

**Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus
VO Energieübertragung und Hochspannungstechnik am 08.03.2017**

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. 380-kV Einfachleitung (33 Punkte)

a. Wie groß ist der **Wellenwiderstand** der Leitung?

$$\underline{Z}_W = (223,981 - j \cdot 12,435) \Omega \quad (0.1)$$

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

$$P_{nat} = 643,706 \text{ MW} \quad (0.2)$$

c. Berechnen den Strom am Ende der Leitung.

$$\underline{I}_{E(1)} = 1095,614 \cdot e^{-j \cdot 33,69^\circ} \text{ A} \quad (0.3)$$

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

Aus den Leitungsgleichungen folgt:

$$\begin{pmatrix} \underline{U}_{A(1)} \\ \underline{I}_{A(1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (266,057 + j \cdot 83,035) \text{ kV} \\ (829,374 - j \cdot 120,449) \text{ A} \end{pmatrix} \quad (0.4)$$

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

$$\underline{S}_A = (631,977 + j \cdot 302,740) \text{ MVA} \quad (0.5)$$

f. Berechnen Sie die **Übertragungsverluste**.

$$P_{verluste} = 31,977 \text{ MW} \quad (0.6)$$

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

$$\eta = 94,94\% \quad (0.7)$$

h. Berechnen Sie den **Strom** am **Ende** der Leitung.

$$\underline{I}_{E(1)} = (976,506 + j \cdot 54,214) \text{ A} \quad (0.8)$$

- i. Wie hoch sind die Übertragungsverluste, wenn der **Wirkungsgrad** der Leistungsübertragung 96% beträgt?

$$P_{\text{verluste}} = 26,821 \text{ MW} \quad (0.9)$$

2. Netzeinspeisung

- a. Wie groß sind im Netzknoten C (i) die Netzimpedanz, (ii) der Netzwinkel und (iii) die Netzkurschlussleistung

$$\begin{aligned} R_{\text{gesamt}} &= 0,056 \, \Omega \\ X_{\text{gesamt}} &= 0,12 \, \Omega \\ Z_{\text{gesamt}} &= 0,132 \, \Omega \\ \psi_{Z_{\text{gesamt}}} &= \psi_{\text{Netz}} = 64,9847^\circ \end{aligned} \quad (0.9)$$

$$S_k^* = 1,208 \text{ MVA} \quad (0.9)$$

- b. Bestimmen Sie die schaltbedingte Spannungsänderung im Netzknoten C bei Einschalten des Motors (ASM). (Es kann auch die Näherungsformel verwendet werden).

$$\Delta S_A = \sqrt{3} \cdot I_A \cdot U_N \quad \Delta S_A := I_A \cdot I_N \cdot S_M \quad \Delta S_A = 0.045 \text{ MW}$$

$$\Delta S_{APr} := \Delta S_A$$

$$\varphi_A = \arctan\left(\frac{X_M}{R_M}\right) \quad \varphi_A := \text{atan}\left(\frac{1}{R \cdot X \cdot M}\right) \quad \varphi_A = 87.138 \text{ deg}$$

$$\varphi_A = 1.521 \text{ rad}$$

$$\varphi_{APr} := \varphi_A$$

$$d = \frac{\Delta S_A}{S_{KC}} \cdot \cos(\varphi_{Ges} - \varphi_A) \quad d := \frac{\Delta S_{APr}}{S_{KCPr}} \cdot \cos(\varphi_{GesPr} - \varphi_{APr})$$

$$d = 0.0345$$

$$d_{Pr} := d$$

c. Die 0.4kV-Freileitung wird verstärkt. Dadurch reduzieren sich die Beiträge der Impedanzbeläge (sowohl R als auch X) zwischen dem Netzknoten B und C auf die Hälfte. Wie groß ist nun die schaltbedingte Spannungsänderung im Netzknoten C?

$$\begin{aligned}
 R_{Lneu} &:= R_L' \cdot \frac{1}{2} \cdot l_{BC} & X_{Lneu} &:= R_L' \cdot \frac{1}{2} \cdot l_{BC} & R_{Lneu} &= 0.02 \, \Omega & X_{Lneu} &= 0.02 \, \Omega \\
 R_{LneuPr} &:= R_{Lneu} & X_{LneuPr} &:= X_{Lneu} \\
 R_{Gesneu} &:= R_{NPr} + R_{TPr} + R_{LneuPr} & R_{Gesneu} &= 0.036 \, \Omega \\
 R_{GesneuPr} &:= R_{Gesneu} \\
 X_{Gesneu} &:= X_{NPr} + X_{TPr} + X_{LneuPr} & X_{Gesneu} &= 0.1 \, \Omega \\
 X_{GesneuPr} &:= X_{Gesneu} \\
 Z_{Gesneu} &:= \sqrt{R_{GesneuPr}^2 + X_{GesneuPr}^2} & Z_{Gesneu} &= 0.106 \, \Omega \\
 Z_{GesneuPr} &:= Z_{Gesneu} \\
 \varphi_{Gesneu} &:= \operatorname{atan} \left(\frac{X_{GesneuPr}}{R_{GesneuPr}} \right) & \varphi_{Gesneu} &= 70.202 \, \text{deg} \\
 \varphi_{GesneuPr} &:= \varphi_{Gesneu} \\
 S_{KCneu} &:= \frac{U_{N400}^2}{\sqrt{R_{GesneuPr}^2 + X_{GesneuPr}^2}} & \varphi_{Gesneu} &= 1.225 \, \text{rad} \\
 \varphi_{GesneuPr} &:= \varphi_{Gesneu} \\
 S_{KC} &= \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_{K3}'' & S_{KCneu} &= 1.505 \, \text{MW} \\
 S_{KCneuPr} &:= S_{KCneu} \\
 d &= \frac{\Delta S_A}{S_{KC}} \cdot \cos(\varphi_{Ges} - \varphi_A) & d &:= \frac{\Delta S_{APr}}{S_{KCneuPr}} \cdot \cos(\varphi_{GesneuPr} - \varphi_{APr}) & d &= 0.0286 \\
 d_{Pr} &:= d
 \end{aligned}$$

3. Fragen Hochspannungstechnik

Siehe Skriptum