

Schriftliche Prüfung aus VO Energieversorgung am 28.01.2014

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

1. Betriebsparameter einer 380kV-Leitung (24 Punkte)

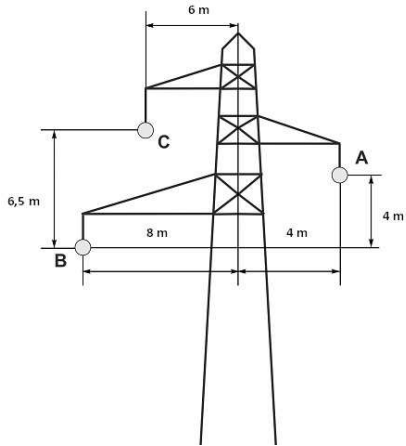


Abbildung nicht maßstäblich!

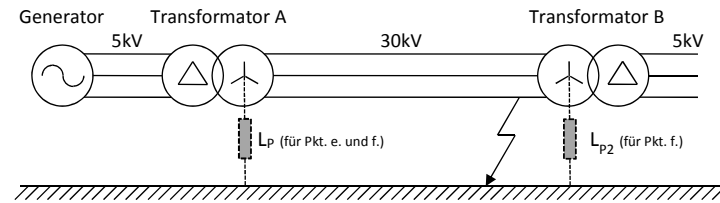
Für eine 380 kV-Leitung in einem 50 Hz Netz mit **3er-Bündeln** und einem Mastbild wie in der Abbildung sollen verschiedene Betriebsparameter ermittelt werden. Es wird angenommen, dass die Leitung über ihre Länge **verdrillt** und damit symmetriert wird.

- Querschnitt Einzelleiter: 200 mm²
- Leiterabstand a im Bündel: 30 cm
- Anzahl Leiter im Bündel: 3
- Länge der Leitung: 225 km
- Dauerstrombelastbarkeit (Einzelleiter): 350 A
- Widerstandsbelag (Einzelleiter): 0,25 Ω/km

- a. (6) Wie groß ist die **längenbezogene symmetrische Betriebsinduktivität** der Leitung?
- b. (3) Wie groß ist die **längenbezogene symmetrische Betriebskapazität** der Leitung?
- c. (3) Wie groß ist die komplexe **Ausbreitungskonstante $\underline{\gamma}$** unter der zusätzlichen Annahme, dass $G' = 0 \frac{S}{km}$? Verwenden Sie die Näherung für die Dämpfungs- und Phasenkonstante ($R' \ll \omega L', G' \ll \omega C'$):

$$\alpha \approx \frac{R'}{2} \sqrt{\frac{C'}{L'}} + \frac{G'}{2} \sqrt{\frac{L'}{C'}} \quad \beta = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{\lambda} \approx \omega \sqrt{L'C'}$$
- d. (4) Leiten Sie für die leerlaufende und verlustlose Leitung ($R' = 0 \frac{\Omega}{km}, G' = 0 \frac{S}{km}$) **allgemein** die Scheinleistung am Leitungsanfang als Funktion $\underline{S}_1 = f(\underline{U}_1, \underline{Z}_w, \text{Länge})$ her.
- e. (3) Zeichnen Sie qualitativ das **Zeigerdiagramm** der leerlaufenden Leitung im Verbraucherzählpfeilsystem (Strom & Spannung am Anfang der Leitung).
- f. (3) Berechnen Sie die **thermisch übertragbare Scheinleistung** der Leitung.
- g. (2) Wie groß ist die **Blindleistung am Anfang der Leitung**, wenn diese mit dem Wellenwiderstand abgeschlossen ist?

2. Einpoliger Erdschluss (24 Punkte)



Generator:

$U_n = 5kV, S_n = 6MVA, x_{d''} = 14\%, f = 50Hz$

Transformatoren A und B:

YNd5, $U_1/U_2 = 30/5, S_N = 5 MVA, u_k = 5\%$, (Annahme $P_k = 0$) $X_{(0)} = 18 \Omega$ (auf 30kV Seite im Fall eines verbundenen Sternpunkts)

Sternpunkte: Transformator A offen, Transformator B offen

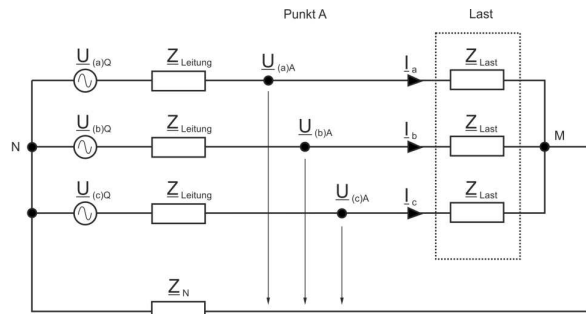
Freileitung:

$X'_{(1)} = 0,2 \text{ Ohm/km}, X'_{(0)} = 0,7 \text{ Ohm/km}, C_E = 6 \text{ nF/km}, l = 10 \text{ km}$

Am Ende der Freileitung ereignet sich ein einpoliger Erdschluss.

