

**Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus
VO Energieübertragung und Hochspannungstechnik am 23.01.2017**

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

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

$$S_k^* = 374,137 \text{ kVA} \quad (1.1)$$

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

$$d = 40,21\% \quad (1.2)$$

Die Spannungsänderung² von 40,21% liegt deutlich über der zulässigen Spannungsänderung von $d_{\text{zul}} = 6\%$ im Niederspannungsnetz. Das Hochlaufen des Generators am Netz aus dem Stillstand ist daher **nicht** zulässig.

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

$$d = -7,446\% \quad (1.3)$$

Die Spannungsabsenkung³ von 7,446% liegt über der zulässigen stationären Spannungsänderung von $d_{\text{zul}} = 3\%$ im Niederspannungsnetz und ist dementsprechend nicht zulässig.

- d. 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?

$$\frac{I_A}{I_N} = 0.8206 \quad (1.4)$$

Der zulässige Anlaufstrom ist kleiner als der Nennstrom des Motors → somit nicht zulässig

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

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

- e. 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?

$$S_{kV} = 2,508 \text{MVA} \quad (1.5)$$

Es ergibt sich eine höhere Kurzschlussleistung als die vom Netz! Daher ohne Netzausbau NICHT möglich!

- f. Durch Kondensatoren wird die Blindleistung des Generators kompensiert. Wie groß muss der sich ergebende Leistungsfaktor $\cos(\varphi_{\text{Motor}+\text{Kondenstoren}})$ mindestens sein, damit die stationäre Spannungsanhebung im zulässigen Bereich bleibt?

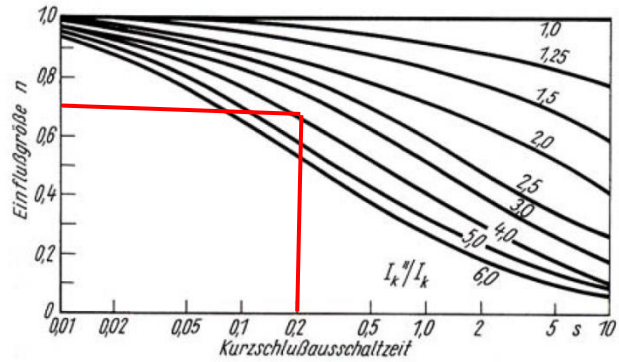
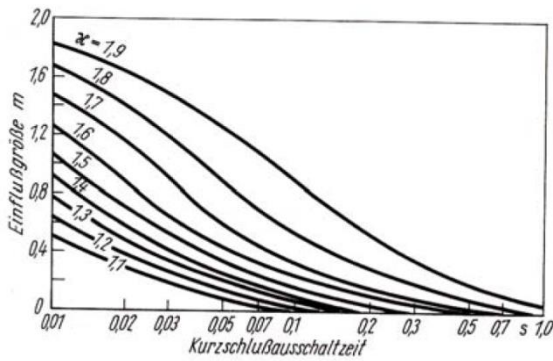
$$\cos(\psi - \varphi_N) = 0,685 \quad (1.6)$$

2. Kurzschlussstrom (33 Punkte)

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

$$L = 1,2 \quad (2.1)$$

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



Die Faktoren m und n ergeben sich aus den Schnittpunkten zwischen der Kurzschlusszeit und dem Stoßfaktor (m) und zwischen der Kurzschlusszeit und dem Verhältnis des Abklingens vom Wechselstromglied (n).

$$m \approx 0$$

$$n \approx 0,7$$

c. Wie groß ist der **thermische Kurzzeitstrom (200 ms)**?

$$I_{th} = 19,541 \text{ kA} \quad (2.2)$$

d. Welche **thermische Stromdichte (200 ms)** ergibt sich?

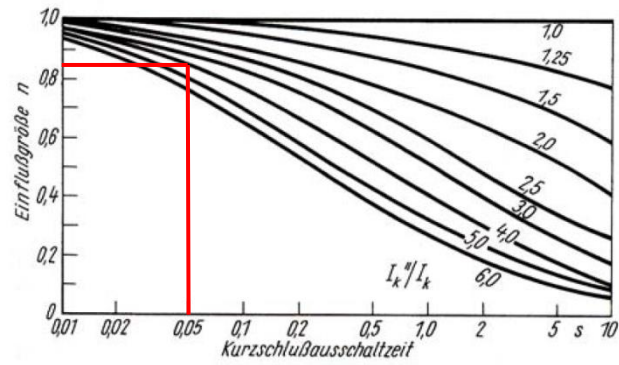
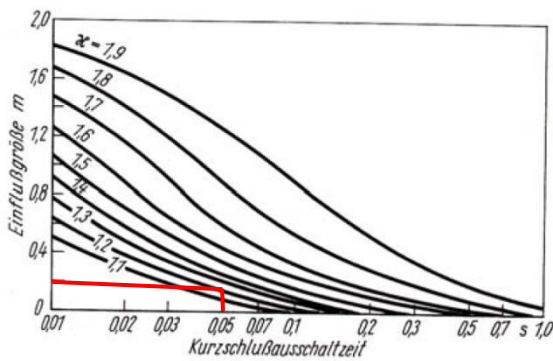
$$S_{th} = 558,314 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \quad (2.3)$$

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

$$S_{th,zul} = 393,548 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \quad (2.4)$$

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

f. Was wäre, wenn der Kurzschluss bereits nach 50 ms abgeschaltet wird?
Ist in diesem Fall das Kabel **thermisch überlastet**?



$m \approx 0,2$
 $n \approx 0,85$

$$S_{th,zul} = 787,096 \frac{A}{mm^2} \quad (2.5)$$

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

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

$$A_{min} = 49,653 \text{ mm}^2 \quad (2.6)$$

3. Fragen Hochspannungstechnik

Siehe Skriptum