

Schriftliche Prüfung aus Energieversorgung, am 23.07.2012

Name/Vorname: _____ / _____ Matr.-Nr./Knz.: _____ / _____

1 Betriebsparameter einer 220 kV-Leitung (24 Punkte)

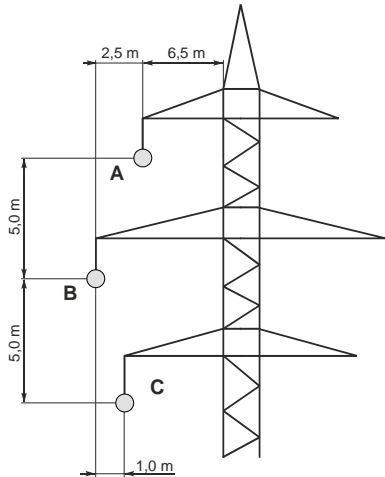


Abbildung nicht maßstäblich!

Für eine 220 kV-Leitung in einem 50 Hz Netz mit **2er-Bündeln** und einem Tonnenmastbild wie in der nebenstehenden Abbildung sollen verschiedene Betriebsparameter ermittelt werden. Die Leitung wird über ihre Länge **verdrillt** und damit symmetriert.

Weitere Daten der Leitung:

- Querschnitt **Einzelleiter**: 338 mm²
- Leiterabstand a im Bündel: 40 cm
- Anzahl Leiter im Bündel: 2
- Länge der Leitung: 127 km
- Gleichstromwiderstand (**Einzelleiter**):
R'_{Einzelleiter} = 0,0945 Ω/km

- a. (8) Wie groß ist die **längenbezogene symmetrische Betriebsinduktivität** der Leitung?
Hinweis: $r_T = \frac{a}{2 \cdot \sin(\pi/n)}$
- b. (3) Wie groß ist die **komplexe Ausbreitungskonstante $\underline{\gamma}$** unter der zusätzlichen Annahme, dass $C' = 12 \frac{nF}{km}$ und $G' = 0 \frac{S}{km}$? Verwenden Sie die Näherung für die Dämpfungs- und Phasenkonstante ($R' \ll \omega L', G' \ll \omega C'$).
- c. (4) Die **Leitung sei mit ihrem Wellenwiderstand abgeschlossen** ($Z_2 = Z_w$) und habe eine Ausbreitungskonstante $\underline{\gamma}$ von $2 \cdot 10^{-4} \frac{1}{km} + j \cdot 10^{-3} \frac{rad}{km}$. Welcher **Spannungsbetrag** stellt sich **am Ende der Leitung** ein, wenn sie am Beginn mit Nennspannung betrieben wird?
Hinweis: Verwenden Sie die Leitungsgleichung und vereinfachen Sie diese...
- d. (3) Leiten Sie für die **leerlaufende Leitung** ($Z_2 = 0$) **allgemein** die Abhängigkeit der Spannung am Ende der Leitung von deren Länge und der Spannung am Beginn der Leitung $\underline{U}_2 = f(\underline{U}_1, \text{Länge})$ her.
- e. (6) Wie groß ist der **Wellenwiderstand** und die **natürliche Leistung** der Leitung, wenn sie als **verlustlose Leitung** betrachtet wird ($R' = 0 \Omega/km, G' = 0 S/km$)?

2 Wirtschaftlichkeitsrechnung (24 Punkte)

Für **Windkraft** soll ein **Einspeisetarif** von **9,2 ct/kWh** angenommen werden. Diese Förderung wird 20 Jahre lange bezahlt. Die Investitionskosten betragen **800 €/kW**. Die Betriebskosten der Windkraftanlagen sollen hier nicht berücksichtigt werden. Verwenden Sie einen **Kalkulationszinssatz** von **7 %/a**.

