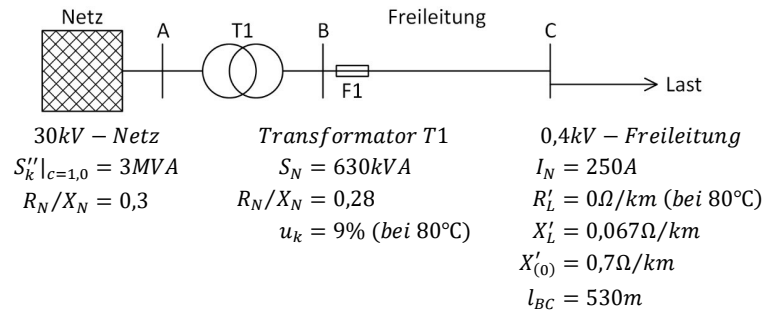


Schriftliche Prüfung aus VO Energieübertragung und Hochspannungstechnik
am 28.01.2020

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

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. Schutztechnik (Auslegung einer 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 ohmscher Verbraucher, welcher bei Nennspannung eine Wirkleistung von $P = 170 kW$ verbraucht und als Impedanzlast modelliert werden kann. Können die **Bedingungen in a)** eingehalten werden, wenn im Netzknoten B eine Spannung im Spannungsband ($U_{BN} \cdot 0,95 \leq U_B \leq U_{BN} \cdot 1,1$) zu erwarten ist?
- 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) Die Freileitung soll im Netzknotenpunkt B abgangsseitig durch die Schmelzsicherung F1 geschützt werden. **Wählen** Sie eine geeignete **Schmelzsicherung**, die den zulässigen Betriebsstrom dauerhaft zulässt, Kurzschlussströme aber sicher abschaltet.
- g. (6) **Zeichnen** Sie den **maximal zulässigen Betriebsstrom**, den **einpoligen** und **dreipoligen Fehlerstrom** in der beiliegenden Strom-Zeit-Kennlinie (Siehe Rückseite) ein und bestimmen Sie die jeweiligen **Auslösezeiten** für die gewählte Sicherung.

2. 380kV-Einfachleitung (27 Punkte)

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

$$R_b' = 0,025 \frac{\Omega}{km}; L_b' = 0,7 \frac{mH}{km}; G_b' = 0,01 \frac{\mu S}{km}; C_b' = 14 \frac{nF}{km}$$

- 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 $\underline{S} = (600 + j400)$ MVA unter Nennspannung belastet (d.h. die Spannung am Leitungsende entspricht der Nennspannung).

Hinweis: Verwenden Sie für die folgenden Unterpunkte:

$$\cosh(\gamma l) = (0,904 + j0,0107)$$

$$\sinh(\gamma l) = (0,023 + j0,428)$$

- c. (3) Berechnen den **Strom** am **Ende** der Leitung.
- d. (6) Berechnen Sie die **Spannung** und **Strom** am **Anfang** der Leitung.
- e. (4) Berechnen Sie die **Leistung** am **Anfang** der Leitung.

Die Leitung wird mit ihrer natürlichen Leistung unter Nennspannung am Ende der Leitung belastet.

- f. (4) Berechnen Sie den **Strom** am **Ende** der Leitung.
- g. (4) Wie hoch sind die Übertragungsverluste, wenn der **Wirkungsgrad** der Leistungsübertragung 96% beträgt?

3. Erweiterung einer Schaltanlage (6 Punkte)

Gegeben ist folgende Schaltanlage:

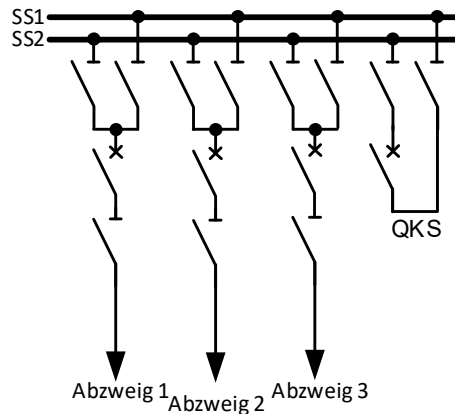


Abbildung 1

- a. (1) Um welche **Sammelschienenkonfiguration** handelt es sich in der Abbildung 1?
- b. (4) Die Schaltanlage soll mit **Überbrückungstrennschalter** erweitert werden. **Zeichnen** Sie in der Abbildung 2 die geänderte Schalterkonfiguration mit allen notwendigen Schaltern ein.

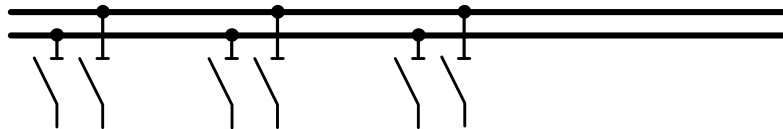


Abbildung 2

- c. (1) Welche Vorteile bringt die Erweiterung der Schaltanlage aus dem Punkt b)?

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 kV/cm bleibt? Bei welcher Feldstärke ist in Luft mit einem Durchbruch zu rechnen?
- c. (6) Erläutern Sie das Verhalten von Gasisolationen 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 Wechsellspannungskaskade für $1,0 \text{ MV}$ ist mit einer Gesamtkapazität von 400 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 ϵ_{ri} geschichtet werden. Wie muss die Dielektrizitätszahl in Abhängigkeit vom Radius verändert werden, damit über den Isolierbereich die Feldstärke gleichmäßiger wird

Ad 1. Strom-Zeit-Kennlinien von Schmelzsicherungen

