

**Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus  
VO Energieübertragung und Hochspannungstechnik am 11.11.2014**

Hinweis: Bei den Berechnungen wurden alle Zwischenergebnisse in der technischen Notation<sup>1</sup> (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. Symmetrischer und unsymmetrischer Anschluss von Lasten**

a. Der Ofen wird als symmetrischer Drehstromabnehmer angeschlossen. Ermitteln Sie die **Scheinleistung  $S_1$** , die **Blindleistung  $Q_1$**  und den **Leistungsfaktor  $\lambda_1$** .

$$S_1 = 171,891 \text{ kVA} \quad (1.1)$$

$$\lambda_1 = \cos(\varphi) = 0,989 \quad (1.2)$$

$$Q_1 = 25,427 \text{ kVar} \quad (1.3)$$

b. Der Ofen wird zwischen den Leitern s und t des Drehstromsystems angeschlossen. Ermitteln Sie die **Scheinleistung  $S_2$** , den **Leistungsfaktor  $\lambda_2$**  und die **Blindleistung  $Q_2$** .

$$S_2 = 243,09 \text{ kW} \quad (1.4)$$

$$\lambda_2 = 0,699 \quad (1.5)$$

$$Q_2 = 173,761 \text{ kVar} \quad (1.6)$$

c. Der Ofen wird zwischen dem Leiter r und dem Neutralleiter n des Drehstromsystems angeschlossen. Ermitteln Sie die **Scheinleistung  $S_3$** , den **Leistungsfaktor  $\lambda_3$**  und die **Blindleistung  $Q_3$** .

$$S_3 = 297,724 \text{ kW} \quad (1.7)$$

$$\lambda_2 = 0,571 \quad (1.8)$$

$$Q_3 = 244,416 \text{ kVar} \quad (1.9)$$

d. Wählen Sie die **wirtschaftlichste Variante** aus und **begründen** Sie diese.

Der dreiphasige Anschluss ist am günstigsten, da in diesem Fall die geringste Blindleistung bezogen wird und damit die Leitungsströme am kleinsten sind (somit auch die Verluste geringer).

<sup>1</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Wissenschaftliche\\_Notation](http://de.wikipedia.org/wiki/Wissenschaftliche_Notation)

e. Welchen **Einfluss** hat ein Netztransformator Dy auf die Leistungsverhältnisse bei der Anschlussvariante **gem. unterer Abbildung**, wenn die Leistungsmessung auf der Mittelspannungsseite (Dreieck-Wicklung) durchgeführt wird?

Die einphasige Belastung auf der Unterspannungsseite wirkt auf der Oberspannungsseite wie eine zweiphasige Belastung zwischen R und S. Der Nullstrom wird auf der OS nicht erfasst, da er dort nicht auftritt. Nur Mit- und Gegensystem werden übertragen. ( $I_{(1)} = -I_{(2)}$ ). Dadurch verringert sich die Anschluss(schein-)leistung und Blindleistungsbedarf des Ofens.

f. Könnte das **Niederspannungsnetz** nach Punkt c. **kompensiert** betrieben werden? Könnte das **Mittelspannungsnetz** nach Punkt e. **kompensiert** betrieben werden? Begründen Sie dies!

Wenn einphasige Lasten im Niederspannungsnetz angeschlossen werden sollen, muss mindestens ein Sternpunkt geerdet sein. Dann können aber keine Kompensationsspulen mehr in den Sternpunkt geschaltet werden → NEIN.

Weil die einphasigen Lasten im Niederspannungsnetz durch die Schaltgruppe Dy des Transformators in zweiphasige Lasten transferiert werden, muss im Mittelspannungsnetz der Sternpunkt nicht geerdet werden. Es kann deswegen ggf. kompensiert werden → JA.

## 2. Asynchrongenerator als Einspeiser

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

$$\psi_{\text{Netz}} = 68,467^\circ \quad (2.1)$$

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

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

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

Die Spannungsänderung<sup>2</sup> von 19,7% 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??

Die Vorzeichenfestlegung entspricht hier dem Erzeugerzählpeilsystem. Asynchrongeneratoren beziehen (induktive) Blindleistung aus dem Netz. Daraus folgt:  $P > 0$  und  $Q < 0$  und damit

<sup>2</sup> 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!

$-90^\circ \leq \varphi_E \leq 0$ . Basierend darauf ergibt sich folgender Winkel zwischen Spannung und Strom der max. Einspeiseleistung:

$$\varphi_N = -31,788^\circ \quad (2.4)$$

$$d = -0,00743 = -0,743\% \quad (2.5)$$

Die Spannungsabsenkung<sup>3</sup> von 0,743% liegt unter der zulässigen stationären Spannungsänderung von  $d_{zul} = 3\%$  im Niederspannungsnetz und ist dementsprechend 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?

$$\frac{I_A}{I_N} = 1,522 \quad (2.6)$$

$$I_{A,max} = 87,873 \text{ A} \quad (2.7)$$

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)?

$$S_{kV} = 3,147 \text{ MVA} \quad (2.8)$$

f. 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)?

$$R'_L = 0,0292 \frac{\Omega}{\text{km}} \quad (2.9)$$

$$X'_L = 0,0203 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

### 3. Fragen Hochspannungstechnik

Siehe Skriptum

<sup>3</sup> 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).“