

**Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus
VO Energieübertragung und Hochspannungstechnik am 10.10.2017**

Hinweis: Bei den Berechnungen wurden alle Zwischenergebnisse in der technischen Notation¹ (Format ENG) dargestellt und auf drei Nachkommastellen gerundet. Für die weitere Rechnung wurde das gerundete Ergebnis verwendet.

Abhängig vom Rechenweg kann es aber dennoch zu leicht abweichenden Ergebnissen kommen!

1. Asynchrongenerator als Einspeiser (33 Punkte)

a. Wie groß ist die **Kurzschlussleistung** und der **Netzwinkel** im Anschlusspunkt des Generators ($c = 1$)?

$$\psi_{Z_{gesamt}} = 62,858^\circ$$

$$S_k^* = 476,849 \text{ kVA}$$

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. Welches **Zählpfeilsystem** wird definitionsgemäß zur Berechnung der schaltbedingten Spannungsänderung bzw. stationären Spannungsanhebung verwendet?

Schaltbedingte Spannungsänderung: Verbraucherzählpfeilsystem

Stationäre Spannungsanhebung: Erzeugerzählpfeilsystem

ii. Welches **Vorzeichen** haben P , Q und φ des Asynchrongenerators während des Hochlaufs im Verbraucherzählpfeilsystem bzw. während des Nennbetriebs im Erzeugerzählpfeilsystem?

Der motorisch anlaufende Asynchrongenerator stellt einen induktiven Verbraucher dar. Im VZS sind deshalb $P > 0$, $Q > 0$, $\varphi > 0$.

Im Nennbetrieb speist der Asynchrongenerator Wirkleistung ein und nimmt gleichzeitig Blindleistung auf. Im EZS sind deshalb $P > 0$, $Q < 0$, $\varphi < 0$.

c. Wie hoch ist die **schaltbedingte Spannungsänderung** im Moment des Zuschaltens des Generators? Ist diese **zulässig**?

$$d = 21,5\%$$

Die Spannungsänderung² von 21,5% liegt deutlich über der zulässigen Spannungsänderung von $d_{zul} = 6\%$ im Niederspannungsnetz. Das Hochlaufen des Generators am Netz aus dem Stillstand ist daher **nicht** zulässig.

¹ http://de.wikipedia.org/wiki/Wissenschaftliche_Notation

² Laut Norm wird die Spannungsabsenkung mit Hilfe der angegebenen Formeln und Vorzeichenfestlegungen (Verbraucherzählpfeilsystem) berechnet. Daher entspricht ein positiver Wert einer Absenkung der Spannung,

d. Wie hoch ist die **stationäre Spannungsanhebung**? Ist diese zulässig??

$$d = -0,4\%$$

Die Spannungsabsenkung³ von 0,4% liegt unter der zulässigen stationären Spannungsänderung von $d_{zul} = 3\%$ im Niederspannungsnetz und ist dementsprechend zulässig.

e. Durch einen Drehstromsteller kann der Anlaufstrom des Generators beschränkt werden. Welcher **Anlaufstrom** ist **maximal einzustellen**, damit die schaltbedingte Spannungsänderung innerhalb des zulässigen Bereichs bleibt?

$$I_{A,max} = 45,303 \text{ A}$$

f. 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)?

$$S_{kV} = 1,709 \text{ MVA}$$

g. Welche **Parameter** ($R'_{L,neu}$ und $X'_{L,neu}$) müsste das verstärkte Kabel aufweisen, um die Kurzschlussleistung gem. Punkt e. zu erhalten (die Netzwinkel bleiben unverändert)?

$$R'_L = 0,0132 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

$$X'_L = 0,082 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

2. Kurzschlussstrom (33 Punkte)

a. Bestimmen Sie den **Stoßfaktor** κ .

$$L = 1,394 \text{ mH}$$

$$\kappa = 1,366$$

b. Wie groß sind die **Faktoren** m , n ?

$$m \approx 0,1$$

$$n \approx 0,9$$

c. Wie groß ist der **thermische Kurzzeitstrom** (100 ms)?

$$I_{th} = 27,03 \text{ kA} \quad (0.1)$$

was sich auch mit den Erwartungen deckt: Generator beim Hochlaufen als Motor: Spannungsabsenkung, da er eine Last darstellt!

³ gem. TOR D2 zur Berechnung der relativen Spannungsänderung:

„Die Spannungsanhebung kann theoretisch auch negativ sein (Spannungsabsenkung), wenn bei Wirkleistungseinspeisung gleichzeitig eine entsprechend hohe (induktive) Blindleistung aus dem Netz bezogen wird (Blindleistungsmanagement).“

d. Welche **thermische Stromdichte** (100 ms) ergibt sich?

$$S_{th} = 541 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

e. Würde das verwendete Kabel diesen Kurzschluss **zerstörungsfrei überstehen**?

$$S_{th,zul} = 455 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

Das Kabel würde diesen Kurzschluss nicht zerstörungsfrei überstehen, da es für die Dauer des Kurzschlusses deutlich über der zulässigen Kurzeitstromdichte belastete wird.

f. Was wäre, wenn der Kurzschluss bereits nach **30 ms** abgeschaltet wird?
Ist in diesem Fall das Kabel **thermisch überlastet**?

$$m \approx 0,4$$

$$n \approx 0,95$$

$$S_{th} = 628 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{th,zul} = 831 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

Bei einer kürzeren Kurzschlussdauer würde das Kabel den Kurzschluss zerstörungsfrei überstehen, da bei der kürzeren Kurzschlussdauer das Kabel eine höhere zulässige Kurzeitstromdichte aufweist.

g. Wie groß muss der **Kabelquerschnitt** mindesten sein, damit das Kabel bei einer Abschaltzeit von 200 ms **nicht thermisch überlastet** wird?

$$A_{\min} = 59,359 \text{ mm}^2$$

3. Fragen Hochspannungstechnik

Siehe Skriptum