

Schriftliche Prüfung aus VO Energieversorgung am 11.11.2014

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

1. Leitungsgleichung (24 Punkte)

Eine 380kV-Freileitung in einem 50Hz Netz hat eine Länge von 600 km bei einem Wellenwiderstand von 270Ω und einer Phasendrehung von $\beta = 6^\circ/100 \text{ km}$. Die Leitung soll als verlustlos betrachtet werden.

- a. (6) Wie groß sind die **längenbezogene symmetrische Betriebsinduktivität** der Leitung und die **längenbezogene symmetrische Betriebskapazität** der Leitung?
- b. (6) Wie groß ist die Spannung $\underline{U}_{(1)}$ am **Anfang** der **Leitung**, wenn am Ende die Spannung das 1,1-fache der Nennspannung beträgt und dort eine Wirkleistung von 50% der natürlichen Leistung entnommen wird?
- c. (3) Wie groß ist die **Eingangsimpedanz** der Leitung bei dem Betriebszustand unter b.?
- d. (6) Dimensionieren Sie das **Bauelement**, welches am Ende der Leitung für eine **ideale Kompensation** der Leitung zugeschaltet wird, damit im Leerlauf der Betrag der Spannung am Ende auf den 1,1-fachen Wert der Nennspannung reduziert wird. Geben Sie die **Verschaltung** des Bauelements an.
- e. (3) Welche **Gesamt-Scheinleistung** weist das Kompensationselement am Ende der Leitung auf?

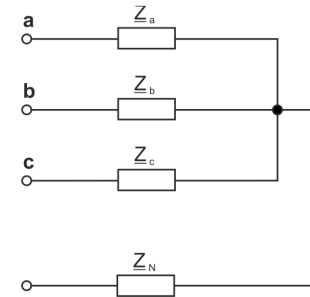
Hinweis:

$$\cosh(ja) = \frac{1}{2}(e^{ja} + e^{-ja}) = \cos(a)$$

$$\sinh(ja) = \frac{1}{2}(e^{ja} - e^{-ja}) = j \sin(a)$$

2. Drehstromkomponentensystem (24 Punkte)

Gegeben sei folgende Drehstromlast:



Diese weist folgende Phasenimpedanzen auf:

$$\underline{Z}_a = 2\Omega \quad \underline{Z}_b = 4\Omega \quad \underline{Z}_c = 4\Omega; \quad \underline{Z}_N = 1\Omega$$

- a. (9) Ermitteln Sie für diesen Drehstromverbraucher entsprechend der obigen Schaltung die **Null-, Mit- und Gegenimpedanz** $\underline{Z}_{(0)}, \underline{Z}_{(1)}, \underline{Z}_{(2)}$.

Hinweis: Verwenden Sie dafür die Messvorschriften für das jeweilige System.

Durch die Zuschaltung von weiteren 2Ω in der Phase a wird die unsymmetrische Drehstromlast zu einem symmetrischen Drehstromverbraucher.

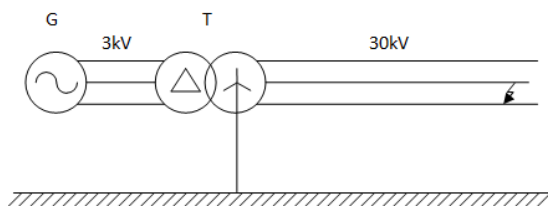
- b. (3) Geben Sie für den symmetrischen Drehstromverbraucher die **Null-, Mit- und Gegenimpedanz** $\underline{Z}_{(0)}, \underline{Z}_{(1)}, \underline{Z}_{(2)}$ an.

Der symmetrische Drehstromverbraucher wird jetzt an eine unsymmetrische Drehspannungsquelle angeschlossen. Dabei ergeben sich folgende Phasenspannungen (Drehung zwischen den Phasen beträgt exakt 120°):

$$|\underline{U}_{aN}| = 60V, \quad |\underline{U}_{bN}| = 80V, \quad |\underline{U}_{cN}| = 80V$$

- c. (6) Berechnen Sie die **symmetrischen Spannungskomponenten** $\underline{U}_{(0)}, \underline{U}_{(1)}, \underline{U}_{(2)}$.
- d. (6) Berechnen Sie die **Stromkomponenten** $\underline{I}_{(0)}, \underline{I}_{(1)}, \underline{I}_{(2)}$ und den **Strom in Phase a**.

