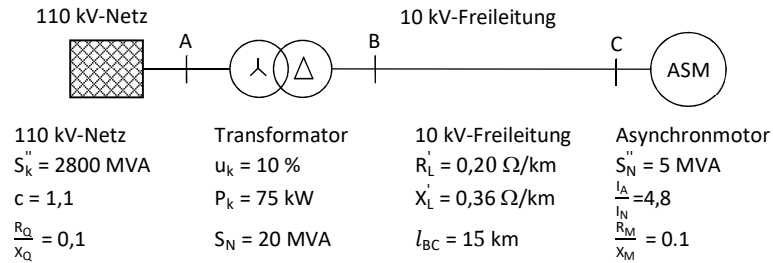


Schriftliche Prüfung aus VO Energieübertragung und Hochspannungstechnik
am 21.01.2019

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

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



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 $Z_N = (0,0038+j0,0378) \Omega$, $Z_T = (0,0206+j0,5532) \Omega$, $Z_L = (2,8+j4,5) \Omega$, $Z_M = (0,4798+j3,95) \Omega$

- b. Zeichnen Sie jeweils das zugehörige **Schaltbild in Komponentendarstellung** für die Fehlerfälle:
- (3) **Dreipoliger** Kurzschluss im Netzknoten C.
 - (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 92 A/mm^2 ($t_{kr}=1s$) verwendet. Der Anlaufvorgang des Motors soll 4s dauern. Welchen Querschnitt muss die Motorzuleitung mindestens haben, damit sie durch drei unmittelbar aufeinanderfolgende Anlaufvorgänge nicht thermisch überlastet ist?

2. Asynchrongenerator als Einspeiser (27 Punkte)

Ein Asynchrongenerator soll über ein Kabel in ein 690V-Niederspannungs-Netz mit einer Kurzschlussleistung von 2,2 MVA ($c = 1,1$) einspeisen, der Winkel des Netzes beträgt 88° .

Daten des Asynchrongenerators:

$$S_N = 105 \text{ kVA} \quad \frac{I_A}{I_N} = 6,5 \quad \frac{R_M}{X_M} = 0,055 \quad \cos(\varphi_E) = 0,89$$

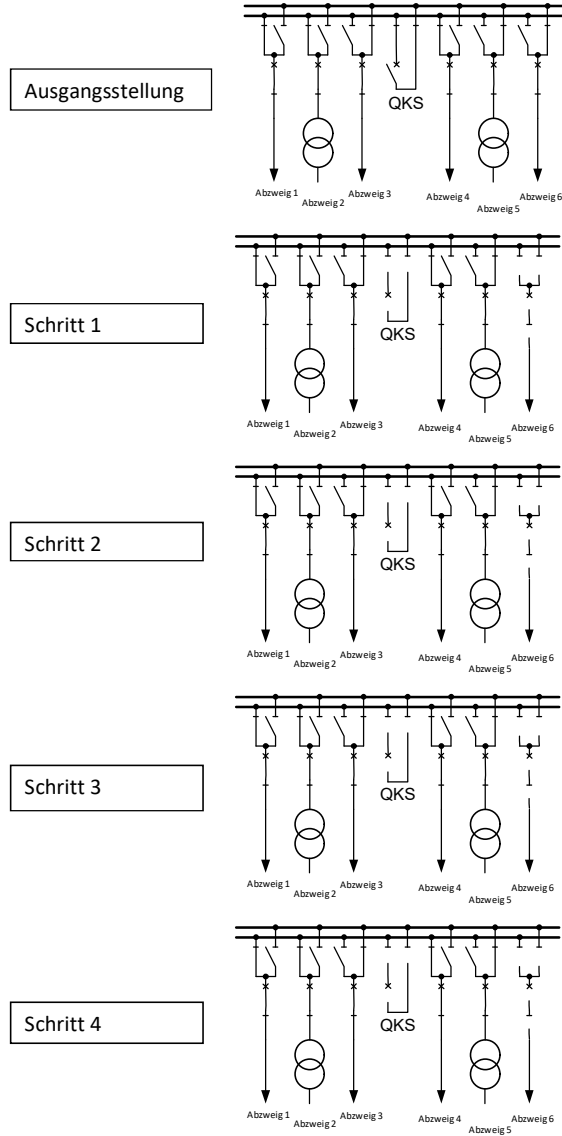
Daten des Kabels:

