

**Schriftliche Prüfung aus VO Energieübertragung und Hochspannungstechnik  
am 24.06.2015**

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

**1. Asynchrongenerator als Einspeiser (33 Punkte)**

Ein Asynchrongenerator soll über ein Kabel in ein 400V-Niederspannungs-Netz mit einer Kurzschlussleistung von 3 MVA ( $c = 1,1$ ) einspeisen, der Winkel des Netzes beträgt  $87^\circ$ . Die Daten des Asynchrongenerators bzw. des Kabels sind folgend zusammengefasst:

Nennbetrieb:  $S_N = 25 \text{ kVA}$   $\cos(\varphi_N) = 0,85$

Anlauf:  $\frac{I_A}{I_N} = 4,5$   $\frac{R_M}{X_M} \Big|_{\text{Anlauf}} = 0,05$

$R'_L = 0,5 \frac{\Omega}{\text{km}}$   $X'_L = 0,8 \frac{\Omega}{\text{km}}$   $\ell_L = 300 \text{ m}$

- a. (8) Wie groß ist die **Kurzschlussleistung** und der **Netzwinkel** im Anschlusspunkt des Generators ( $c = 1$ )?
- b. (2) Der Asynchrongenerator wird im Nennpunkt betrieben. Ergänzen Sie folgende Tabelle, auf Basis des jeweiligen Zählpeilsystems das definitionsgemäß für die **schaltbedingte Spannungsänderung** bzw. die **stationäre Spannungsanhebung** verwendet wird:

Schaltbedingte Spannungsänderung			Stationäre Spannungsanhebung		
P (pos./neg.)	Q (pos./neg.)	$\varphi$ (pos./neg.)	P (pos./neg.)	Q (pos./neg.)	$\varphi$ (pos./neg.)
			pos.		

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. Kurzschlussstrom (33 Punkte)**

In einem 50Hz-Mittelspannungs-Netz ist von einem maximalen dreipoliger Kurzschlusswechselstrom von  $I''_{k3p} = 20 \text{ kA}$  auszugehen. Die Impedanz der gesamten Fehlerschleife ist hierbei  $R = 0,05 \Omega$ ,  $X = 0,44 \Omega$ .

Der Kurzschluss wird innerhalb von 100 ms abgeschaltet. Der Kurzschlusswechselstrom klingt innerhalb von einer Sekunde auf 50% seines Anfangswertes ab ( $I_{k3p} = 0,5 I''_{k3p}$ ).

Das VPE-Kabel, über das der Kurzschlussstrom fließt, hat einen Querschnitt von  $A = 35 \text{ mm}^2$ . Nehmen Sie für das VPE-Kabel mit Kupferleitern eine Bemessungs-Kurzzeitstromdichte von

$$S_{\text{thr}}(1s) = 176 \text{ A/mm}^2$$

an.

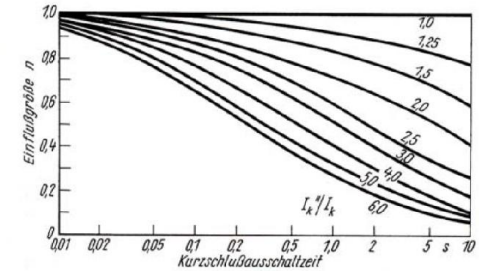
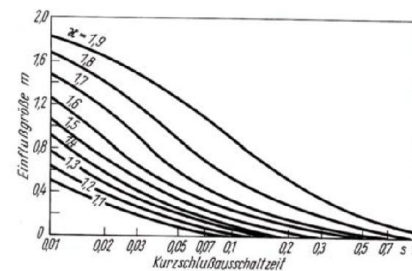
- a. (3) Bestimmen Sie den **Stoßfaktor**  $\kappa$ .

Hinweis:  $\kappa = 1 + e^{-tR/L}$

Der Stoßfaktor beschreibt den Zusammenhang zwischen dem maximalen Stoßkurzschlussstrom und dem Anfangskurzschlusswechselstrom

- b. (3) Wie groß sind die **Faktoren m, n**?

Entnehmen Sie die Werte den unteren Abbildungen UND zeichnen Sie in den Abbildungen ein, wo Sie die Werte abgelesen haben.



- c. (5) Wie groß ist der **thermische Kurzzeitstrom** (100 ms)?
- d. (5) Welche **thermische Stromdichte** (100 m) ergibt sich?
- e. (5) Würde das verwendete Kabel diesen Kurzschluss **ohne Schaden überstehen**?
- f. (6) Was wäre, wenn der Kurzschluss bereits nach **50 ms** abgeschaltet wird? Ist in diesem Fall das Kabel **thermisch überlastet**?
- g. (6) Wie groß muss der **Kabelquerschnitt** mindesten sein, damit das Kabel bei einer Abschaltzeit von 100 ms **nicht thermisch überlastet** wird?

Hinweis: Es wird angenommen, dass der maximale Kurzschlussstrom von der Änderung des Kabelquerschnitts unbeeinflusst bleibt.

### 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. (3) Was stellt der physikalische Volumeneffekt in festen Isolierstoffen dar (Skizze)?
- d. (5) Welche genormten Prüfspannungen werden für die Isolationskoordination verwendet, und welche davon werden bei Hochspannung und welche bei Höchstspannung bevorzugt eingesetzt und warum?
- e. (3) Beschreiben Sie Gleitentladungen an Isolieroberflächen. Bei welchen Isolieranordnungen sind diese besonders stark?
- 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) Eine Wechselspannungskaskade für 1,0 MV ist mit einer Gesamtkapazität von 400 pF belastet. Wie groß ist die Blindleistung, die von ihr aufgebracht werden muss?