

**Aufgabe 2:****Synchronmaschine**

Ein Synchrongenerator speist in ein Mittelspannungsnetz ein:

Generator:

Netz:

Leitung:

$$P_N = 4 \text{ MW}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$L_K' = 2 \text{ mH / km}$$

$$n_N = 100 \text{ min}^{-1}$$

$$x_d = 1,25$$

$$U_{N,\Delta} = 20 \text{ kV (Klemmenspannung)}$$

$$\cos \varphi_N = 0,8 \text{ (übererregt)}$$

Fall 1: Der Generator wird zunächst netznah betrieben.

- Bestimmen Sie die Polpaarzahl  $p$  des Generators. In welcher Bauform wird der Generator ausgeführt?
- Wie groß sind synchrone Reaktanz  $X_d$  und Strangstrom  $I_s$  im Nennbetrieb?

Fall 2: Derselbe Generator muss nun entfernt vom nächstliegenden Netzknoten aufgestellt und über eine Stichleitung angeschlossen werden. Es werde nur die längenbezogene Induktivität  $L_K'$  der Leitung berücksichtigt. Die Einspeiseleistung (Betrag und Leistungsfaktor) des Systems am Netzknoten soll unverändert gegenüber Fall 1 bleiben.

- Für die Reaktanz  $X_V$  der Verbindungsleitung muss die Bedingung  $X_V \ll X_d$  erfüllt sein. Zur Veranschaulichung soll hier angenommen werden, dass  $X_V \leq 0,1 \cdot X_d$  sein muss. Welche Länge  $l_{\max}$  darf die Stichleitung demnach maximal haben?
- Zeichnen Sie das vollständige Zeigerdiagramm (Maßstab 2 kV/cm bzw. 20 A/cm) für Generator und Leitung bei einer Leitungslänge von  $l_1 = 15 \text{ km}$ .
- Welche Polradspannung ist nötig, um diesen Betriebszustand zu erreichen und wie hoch ist nun die Klemmenspannung des Generators?
- Geben Sie den zugehörigen Polradwinkel an.

### Musterlösung:

$$\text{a) } n_N = \frac{n_d}{p}, \quad n_d = 3000 \text{ min}^{-1}, \quad n_N = 100 \text{ min}^{-1}$$
$$\Rightarrow p = \frac{n_d}{n_N} = \frac{3000}{100} = \underline{\underline{30}}$$

Die Bauform ist Schenkelpolläufer.

$$\text{b) } P_N = S_N \cdot \cos \varphi \quad \Rightarrow \quad S_N = \frac{4 \text{ MW}}{0,8} = \underline{\underline{5 \text{ MVA}}}$$

$$S_N = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_N \quad \Rightarrow \quad I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{5 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 20 \text{ kV}} = \underline{\underline{144,34 \text{ A} = I_S}}$$

$$x_d = \frac{I_N}{U_{SN}} \cdot X_d = \frac{144,34 \text{ A}}{20 \text{ kV} / \sqrt{3}} \cdot X_d \quad \Rightarrow \quad X_d = 1,25 \cdot \frac{20 \text{ kV}}{250 \text{ A}} = \underline{\underline{100 \Omega}}$$

c) Die Einspeiseleistung am Netzknoten ist:  $S_{\text{Knoten}} = 5 \text{ MVA}$ ,  $\cos \varphi_{\text{Knoten}} = 0,8$

$$X_{V \max} = 0,1 \cdot X_d = 10 \Omega$$

$$X_V = l \cdot \omega L_K' \quad \Rightarrow \quad l_{\max} = \frac{X_{V, \max}}{\omega \cdot L_K'} = \frac{10 \Omega}{2 \cdot 10^{-3} \text{ s/km} \cdot 100\pi} = \underline{\underline{15,9 \text{ km}}}$$

d) Wegen konstanter Netzspannung und gleicher Einspeiseleistung ist:

$$I_{S, \text{Fall2}} = I_{S, \text{Fall1}} = 144,34 \text{ A} \cdot e^{-j \arccos 0,8} = 144,34 \text{ A} \cdot e^{-j36,9^\circ} \quad (\text{übererregt, EZS})$$