$$R_L = 0,65 \frac{\Omega}{\text{km}} \quad X_L = 0,07 \frac{\Omega}{\text{km}} \quad \ell_L = 450 \text{ m}$$

- a. (7) Die groß ist die **Kurzschlussleistung** und **Netzwinkel** im Anschlusspunkt des Generators ($c = 1$)?
- b. (6) Wie hoch ist die **schaltbedingte Spannungsänderung** im Moment des Zuschaltens des Generators? Ist diese **zulässig**?
- c. (3) Wie hoch ist die stationäre Spannungsanhebung? Ist diese zulässig?
- d. (3) Durch einen Drehstromsteller kann der Anlaufstrom des Generators beschränkt werden. Welcher **Anlaufstrom** ist **maximal einzustellen**, damit die schaltbedingte Spannungsänderung innerhalb des zulässigen Bereichs bleibt? Ist dies überhaupt möglich?
- e. (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)? Ist dies überhaupt möglich?
- f. (4) Durch Kondensatoren wird die Blindleistung des Generators kompensiert. Wie groß muss der sich ergebende **Leistungsfaktor** $\cos(\varphi_{\text{Motor+Kondensatoren}})$ mindestens sein, damit die stationäre Spannungsanhebung im zulässigen Bereich bleibt?

3. Sammelschienenwechsel (6 Punkte)

An der Doppelsammelschiene mit Querkupplung soll ein Sammelschienenwechsel durchgeführt werden. In Bild ein ist die Ausgangsstellung gegeben. Es soll für den letzten Abzweig (Abzweig 6) ein Sammelschienenwechsel durchgeführt werden. Zeichnen Sie die Abfolge der entsprechenden Schalterstellungen in den Zwischenschritten ein.



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 parallel zu den Feldlinien stehen, wenn der eine Halbraum aus Luft und der andere aus einem Dielektrikum mit $\epsilon_r = 3$ besteht.
- c. An einem Zylinderkondensator mit den folgenden Abmessungen $r_1=1$ cm, $r_2=5$ cm liegt eine Spannung von 60 kV (Effektivwert). Er ist mit Luft isoliert.
 - i. (3) Wie groß ist die elektrische Feldstärke an dem Innenleiter?
 - ii. (3) Bei welchem Verhältnis von r_2/r_1 ergibt sich die höchste Durchschlagspannung?
 - iii. (5) Der Zylinderkondensator soll als Durchführung verwendet werden. Hierzu werden vier koaxiale zylindrische Isolierkörper übereinander geschoben. Die Dielektrizitätskonstante der Isolierkörper ist verschieden. Wie sind die Dielektrizitätskonstanten der Zylinder 1, 2, 3 und 4 (von innen gezählt) zu wählen, damit die maximale Feldstärke an der Innenseite der koaxialen Zylinder jeweils gleich bleibt?
- d. (4) Wie können innere und äußere Vorentladungen durch Teilentladungsmessung unterschieden werden? (Skizze der Messanordnung und grafische Darstellung der Impulse relativ zur angelegten Hochspannung).
- 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) In einer Hochspannungsdurchführung soll eine zylindrische Schichtung zur Feldsteuerung angebracht werden (Innenradius R_1 , Außenradius R_2). Es soll ein Dielektrikum mit konstanter Dielektrizitätszahl ϵ_r verwendet werden. Wie muss die Schichtung ausgeführt werden, damit über den Radius die Feldstärke gleichmäßiger wird?