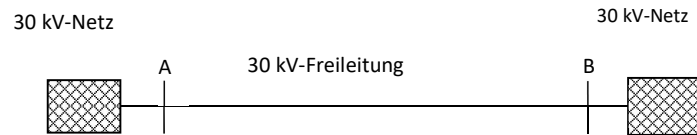


Schriftliche Prüfung aus VO Energieübertragung und Hochspannungstechnik  
am 10.11.2015

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

1. Netzeinspeisung; Kopplung zweier Netze (P) (33 Punkte)

Zwei benachbarte Netze sind über eine Freileitung miteinander verbunden. Die Spannung  $\underline{U}_A$  wird durch einen Spannungsregler konstant gehalten, alle Winkel sind auf  $\underline{U}_B$  bezogen.



$\underline{U}_A = 17,32 e^{+j36^\circ} \text{ kV}$       30 kV-Freileitung       $\underline{U}_B = 17,32 \text{ kV}$   
 $L' = 1,20 \text{ mH/km}$   
 $C' = 9,2 \text{ nF/km}$   
 $l_{AB} = 30 \text{ km}$

Die Netze können als starre Netze betrachtet werden. Die ohmschen Anteile der Leitung werden vernachlässigt.

a. (4) Berechnen Sie die **Kippleistung**, die über die Leitung übertragen werden kann.

Es soll für den in der obigen Abbildung dargestellten Betriebsfall ein Wirkleistungsfluss von 66,67 MW über die Leitung eingestellt werden. Dazu speist ein Querregler in Punkt B eine Zusatzspannung ein, wodurch sich ein Betrag der Gesamtspannung im Punkt B von  $|\underline{U}_{B,2}| = 104,67\%$  einstellt.

b. (4) Ermitteln Sie den **Betrag und Winkel der Zusatzspannung**. Zeichnen Sie weiters qualitativ richtig das **Spannungszeigerdiagramm** im Punkt B ( $U_B$ ,  $U_{\text{Zusatz}}$  und  $U_{B,2}$ ).

Hinweis: Die folgenden Punkte können unabhängig von den vorhergehenden gelöst werden!

Ausgehend von Knoten A tritt nach 2km auf der Freileitung ein 2-poliger Kurzschluss zwischen den Phasen L1 und L2 ohne Erdberührung auf.

c. (4) Zeichnen Sie das **Ersatzschaltbild** des Mit- und Gegensystem für obigen Fehlerfall.

d. (8) Geben Sie maßgebliche **Koppel-Admittanz**  $Y_{AB}$  des äquivalenten  $\pi$ -Vierpoles an.

a. Hinweis: Stern-Dreieck-Umwandlung:  $Y_{vy} = \frac{Y_v \cdot Y_y}{\sum Y}$

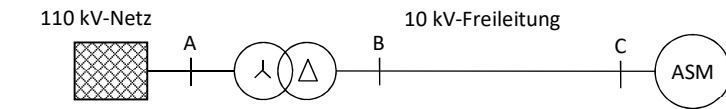
e. (4) Berechnen Sie die **Kippleistung** für diesen Fehlerfall.

Es sei nun eine zweite, identische Leitung parallel zur vorhergehenden Leitung geschaltet. Eine der Leitungen weist wiederum den zweipoligen Kurzschluss ohne Erdberührung auf.

f. (5) Berechnen Sie die wirksame **Längsimpedanz** im Fehlerfall.

g. (4) Berechnen Sie die **Kippleistung** für diesen Fehlerfall.

2. Schutz eines Motors und einer Freileitung (33 Punkte)



110 kV-Netz	Transformator	10 kV-Freileitung	Asynchronmotor
$S_k'' = 2500 \text{ MVA}$	$u_k = 12\%$	$R_L' = 0,23 \Omega/\text{km}$	$S_N'' = 5 \text{ MVA}$
$c = 1,1$	$P_k = 70 \text{ kW}$	$X_L' = 0,35 \Omega/\text{km}$	$\frac{I_A}{I_N} = 5$
$\frac{R_Q}{X_Q} = 0,1$	$S_N = 20 \text{ MVA}$	$l_{BC} = 12 \text{ km}$	$\frac{R_M}{X_M} = 0,1$

Ein Distanzschutz soll für das oben dargestellte Netz für eine Überstromanregung ausgelegt und parametrisiert werden.

a. (8) Wie hoch ist der **Anlaufstrom** des Motors bei einer Netzspannung von 110% der Nennspannung?

