3. Erweiterung einer Schaltanlage (6 Punkte)**

Gegeben ist folgende Schaltanlage:

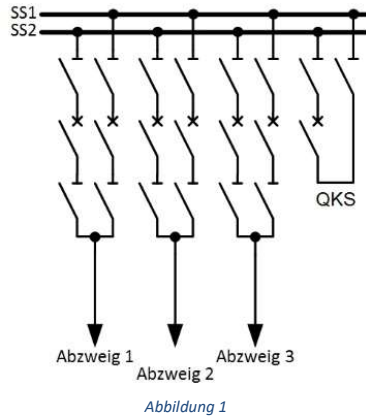


Abbildung 1

- a. (1) Um welche **Sammelschienenkonfiguration** handelt es sich in der Abbildung 1?
- b. (1) Welche **Vorteile** hat die Sammelschienenkonfiguration?
- c. (1) Welchen **Nachteil** hat die Sammelschienenkonfiguration?
- d. (3) Verändern Sie die Schaltanlage, um den Nachteil aus Punkt c) zu kompensieren.



Abbildung 2

**4. Fragen Hochspannungstechnik (34 Punkte)**

- a. (3) Wie lauten die fünf Sicherheitsregeln der Hochspannungstechnik?
- b. (4) Geben Sie den Zusammenhang der elektrischen Feldgrößen  $D$  und  $E$  an Grenzflächen an, die senkrecht zu den Feldlinien stehen, wenn der eine Halbraum aus Luft und der andere aus einem Dielektrikum mit  $\epsilon_r = 3$  besteht.
- c. (4) Skizzieren Sie ein Influenz-Elektrometer. Wovon hängt der messbare Strom  $i(t)$  ab?
- d. (3) Bei welchen Isolieranordnungen sind diese besonders stark?
- e. (3) Was stellt der physikalische Volumeneffekt in festen Isolierstoffen dar? Vergleichen Sie hierbei einen Mittelspannungs- und ein Höchstspannungsisolieren (Prinzipiskizze).
- f. (6) Wie kann der Verlustfaktor von Isolierstoffen mit der Scheringbrücke gemessen werden (Skizze der Brückenschaltung, Ableitung der Abgleichbedingungen und des  $\tan \delta$ )?
- g. (6) In einer Hochspannungsdurchführung soll eine zylindrische Schichtung zur Feldsteuerung angebracht werden (Innenradius  $R_1$ , Außenradius  $R_2$ ). Es soll ein Dielektrikum mit konstanter Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$  verwendet werden. Wie muss die Schichtung ausgeführt werden, damit über den Radius die Feldstärke gleichmäßiger wird?
- h. (5) In einem Prüffeld soll die 50%-Stoßdurchschlagsfestigkeit eines Isolators ermittelt werden. Wie kann dies durch Versuche mit Spannungssteigerung und Auswertung mit der up-down-Methode erfolgen (Skizze, Formeln und Erläuterung)?