

Schriftliche Prüfung aus VO Energieübertragung und Hochspannungstechnik
am 04.03.2015

Name/Vorname: _____ / _____ Matr.-Nr./Knz.: _____ / _____

1. 380-kV Einfachleitung (33 Punkte)

Gegeben ist ein 380kV-Drehstromfreileitungssystem in einem 50Hz-Netz der Länge 400 km mit folgenden Parametern:

$$R_b' = 0,02 \frac{\Omega}{\text{km}}; L_b' = 0,6 \frac{\text{mH}}{\text{km}}; G_b' = 0,02 \frac{\mu\text{S}}{\text{km}}; C_b' = 14 \frac{\text{nF}}{\text{km}}$$

Die Leitung wird zunächst mit ihrer natürlichen Leistung unter Nennspannung belastet.

- a. (2) Wie groß ist der **Wellenwiderstand** der Leitung ?
- b. (3) Wie groß ist die **natürliche Leistung** der Leitung?

Hinweis: Verwenden Sie für die folgenden Unterpunkte:

$$\cosh(\gamma l) = (0,934 + j0,00721)$$

$$\sinh(\gamma l) = (0,0188 + j0,3567)$$

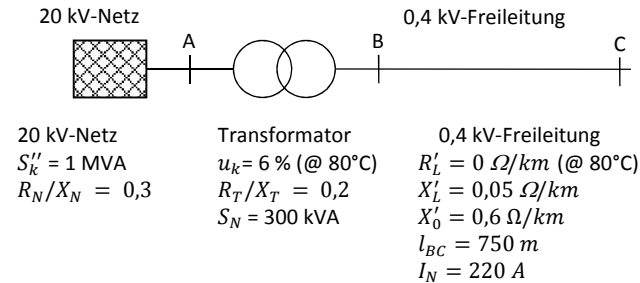
- c. (3) Berechnen Sie den **Strom** am **Ende** der Leitung.
- d. (6) Berechnen Sie die **Spannung** und **Strom** am **Anfang** der Leitung.
- e. (3) Berechnen Sie die **Leistung** am **Anfang** der Leitung.
- f. (3) Berechnen Sie die **Übertragungsverluste**.
- g. (3) Berechnen Sie den **Wirkungsgrad** der Leistungsübertragung.

Die folgenden Unterpunkte können unabhängig von den vorangegangenen erarbeitet werden.

Die Leitung wird jetzt unbelastet betrieben. Am Ende der leerlaufenden Leitung kommt es zu einem Z_{23} Impedanzbehafteten Fehler zwischen den Leitern 2 und 3.

- h. (4) Geben Sie die **Ersatzschaltung** des stationären Fehlzustandes in **Symmetrischen Komponenten** an und **beschriften** Sie alle Elemente der Ersatzschaltung (Ströme, Spannungen, Impedanzen).
- i. (6) Geben Sie allgemein die **Bestimmungsgleichungen** und die **Fehlerbedingungen** für die Berechnung des stationären Zustands an.

2. Schutztechnik (Auslegung Schmelzsicherung) (33 Punkte)



Hinweis: Die angegebene Netzkurzschlussleistung S_k'' ist mit einem Sicherheitsfaktor $c = 1,1$ berechnet worden.

- a. (3) Bestimmen Sie den **maximal zulässigen Betriebsstrom** am Netzknoten C.
Hinweis: die Nennströme dürfen dabei nicht überschritten werden!
- b. (5) Am Ende der Leitung befindet sich nun ein symmetrischer dreiphasiger Verbraucher welcher bei Nennspannung eine Wirkleistung von $P = 32 \text{ kW}$ verbraucht. Können die **Bedingungen in a)** eingehalten werden wenn Netzknoten B auf Nennspannung gehalten wird?
- c. (6) Wie hoch ist die **Kurzschlussleistung** im Netzknoten C?
- d. (6) Wie hoch ist der maximale **dreipolige Kurzschlussstrom** im Netzknoten C ($c = 1,1$)?
- e. (3) Wie hoch ist der **minimale einpolige Kurzschlussstrom** am Netzknoten C ($c = 0,95$)?