- a. (3) Bestimmen Sie die **Elemente der Ersatzschaltung** im Mit-, Gegen- und Nullsystem.
- b. (3) Zeichnen Sie das **Ersatzschaltbild** im Komponentensystem (Spannungen, Ströme, Impedanzen).
- c. (3) Wie groß ist der **einpolige Erdschlussstrom I''_{k1p}** ?
- d. (6) Leiten Sie **allgemein** Ausdrücke für die drei **Phasenspannungen $\underline{U}_{(a)}, \underline{U}_{(b)}$** und $\underline{U}_{(c)}$ am Kurzschlussort her.
- e. (6) Anstelle der isolierten Erdung wird in den Sternpunkt des Transformators A eine Peterson-Spule gegen Erde geschaltet (L_p). Berechnen Sie den **Wert X_p der Spule**, sodass der einpolige Erdschlussstrom I''_{k1p} Null wird.
- f. (3) Anstelle der isolierten Erdung wird in den Sternpunkt des Transformators B eine weitere Peterson-Spule gegen Erde geschaltet (L_{p2}). Wie groß muss die **Summenreaktanz der beiden Spulen** sein, sodass der einpolige Erdschlussstrom I''_{k1p} Null wird?

3. Drehstromkomponentensystem (24 Punkte)



Leitungsimpedanz $Z_{Leitung} = 1 \Omega$
 Neutralleiterimpedanz $Z_N = 1 \Omega$
 Lastimpedanz $Z_{Last} = 5 \Omega$

- a. (3) Ermitteln Sie für die Schaltung ab Punkt A die **Null-, Mit- und Gegenimpedanz** ($Z_{(0)A}$, $Z_{(1)A}$, $Z_{(2)A}$).
- b. (8) Berechnen Sie die **original Phasenspannungen** im Punkt A $\underline{U}_{(a)A}$, $\underline{U}_{(b)A}$, $\underline{U}_{(c)A}$ bei unsymmetrischer Spannung $\underline{U}_{(0)A} = 2\text{kV}$, $\underline{U}_{(1)A} = 10\text{kV}$, $\underline{U}_{(2)A} = 1\text{kV}$ und skizzieren Sie das Zeigerdiagramm der Phasenspannungen.
- c. (6) Berechnen Sie die **original Phasenströme** $\underline{I}_{(a)}$, $\underline{I}_{(b)}$, $\underline{I}_{(c)}$ bei dieser unsymmetrischen Spannung .
- d. (4) Wie groß ist die **Leistung** der Last im gegebenen Betriebspunkt?
- e. (3) Wie groß sind die **Phasenströme** $\underline{I}_{(a)}$, $\underline{I}_{(b)}$, $\underline{I}_{(c)}$, **Phasenspannungen** $\underline{U}_{(a)A}$, $\underline{U}_{(b)A}$, $\underline{U}_{(c)A}$ und die **Leistung** der Last bei symmetrischer Spannung $\underline{U}_{(0)A} = 0\text{kV}$, $\underline{U}_{(1)A} = 10\text{kV}$, $\underline{U}_{(2)A} = 0\text{kV}$?

4. Fünf Sicherheitsregeln (4 Punkte)

Bringen Sie die fünf Sicherheitsregeln in die richtige Reihenfolge:

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

5. Wirtschaftlichkeitsrechnung (24 Punkte)

Für **Windkraft** soll ein **Einspeisetarif** von **8 ct/kWh** angenommen werden. Diese Förderung wird 15 Jahre lange bezahlt. Die Investitionskosten betragen **750 €/kW**. Die Betriebskosten der Windkraftanlagen sollen hier nicht berücksichtigt werden. Verwenden Sie einen **Kalkulationszinssatz** von **5 %/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 vier Jahren** mit **8 ct/kWh** gefördert. Ab dem fünften bis in das 15. Jahr wird die Grundvergütung von **4 ct/kWh** bezahlt. Die Investitionskosten betragen **750 €/kW**. Die Betriebskosten der Windkraftanlagen sollen hier nicht berücksichtigt werden. Verwenden Sie einen **Kalkulationszinssatz** von **5 %/a**.

- c. (2) Berechnen Sie den **Abzinsungsfaktor** (Barwertfaktor) für den Zeitraum der **ersten vier Jahre**.
- d. (2) Berechnen Sie den **Abzinsungsfaktor** (Barwertfaktor) für den Zeitraum des **5. bis 15. Jahres**.
- e. (2) Wie hoch sind die bezogenen jährlichen Erträge der Anlage in den **ersten vier 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 **5. bis 15. Jahres**?
- g. (5) Wie hoch ist der bezogene **abgezinstе Gesamtertrag** (Barwert) über den Zeitraum von **15 Jahren**?
- h. (5) Wie hoch muss nun die **Volllaststundenzahl** des Windstandortes sein, damit diese Windkraftanlage ebenfalls über den gesamten Förderzeitraum den angegebenen Kalkulationszinssatz erzielt?