

Schriftliche Prüfung aus VO Energieübertragung und Hochspannungstechnik
am 10.10.2017

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 3 MVA ($c = 1,1$) einspeisen, der Winkel des Netzes beträgt 87° . Die Daten des Asynchrongenerators bzw. des Kabels sind folgend zusammengefasst:

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

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

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

- (8) Wie groß ist die **Kurzschlussleistung** und der **Netzwinkel** im Anschlusspunkt des Generators ($c = 1$)?
- 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.
 - (1) Welche **Zählpfeilsysteme** werden definitionsgemäß zur Berechnung der schaltbedingten Spannungsänderung bzw. stationären Spannungsanhebung verwendet?
 - (1) Welches **Vorzeichen** haben P, Q und φ des Generators während des Hochlaufs im Verbraucherzählpfeilsystem bzw. während des Nennbetriebs im Erzeugerzählpfeilsystem?

Nachfolgende sollen die **näherungsweise Abschätzungen** verwendet werden:

- (6) Wie hoch ist die **schaltbedingte Spannungsänderung** im Moment des Zuschaltens des Generators? Ist diese **zulässig**?
- (3) Wie hoch ist die **stationäre Spannungsanhebung**? Ist diese zulässig?
- (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?
- (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)?
- (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 mit Nennspannung 20 kV ist von einem maximalen dreipoligen Kurzschlusswechselstrom von $I''_{k3p} = 27.03 \text{ kA}$ (@ $c = 1,1$) auszugehen. Die Impedanz der gesamten Fehlerschleife ist hierbei $R = 0,14 \Omega$, $X = 0,438 \Omega$.

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 $A = 50 \text{ mm}^2$. Nehmen Sie für das VPE-Kabel mit Kupferleitern eine Bemessungs-Kurzzeitstromdichte von

$S_{\text{thr}}(1s) = 144 \text{ A/mm}^2$ an.

- (3) Bestimmen Sie den **Stoßfaktor κ** .

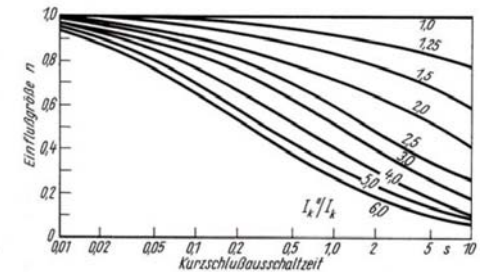
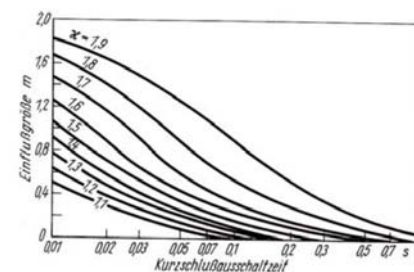
Hinweis: $\kappa = 1 + e^{-t \frac{R}{L}}$

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

- (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.

Hinweis: Der Faktor m kann auch den Wert 0 annehmen!



- (5) Wie groß ist der **thermische Kurzzeitstrom** (100 ms)?
- (5) Welche **thermische Stromdichte** (100 ms) ergibt sich?
- (5) Würde das verwendete Kabel diesen Kurzschluss **zerstörungsfrei überstehen**?
- (6) Was wäre, wenn der Kurzschluss bereits nach **30 ms** abgeschaltet wird? Ist in diesem Fall das Kabel **thermisch überlastet**?
- (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. (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%-Stoßdurchschlagsfestigkeit eines Isolators ermittelt werden. Wie kann dies durch Versuche mit Spannungssteigerung und Auswertung mit dem Wahrscheinlichkeitsnetz erfolgen (Skizze und Erläuterung)?