3. Zweipoliger Kurzschluss ohne Erdberührung (24 Punkte)



Generator: $U_N = 3 \text{ kV}$, $S_N = 7 \text{ MVA}$, $x_d'' = 13\%$

Transformator:

YNd5, $U_1/U_2 = 30/3$, $S_N = 8 \text{ MVA}$, $u_K = 15\%$, (Annahme $P_K = 0 \text{ kW}$),
 $X_{(0)} = 18 \Omega$ (auf 30kV Seite), Sternpunkt **starr geerdet**

Freileitung: $X'_{(1)} = 0,3 \Omega/\text{km}$, $X'_{(0)} = 0,7 \Omega/\text{km}$, $C'_E = 7 \text{ nF/km}$, Länge: 20 km

Am Ende der Freileitung ereignet sich ein zweipoliger Kurzschluss zwischen den Phasen b und c ohne Erdberührung, der Betrag des zweipoligen Kurzschlussstromes beträgt $I''_{k2p} = 417 \text{ A}$ bei einem Sicherheitsfaktor $c = 1,1$.

- Wie groß sind die drei **Phasenströme** I_a , I_b und I_c am **Kurzschlussort**? (**komplexe Darstellung**)
- Wie groß sind die drei **Komponentenströme** $I_{(0)}$, $I_{(1)}$ und $I_{(2)}$ am **Kurzschlussort**? (**komplexe Darstellung**)
- Leiten Sie anhand der Ergebnisse aus Punkt b die korrekte **Ersatzschaltung** im Mit-, Gegen- und Nullsystem für diesen Fehlerfall ab (**mit kurzer Erklärung!**).
- Berechnen Sie für diesen Kurzschlussfall die wirksame **Gesamtimpedanz** (**komplexe Darstellung**) bezogen auf die Kurzschlussseite (Leitung).
- Berechnen Sie den Betrag des **dreiphasigen Anfangs-Kurzschlussstroms** I''_{k3p} im Fall eines dreipoligen Kurzschlusses ($c = 1,1$).

4. Fünf Sicherheitsregeln (4 Punkte)

Bringen Sie die fünf Sicherheitsregeln in die richtige Reihenfolge:

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

5. Barwertvergleich von Leitungssystemen (24 Punkte)

Für die Anbindung eines Windparks an das öffentliche Netz soll der Netzbetreiber eine Leitungsanbindung auswählen. Nach der Erfüllung der technischen Anschlussbedingungen von zwei unterschiedlichen Leitungssystemen soll nun die Wirtschaftlichkeit untersucht werden. Zur Auswahl stehen eine Freileitung und ein Kabel mit folgenden Kenndaten¹:

Leistungsdaten

Länge	30 km	
Lebensdauer	25 a (Jahre)	
Zinssatz	5%	
	<u>110kV Freileitung</u>	<u>110kV Kabel</u>
Errichtungskosten	220 000 €/km	390 000 €/km
Jährliche Wartungskosten	2 000 €/(km a)	500 €/(km a)

Verluste:

Max. auftretende Verlustleistung	390 W/m	102 W/m
Leistungspreis	125 €/(kW a)	125 €/(kW a)
Jährliche Energieverluste (Arbeitskomponente)	942,576 kWh/m	259,296 kWh/m

Der Netzbetreiber muss jährlich Aufwendungen für die Wartung und Verluste zahlen. Die Verlustkosten setzen sich aus der Leistungskomponente und Arbeitskomponente (Energiekomponente) zusammen. Die Energieverluste werden in den ersten 9 Jahren des Betrachtungszeitpunkts mit einem Arbeitspreis von 9,1 ct/kWh verrechnet und in den restlichen 16 Jahren mit 6,2 ct/kWh.

Hinweis: Die Investitionskosten fallen zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme des Leitungssystems an.

- Wie groß sind die **jährlichen Energieverluste** für beide Leitungssysteme?
- Wie groß sind die **jährlichen Aufwendungen** für den leistungsabhängigen Anteil der Verlustkosten für beide Leitungssysteme?
- Wie groß sind die **jährlichen Zahlungen** für den Betrieb beider Leitungssysteme in den ersten 9 Jahren und in den restlichen 16 Jahren?
- Wie groß ist der **Barwert der 110kV Freileitung** zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme?
- Wie groß ist der **Barwert des 110kV Kabels** zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme?
- Welches Leitungssystem ist **wirtschaftlich günstiger**?

¹ Die Daten sind aus der Studie, "Netzverstärkungs-Trassen zur Übertragung von Windenergie: Freileitung oder Kabel?" von H. Brakelmann im Auftrag von Bundesverband WindEnergie e.V. entnommen worden