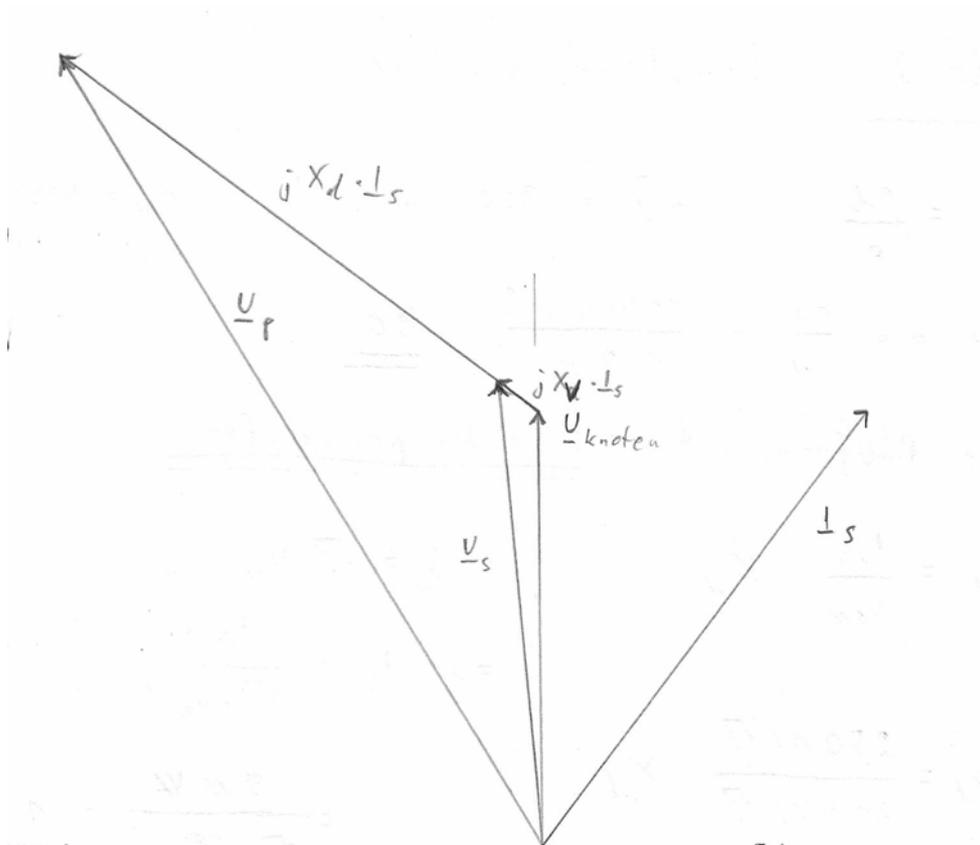
$$U_{\text{Knoten}} = U_{S, \text{Fall1}} = 20 \text{ kV} / \sqrt{3} = 11,55 \text{ kV}$$

$$X_V = 10 \Omega \cdot \frac{15}{15,9} = 9,43 \Omega, \quad jX_V \cdot \underline{I}_S = 1361,7 \text{ V} \cdot e^{j53^\circ}$$

$$jX_d \cdot \underline{I}_S = 14,434 \text{ kV} \cdot e^{j53^\circ}$$

$$144 \text{ A} \cong 7,2 \text{ cm}, \quad 11,55 \text{ kV} \cong 5,8 \text{ cm}, \quad 1361 \text{ V} \cong 0,7 \text{ cm}, \quad 14,434 \text{ kV} \cong 7,2 \text{ cm}$$

e) zeichnerisch ermittelt:  $|U_p| = 12,3 \text{ cm} \cong \underline{\underline{24,6 \text{ kV}}}$ ,  $|U_s| = 6,2 \text{ cm} \cong \underline{\underline{12,4 \text{ kV}}}$



rechnerischer Weg:

$$\underline{U}_S = U_{Knoten} + jX_V \cdot \underline{I}_S = 11,55 \text{ kV} + j9,43 \Omega \cdot 144,34 \text{ A} \cdot e^{-j37^\circ}$$

$$= 11,55 \text{ kV} + 1,361 \text{ kV} \cdot e^{j53^\circ} = (11,55 + 0,82 + j1,09) \text{ kV}$$

$$= (12,37 + j1,09) \text{ kV} = \underline{\underline{12,42 \text{ kV} \cdot e^{j5,0^\circ}}}$$

$$\underline{U}_P = U_{Knoten} + j(X_d + X_V) \cdot \underline{I}_S = 11,55 \text{ kV} + j(109,43 \Omega) \cdot 144,34 \text{ A} \cdot e^{-j37^\circ}$$

$$= 11,55 \text{ kV} + 15,795 \text{ kV} \cdot e^{j53^\circ} = (11,55 + 9,51 + j12,61) \text{ kV}$$

$$= (21,06 + j12,61) \text{ kV} = \underline{\underline{24,55 \text{ kV} \cdot e^{j31^\circ}}}$$

f) rechnerisch:  $\vartheta_V = 5^\circ$  ,  $\underline{\underline{\vartheta_S = 31^\circ - 5^\circ = 26^\circ}}$

zeichnerisch:  $\vartheta_S + \vartheta_V = 30^\circ$  ,  $\underline{\underline{\vartheta_S = 25,5^\circ}}$