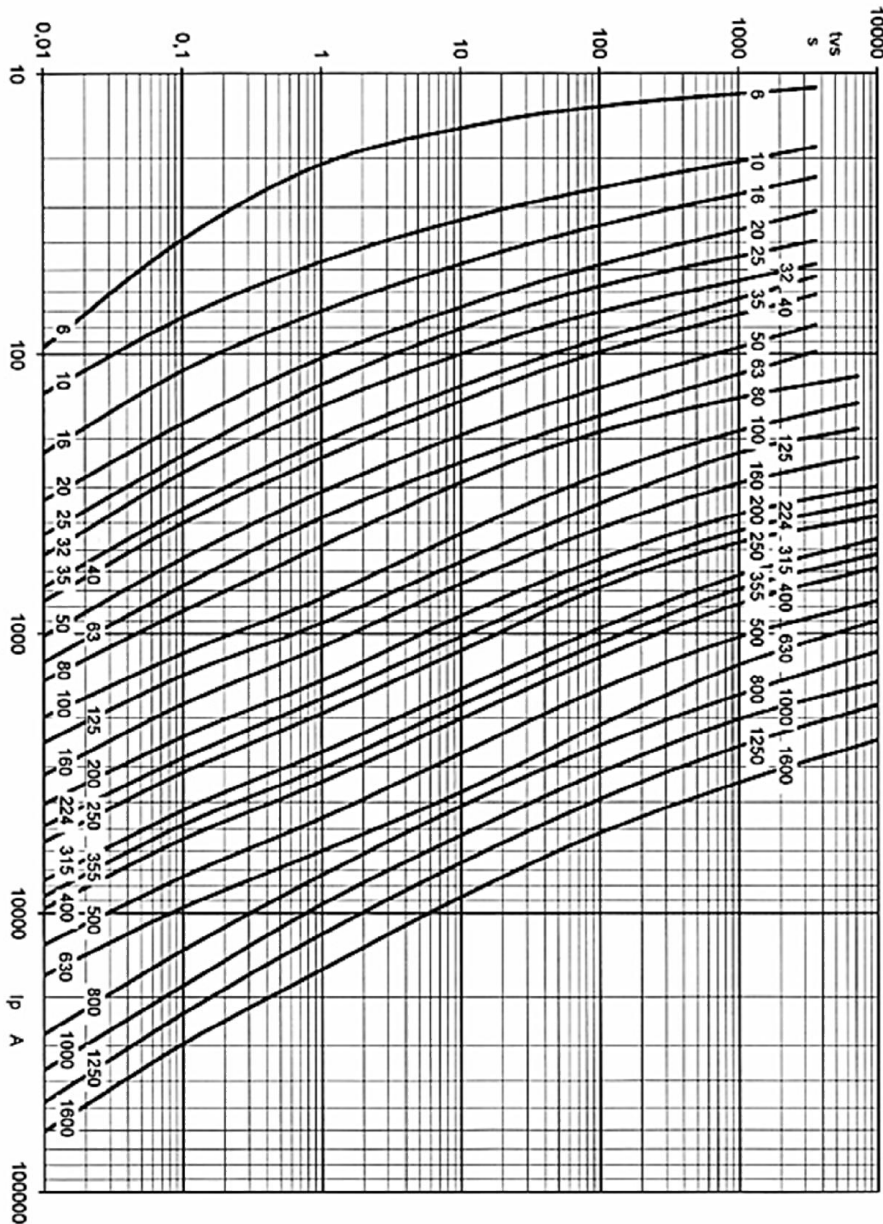
Hinweis: verwenden sie hierzu die Abschätzung

$$I_{1p}'' = \sqrt{3} \cdot \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{(2 \cdot R_N + 2 \cdot R_T + 2 \cdot R_L)^2 + (2 \cdot X_N + 2 \cdot X_T + 2 \cdot X_L + X_0)^2}}$$

- f. (4) **Wählen** Sie eine geeignete Schmelz-Sicherung, die den zulässigen Betriebsstrom dauerhaft zulässt, die Kurzschlussströme aber sicher abschaltet!
- g. (6) **Zeichnen** Sie den **maximal zulässigen Betriebsstrom**, den **einpoligen** und **dreipoligen Fehlerstrom** (auf 100 A gerundet) in die beiliegende Strom-Zeit-Kennlinien ein und bestimmen Sie die jeweiligen **Auslösezeiten** für die gewählte Sicherung.

Name/Vorname: _____ / _____ Matr.-Nr./Knz.: _____ / _____

Strom-Zeit-Kennlinien von Schmelzsicherungen für Beispiel 2



3. Fragen Hochspannungstechnik (34 Punkte)

- a. (3) Wie lauten die fünf Sicherheitsregeln der Hochspannungstechnik?
- b. An einem Kuglkondensator mit den folgenden 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 Kuglkondensators ist mit einem Dielektrikum gefüllt $\epsilon_r = 3$. Am Innenleiter ist ein kleiner Luftspalt. Wie groß ist die Feldstärke in diesem Spalt?
- c. (4) Erläutern Sie das Paschen-Gesetz für Luft und SF_6 (Formel, grafisch und verbal).
- d. (6) 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?
- e. (3) Welche Durchschlagsprozesse gibt es in festen Isolierstoffen und in welchen zeitlichen Beanspruchungsbereichen entstehen diese?
- f. (3) Skizzieren und erläutern Sie die Kaskadenschaltung nach Greinacher zur Erzeugung hoher Gleichspannungen.
- g. (6) Wie kann der Verlustfaktor von Isolierstoffen mit der Scheringbrücke gemessen werden (Skizze der Brückenschaltung, Ableitung der Abgleichbedingungen und des $\tan \delta$)?