

Schriftliche Prüfung aus VO Energieübertragung und Hochspannungstechnik
am 02.03.2016

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

1. Asynchrongenerator als Einspeiser (33 Punkte)

Ein Asynchrongenerator soll über ein Kabel in ein 400V-Niederspannungs-Netz mit einer Kurzschlussleistung von 5 MVA ($c = 1,1$) einspeisen, der Winkel des Netzes beträgt 88° . Die Daten des Asynchrongenerators bzw. des Kabels sind folgend zusammengefasst:

Nennbetrieb: $S_N = 40 \text{ kVA}$ $\cos(\varphi_N) = 0,85$

Anlauf: $\frac{I_A}{I_N} = 5$ $\frac{R_M}{X_M} \Big|_{\text{Anlauf}} = 0,04$

$R'_L = 0,1 \frac{\Omega}{\text{km}}$ $X'_L = 0,2 \frac{\Omega}{\text{km}}$ $\ell_L = 600 \text{ m}$

- 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 φ des Asynchrongenerators 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 e. zu erhalten (die Netzwinkel bleiben unverändert, $c = 1$)?

2. 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.

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

Hinweis: Verwenden Sie für die folgenden Unterpunkte:

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

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

- j. (3) Berechnen Sie den **Strom** am **Ende** der Leitung.
- k. (6) Berechnen Sie die **Spannung** und **Strom** am **Anfang** der Leitung.
- l. (3) Berechnen Sie die **Leistung** am **Anfang** der Leitung.
- m. (3) Berechnen Sie die **Übertragungsverluste**.
- n. (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.

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

3. Fragen Hochspannungstechnik (34 Punkte)

- a. (3) Wie lauten die fünf Sicherheitsregeln der Hochspannungstechnik?
- b. An einem Zylinderkondensator mit den folgenden Abmessungen $r_1=1$ cm, $r_2=5$ cm liegt eine Spannung von 60 kV. 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?
- c. (4) Wie können innere und äußere Vorentladungen durch Teilentladungsmessung unterschieden werden? (Skizze der Messanordnung und grafische Darstellung der Impulse relativ zur angelegten Hochspannung).
- d. (4) Welche Durchschlagsprozesse gibt es in festen Isolierstoffen und in welchen zeitlichen Beanspruchungsbereichen entstehen diese?
- e. (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?
- f. (6) In einem Prüffeld soll die 50%-Stoßdurchschlagfestigkeit eines Isolators ermittelt werden. Wie kann dies durch Versuche mit Spannungssteigerung und Auswertung mit dem Wahrscheinlichkeitsnetz erfolgen (Skizze und Erläuterung)?