

**Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus
VO Energieübertragung und Hochspannungstechnik am 02.03.2016**

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 ($c = 1$)?

$$R_{gesamt} = 68,467^\circ \quad (2.1)$$

$$S_k^* = 958,084 \text{ kVA} \quad (2.2)$$

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**?

$$d = 19,7\% \quad (2.3)$$

Die Spannungsänderung² von 19,7% 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??

$$d = -0,743\% \quad (2.4)$$

Die Spannungsabsenkung³ von 0,743% 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?

$$I_{A,max} = 87,873 \text{ A} \quad (2.5)$$

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)?

$$d = 3,147 \text{ MVA} \quad (2.6)$$

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)?

$$\begin{aligned} R'_{L} &= 0,0292 \frac{\Omega}{\text{km}} \\ X'_{L} &= 0,0203 \frac{\Omega}{\text{km}} \end{aligned} \quad (2.7)$$

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).“

2. 380-kV Einfachleitunga. Wie groß ist der **Wellenwiderstand** der Leitung?

$$\underline{Z}_W = (207,333 - j \cdot 10,495) \Omega \quad (2.8)$$

b. Wie groß ist die **natürliche Leistung** der Leitung?

$$P_{nat} = 695,575 \text{ MW} \quad (2.9)$$

c. Berechnen den **Strom** am **Ende** der Leitung.

$$\underline{I}_{E(1)} = (1055,48 + j \cdot 53,426) \text{ A} \quad (2.10)$$

$$\underline{S}_E = (694,7 - j \cdot 35,2) \text{ MVA} \quad (2.11)$$

d. Berechnen Sie die **Spannung** und **Strom** am **Anfang** der Leitung.

Aus den Leitungsgleichungen folgt:

$$\begin{pmatrix} \underline{U}_{A(1)} \\ \underline{Z}_W \underline{I}_{A(1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 209,13 + j \cdot 79,84 \\ 209,13 + j \cdot 79,84 \end{pmatrix} \text{ kV} \quad (2.12)$$

$$\underline{I}_{A(1)} = (986,65 + j \cdot 435,01) \text{ A} \quad (2.13)$$

e. Berechnen Sie die **Leistung** am **Anfang** der Leitung.

$$\underline{S}_A = (723,21 - j \cdot 36,5) \text{ MVA} \quad (2.14)$$

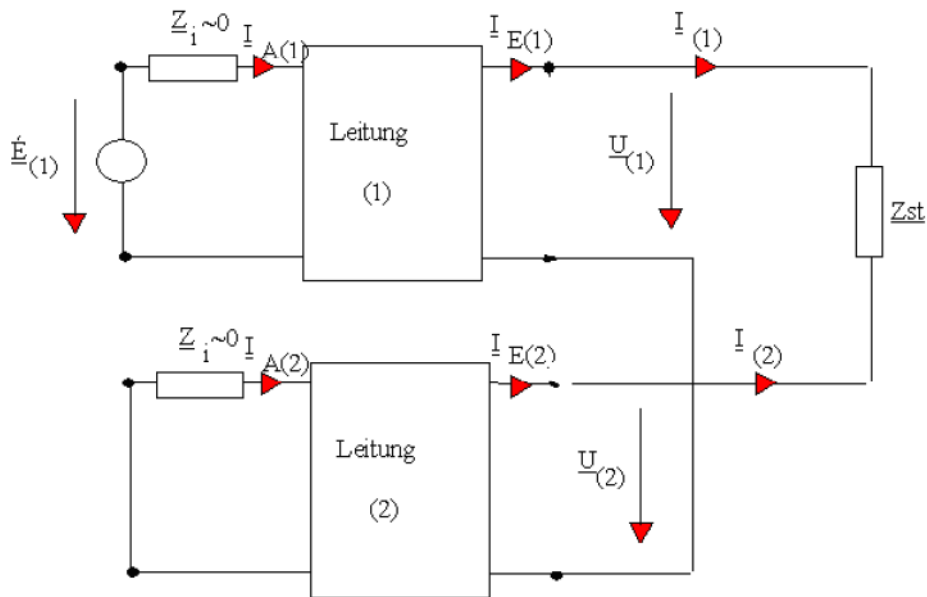
f. Berechnen Sie die **Übertragungsverluste**.

$$P_V = 28,51 \text{ MW} \quad (2.15)$$

g. Berechnen Sie den **Wirkungsgrad** der Leistungsübertragung.

$$\eta = 96,05 \% \quad (2.16)$$

h. Geben Sie die Ersatzschaltung des stationären Fehlzustandes in Symmetrischen Komponenten an und beschriften Sie alle Elemente der Ersatzschaltung (Ströme, Spannungen, Impedanzen)



i. Geben Sie allgemein die Bestimmungsgleichungen und die Fehlerbedingungen für die Berechnung des stationären Zustands an.

$$\begin{pmatrix} \underline{U}_{A(1)} \\ \underline{Z}_W \underline{I}_{A(1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cosh \gamma l & \sinh \gamma l \\ \sinh \gamma l & \cosh \gamma l \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \underline{U}_{E(1)} \\ \underline{Z}_W \underline{I}_{E(1)} \end{pmatrix} \quad (2.17)$$

$$\begin{pmatrix} 0 \\ \underline{Z}_W \underline{I}_{A(2)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cosh \gamma l & \sinh \gamma l \\ \sinh \gamma l & \cosh \gamma l \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \underline{U}_{E(2)} \\ \underline{Z}_W \underline{I}_{E(2)} \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_{E(0)} &= 0 \\ \underline{I}_{E(1)} + \underline{I}_{E(2)} &= 0 \\ \underline{U}_{E(1)} - \underline{U}_{E(2)} &= \underline{Z}_{st} \underline{I}_{E(1)} \end{aligned} \quad (2.18)$$

3. Fragen Hochspannungstechnik

Siehe Skriptum