Hinweis: Der Anlaufstrom bei  $1,1U_N$  bildet den maximal auftretenden Betriebsstrom.

Für die folgenden Punkte seien für die wirksamen Impedanzen der Betriebsmittel folgende Werte anzunehmen  $\underline{Z}_Q = (0.0046+j0.0458) \Omega$ ,  $\underline{Z}_T = (0.0185+j0.5557) \Omega$ ,  $\underline{Z}_L = (2.4+j4.2) \Omega$ ,  $\underline{Z}_M = (0.4812+j4.01) \Omega$

b. Zeichnen Sie jeweils das zugehörige **Schaltbild in Komponentendarstellung** für die Fehlerfälle:

- i. (3) **Dreipoliger** Kurzschluss im Netzknoten C.
- ii. (3) **Zweipoliger** Kurzschluss ohne Erdberührung im Netzknoten C.

c. (5) Berechnen Sie den **kleinsten dreipoligen Kurzschlussstrom** im Netzknoten C ( $c = 1,0$ ).

d. (5) Berechnen Sie den **kleinsten zweipoligen Kurzschlussstrom** im Netzknoten C ( $c=1,0$ ).

e. (3) Beurteilen Sie anhand der Ergebnisse aus a., c. und d. ob grundsätzlich eine Überstromanregung eingesetzt werden kann (Begründung)?

Hinweis: Falls Punkt a nicht berechnet werden konnte, können Sie für den Anlaufstrom 700A annehmen und diese Teilaufgabe dann unabhängig von den anderen Teilaufgaben lösen

f. (6) Als Motorzuleitung wird ein VPE-Aluminiumkabel mit der zulässigen thermischen Kurzzeitstromdichte von  $94 \text{ A/mm}^2$  ( $t_{kr}=1\text{s}$ ) verwendet. Der Anlaufvorgang des Motors soll 5s dauern. Welchen Querschnitt muss die Motorzuleitung mindestens haben, damit sie durch drei unmittelbar aufeinanderfolgende Anlaufvorgänge nicht thermisch überlastet ist?

### 3. Fragen Hochspannungstechnik (34 Punkte)

- b. (3) Wie lauten die fünf Sicherheitsregeln der Hochspannungstechnik?
- c. (3) Wie ist der Ausnutzungsfaktor nach Schwaiger definiert, und welche Wertebereiche hat er im stark inhomogenen Feld?
- d. An einem Kugelkondensator mit den Abmessungen  $r_1=2$  cm,  $r_2=6$  cm liegt eine Spannung von 30 kV. Er ist mit Luft isoliert.
  - i. (3) Wie groß ist die elektrische Feldstärke am Innenleiter?
  - ii. (2) Wie groß ist der Homogenitätsgrad (Ausnutzungsfaktor) nach Schwaiger?
  - iii. (4) Der Hohlraum des Kugelkondensators ist mit einem Dielektrikum  $\epsilon_r = 3$  gefüllt. Am Innenleiter ist ein kleiner Luftspalt. Wie groß ist die Feldstärke in diesem Spalt?
  - iv. (4) Wie groß muss das Verhältnis der Radien sein, damit in einem Kugelkondensator am Innenleiter (ohne Luftspalt) die geringste Feldstärke auftritt?
- e. (4) Erläutern Sie das Paschen-Gesetz für Luft und SF<sub>6</sub> (Formel, grafisch und verbal).
- f. (4) Erklären Sie den Polaritätseffekt bei stark inhomogenen Elektrodenanordnungen. Wann ist eine Elektrodenanordnung stark inhomogen? Bei welcher Polarität einer Spitze-Platte-Anordnung tritt ein Durchschlag bei Wechselspannungsbeanspruchung bevorzugt auf?
- g. (4) Welchen Einfluss haben Feuchte und Temperatur auf die Durchschlagfeldstärke in Transformatorölen?
- h. (3) Skizzieren und erläutern Sie die Kaskadenschaltung nach Greinacher zur Erzeugung hoher Gleichspannungen.