- a. (3) Berechnen Sie den **Annuitätenfaktor** für den Förderzeitraum.
- b. (3) Wie hoch muss die **Volllaststundenzahl** des Windstandortes mindestens sein, damit die Windkraftanlage über den Förderzeitraum abgeschrieben wird.

An guten Standorten wird **Windkraft** nur in den **ersten fünf Jahren** mit **9,2 ct/kWh** gefördert. Ab dem sechsten bis in das 20. Jahr wird die Grundvergütung von **5,02 ct/kWh** bezahlt. Die Investitionskosten betragen **800 €/kW**. Die Betriebskosten der Windkraftanlagen sollen hier nicht berücksichtigt werden. Verwenden Sie einen **Kalkulationszinssatz** von **7 %/a**.

- c. (2) Berechnen Sie den **Abzinsungsfaktor** (Barwertfaktor) für den Zeitraum der **ersten fünf Jahre**.
- d. (2) Berechnen Sie den **Abzinsungsfaktor** (Barwertfaktor) für den Zeitraum des **6. bis 20. Jahres**.
- e. (2) Wie hoch sind die bezogenen jährlichen Erträge der Anlage in den **ersten fünf Jahren**?
Hinweis: Beziehen Sie den Ertrag auf das Produkt aus installierter Leistung und Volllaststundenzahl
- f. (2) Wie hoch sind die bezogenen jährlichen Erträge der Anlage für den Zeitraum des **6. bis 20. Jahres**?
- g. (5) Wie hoch ist der bezogene **abgezinst Gesamtertrag** (Barwert) über den Zeitraum von **20 Jahren**?
- h. (5) Wie hoch muss nun die **Volllaststundenzahl** des Windstandortes sein, damit diese Windkraftanlage ebenfalls über den gesamten Förderzeitraum den angegebenen Kalkulationszinssatz erzielt?

3 Fünf Sicherheitsregeln (4 Punkte)

Bringen Sie die fünf Sicherheitsregeln in die richtige Reihenfolge:

- ___ Erden und kurzschließen
- ___ Spannungsfreiheit allpolig feststellen
- ___ Gegen Wiedereinschalten sichern
- ___ Benachbarte, unter Spannung stehende Teile abdecken oder abschränken
- ___ Freischalten (d.h. allpoliges Trennen einer elektrischen Anlage von spannungsführenden Teilen)

4 Drehstromkomponentensystem (24 Punkte)

Ein Industrienetz wird von einem Drehstromgenerator mit **346 V Nennspannung** versorgt. Dieser weist aufgrund von Windungsschlüssen eine Unsymmetrie der Phasenspannungen auf. Die Spannungen in den Phasen b und c haben nur 70% des Wertes der Phase a. Die Phasenwinkel zwischen den Spannungen sind genau 120° .

An den Generator ist u.a. ein symmetrischer Drehstromverbraucher in Sternschaltung angeschlossen (siehe Abbildung) mit folgenden Typenschild:

Asynchronmaschine	
Nennfrequenz f_N	50 Hz
Nennspannung $U_N \Delta / Y$	230 / 400 V
Scheinleistung S_N (Klemme)	10,25 kVA
Leistungsfaktor $\cos \varphi$	0,85

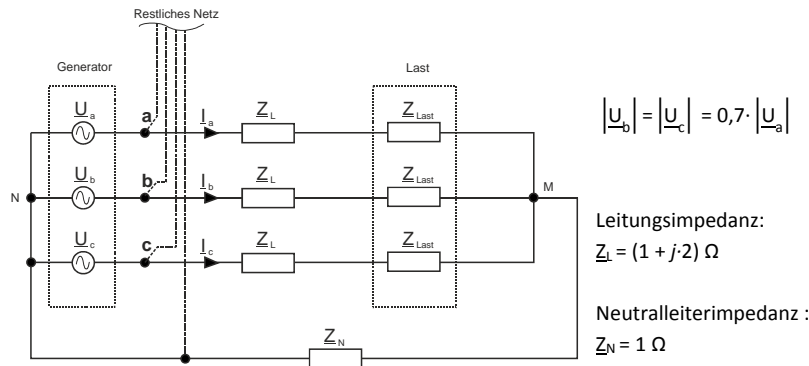
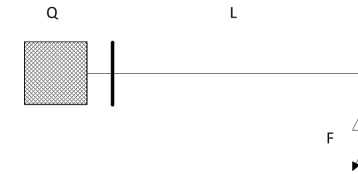


