

Schriftliche Prüfung aus VO Energieübertragung und Hochspannungstechnik  
am 27.06.2018

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

1. 380kV-Einfachleitung (27 Punkte)

Gegeben ist ein 380kV-Drehstromfreileitungssystem in einem 50Hz-Netz der Länge 450 km mit folgenden Parametern:

$$R_b' = 0,03 \frac{\Omega}{\text{km}}; L_b' = 0,8 \frac{\text{mH}}{\text{km}}; G_b' = 0,02 \frac{\mu\text{S}}{\text{km}}; C_b' = 14 \frac{\text{nF}}{\text{km}}$$

- a. (3) Wie groß ist der **Wellenwiderstand** der Leitung?
- b. (3) Wie groß ist die **natürliche Leistung** der Leitung?

Die Leitung wird mit einer Last  $\underline{S} = (600 + j100)$  MVA unter Nennspannung belastet (d.h. die Spannung am Leitungsende entspricht der Nennspannung).

Hinweis: Verwenden Sie für die folgenden Unterpunkte:

$$\cosh(\gamma l) = (0,913 + j0,0106)$$

$$\sinh(\gamma l) = (0,024 + j0,408)$$

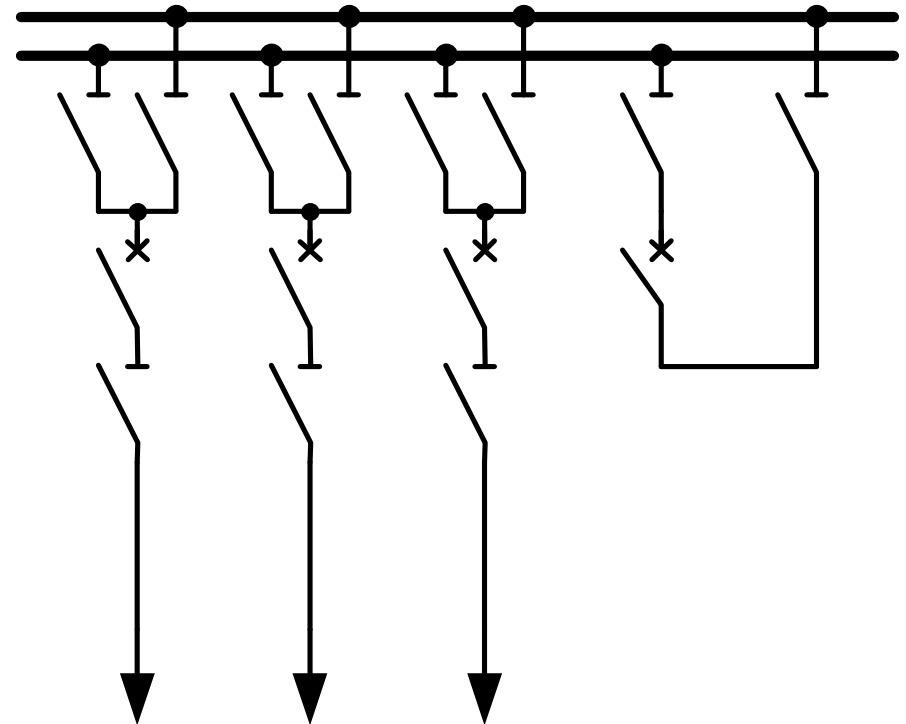
- c. (3) Berechnen den **Strom** am **Ende** der Leitung.
- d. (3) Berechnen Sie die **Spannung** und **Strom** am **Anfang** der Leitung.
- e. (3) Berechnen Sie die **Leistung** am **Anfang** der Leitung.
- f. (3) Berechnen Sie die **Übertragungsverluste**.
- g. (3) Berechnen Sie den **Wirkungsgrad** der Leistungsübertragung.

Die Leitung wird mit ihrer natürlichen Leistung unter Nennspannung belastet.

- h. (3) Berechnen Sie den **Strom** am **Ende** der Leitung.
- i. (3) Wie hoch sind die Übertragungsverluste, wenn der **Wirkungsgrad** der Leistungsübertragung 96,5% beträgt?

2. Erweiterung einer Schaltanlage (6 Punkte)

Gegeben ist folgende Schaltanlage:



- a. (2) Um welche **Sammenschinenkonfiguration** handelt es sich ?
- b. (4) Die Schaltanlage soll um mit einer **Umgehungschiene** erweitert werden. **Zeichnen** Sie die Umgehungschiene und alle notwendigen Schalter ein.

Hinweis: Sie können direkt das obenstehende Bild erweitern.

**3. 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:

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

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

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

- 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 **Zählpfeilsysteme** 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 Verbraucherzählpfeilsystem bzw. während des Nennbetriebs im Erzeugerzählpfeilsystem?

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** ( $R'_{L, \text{neu}}$  und  $X'_{L, \text{neu}}$ ) müsste das verstärkte Kabel aufweisen, um die Kurzschlussleistung gem. Punkt f. zu erhalten (die Netzwinkel bleiben unverändert,  $c = 1$ )?

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

- a. (3) Wie lauten die fünf Sicherheitsregeln der Hochspannungstechnik?
- b. (5) Eine Kugelelektrode einer Hochspannungsanlage mit einer maximalen Betriebsspannung von  $U_m = 1100 \text{ kV}$  soll dimensioniert werden. Wie groß ist der Radius der Kugel zu wählen, damit die Feldstärke an der Oberfläche unter  $15 \text{ kV/cm}$  bleibt? Bei welcher Feldstärke ist in Luft mit einem Durchbruch zu rechnen?
- c. (6) Erläutern Sie das Verhalten von Gasisolierungen bei mittleren Beanspruchungszeiten (Skizze der Stoßkennlinie) durch Schaltstoßspannung. Wie ist der Verlauf der Durchschlagsspannung über der Beanspruchungszeit bei großen Schlagweiten?
- d. (5) Erläutern Sie die Stabilitätsbedingungen für den Wärmedurchschlag in festen Isolieranordnungen.
- e. (6) Eine Wechselspannungskaskade für  $1,0 \text{ MV}$  ist mit einer Gesamtkapazität von  $400 \text{ pF}$  belastet ( $f=50 \text{ Hz}$ ). Wie groß ist die Blindleistung, die von ihr aufgebracht werden muss?
- f. (3) Wie können innere und äußere Vorentladungen durch Teilentladungsmessung unterschieden werden? (Skizze der Messanordnung und grafische Darstellung der Impulse relativ zur angelegten Hochspannung).
- g. (6) In einer Hochspannungsdurchführung soll eine zylindrische Schichtung zur Feldsteuerung angebracht werden (Innenradius  $R_1$ , Außenradius  $R_2$ ). Es sollen Dielektrika mit variabler Dielektrizitätszahl  $\epsilon_{ri}$  geschichtet werden. Wie muss die Dielektrizitätszahl in Abhängigkeit vom Radius verändert werden, damit über den Isolierbereich die Feldstärke gleichmäßiger wird