Abbildung: Netzabschnitt für die Aufgabe

- Berechnen Sie die komplexe **Impedanz** Z_{Last} des Drehstromverbrauchers entsprechend der oben dargestellten Ersatzschaltung für Nennbedingungen.
- Hinweis:* Rechnen Sie nun mit $Z_{Last} = (25 + j20) \Omega$ weiter.
(4) Ermitteln Sie für das Drehstromsystem entsprechend der obigen Schaltung **Null-, Mit- und Gegenimpedanz** ($Z_{(0)}, Z_{(1)}, Z_{(2)}$) unter Vernachlässigung des restlichen Netzes.
- Berechnen Sie die **symmetrischen Spannungskomponenten** $\underline{U}_{(0)}, \underline{U}_{(1)}, \underline{U}_{(2)}$.
- Hinweis:* Rechnen Sie nun mit $|Z_{(0)}| = 36 \Omega, |Z_{(1)}| = |Z_{(2)}| = 34 \Omega$
(4) Berechnen Sie die **Beträge der symmetrischen Stromkomponenten** $\underline{I}_{(0)}, \underline{I}_{(1)}, \underline{I}_{(2)}$.
- Hinweis:* Rechnen Sie auch hier mit den in Punkt d. angegebenen Impedanzen.
(4) Wie groß wären die **Beträge der Phasenströme bei einer symmetrischen Spannung** des Generators?

5 Dreipoliger Kurzschluss (24 Punkte)



Die **Netzeinspeisung** (50Hz) weist folgende Kenndaten auf:

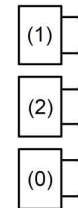
Nennspannung	U_{nQ}	30 kV
Kurzschlussleistung	S_{kQ}''	100 MVA
Sicherheitsfaktor	c	1,1
Resistanz-Impedanz-Verhältnis	$R_Q / Z_Q $	0,4

Die **Leitung** weist folgende Kenndaten auf:

Widerstandsbelag	R'	0,20 Ω/km
Induktivitätsbelag	L'	0,75 mH/km
Kapazitätsbelag	C'	10 nF/km
Länge	l	40 km

Am Ende der Leitung ereignet sich ein **3-poliger Kurzschluss ohne Erdberührung**.

- Berechnen Sie die **Netzimpedanz** (Resistanz und Reaktanz) bezogen auf die Kurzschlussseite (Leitung).
- Berechnen Sie die **Leitungslängsimpedanz** (Resistanz und Reaktanz) bezogen auf die Kurzschlussseite (Leitung).
- Zeichnen Sie die korrekte **Verschaltung der Komponentensysteme** am Kurzschlussort für den angegebenen Kurzschlussfall **in das untenstehende Diagramm** ein.



Berechnen Sie die folgenden vier Teilaufgaben mit den Werten

$$\underline{Z}_{(0)} = 10\Omega - j2500\Omega$$

$$\underline{Z}_{(1)} = \underline{Z}_{(2)} = 10\Omega + j15\Omega$$

- Berechnen Sie den Betrag des **Stroms im Mitsystem** für den angegebenen Kurzschlussfall.
- Berechnen Sie den Betrag des **Stroms im Gegensystem** für den angegebenen Kurzschlussfall.
- Berechnen Sie den Betrag des **Stroms im Nullsystem** für den angegebenen Kurzschlussfall.
- Berechnen Sie die Beträge der drei **Phasenströme am Kurzschlussort**.