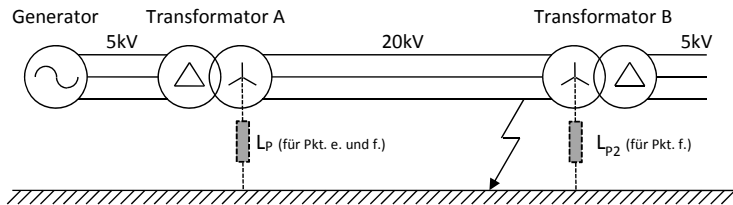


Schriftliche Prüfung aus VO Energieversorgung am 19.04.2016

Name/Vorname: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ Matr.-Nr./KHz.: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

1. Einpoliger Erdschluss (24 Punkte)



**Generator:**  $U_N = 5 \text{ kV}$ ,  $S_N = 6 \text{ MVA}$ ,  $x_d'' = 14\%$ ,  $R/X = 0$ ,  $f_N = 50 \text{ Hz}$

**Transformatoren A und B:** YNd5,  $U_1/U_2 = 20/5$ ,  $S_N = 5 \text{ MVA}$ ,  $u_k = 5\%$  (bei  $P_k = 0$ ),

$X_{(0)} = 21 \Omega$  (auf 20kV Seite falls Sternpunkt verbunden)

Sternpunkte: Transformator A offen, Transformator B offen

**Freileitung:**  $L_B'_{(1)} = 1,18 \text{ mH/km}$ ,  $C'_E = 20 \text{ nF/km}$ ,  $l = 60 \text{ km}$

Abbildung nicht maßstäblich!

Am Ende der Freileitung ereignet sich ein einpoliger Erdschluss.

- Bestimmen Sie die **Elemente der Ersatzschaltung** im Mit-, Gegen- und Nullsystem.
- Zeichnen Sie das **Ersatzschaltbild** im Komponentensystem (Spannungen, Ströme, Impedanzen) für das isolierte Netz.
- Wie groß ist der **Betrag des einpoligen Erdschlussstroms**  $I''_{k1p}$  ( $c=1,1$ )?
- Leiten Sie **allgemein** die Ausdrücke für die drei **Komponentenspannungen**  $\underline{U}_{(0)}$ ,  $\underline{U}_{(1)}$  und  $\underline{U}_{(2)}$  am Kurzschlussort her.
- Anstelle der isolierten Erdung wird in den Sternpunkt des Transformators A eine Petersen-Spule gegen Erde geschaltet (LP). **Zeichnen Sie nur das Nullsystem des kompensierten Netzes** und berechnen Sie anschließend die **benötigte Induktivität  $L_p$  der Spule**, sodass der einpolige Erdschlussstrom  $I''_{k1p}$  Null wird.
- Anstelle der isolierten Erdung des Transformators B wird in den Sternpunkt des Transformators B eine weitere Petersen-Spule gegen Erde geschaltet ( $L_{p2}$ ). **Zeichnen Sie nur das Nullsystem des kompensierten Netzes** und ermitteln Sie anschließend die **Summenreaktanz der beiden Spulen**, sodass der einpolige Erdschlussstrom  $I''_{k1p}$  Null wird?

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

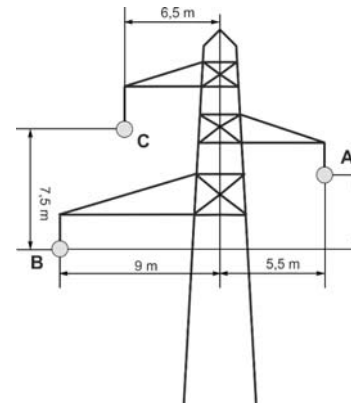


Abbildung nicht maßstäblich!

Für eine 380 kV-Leitung in einem 50 Hz Netz mit **4er-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:  $310 \text{ mm}^2$
- Leiterabstand  $a$  im Bündel:  $40 \text{ cm}$
- Anzahl Leiter im Bündel:  $4$
- Länge der Leitung:  $180 \text{ km}$
- Gleichstromwiderstand (Einzelleiter):  $0,15 \Omega/\text{km}$
- Stromverdrängungsfaktor bei 50 Hz:  $k_{gr} = 1,2$

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

$$\alpha \approx \frac{R'}{z} \sqrt{\frac{C'}{L'}} + \frac{G'}{z} \sqrt{\frac{L'}{C'}} \quad \beta = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{\lambda} \approx \omega \sqrt{L'C'}$$

- Leiten Sie für die leerlaufende und verlustlose Leitung ( $R' = 0 \frac{\Omega}{\text{km}}$ ,  $G' = 0 \frac{\text{S}}{\text{km}}$ ) **allgemein** die Scheinleistung am Leitungsanfang als Funktion  $\underline{S}_1 = f(\underline{U}_1, \underline{Z}_w, \text{Länge})$  her.
  - Skizzieren Sie qualitativ das **Zeigerdiagramm** der leerlaufenden Leitung im Verbraucherzählpeilsystem (Strom & Spannung am Anfang der Leitung) und begründen Sie Ihre Darstellung.
  - Wie groß ist die **thermische Dauerstrombelastbarkeit eines Einzelleiters**  $I_{th}$ , wenn angenommen wird, dass die natürliche Leistung der verlustlosen Leitung der thermisch übertragbaren Scheinleistung entspricht?
- (3) Wie groß sind der induktive und der kapazitive Anteil der **Blindleistung** der Leitung wenn die verlustlose Leitung mit  $I_{th}$  aus Punkt f. belastet wird?

### 3. 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 Kenndaten<sup>1</sup>:

#### 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.

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

### 4. Fünf Sicherheitsregeln (4 Punkte)

Bringen Sie die fünf Sicherheitsregeln in die richtige Reihenfolge:

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

<sup>1</sup> 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

## 5. Theoriefragen (24 Punkte)

Name/Vorname: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ Matr.-Nr./Knz.: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Richtige Antwort bitte deutlich markieren.

**Hinweis:** Es ist jeweils genau eine Antwort richtig! Nicht beantwortete Fragen geben 0 Punkte, falsch beantwortete Fragen werden als -0,5 Punkte gewertet. Maximale Punktzahl dieses Prüfungsteils ist 24 Punkte, minimale Punktzahl ist 0 Punkte.

1. Welche Anforderungen müssen Energieversorgungssysteme erfüllen?

- Zuverlässigkeit, Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit  
 Zuverlässigkeit, Vernetzung, Schnelligkeit  
 Wirtschaftlichkeit, Profitabilität, Risikominimierung

2. Wie setzt sich die Erzeugung elektrischer Energie in Österreich etwa zusammen?

- 60% Wasserkraft, 10% andere Erneuerbare, 30% fossil-thermische Kraftwerke  
 60% Wasserkraft, 30% andere Erneuerbare, 10% fossil-thermische Kraftwerke  
 60% fossil-thermische Kraftwerke, 30% Wasserkraft, 10% andere Erneuerbare

3. In welchem Größenbereich bewegt sich die Leistung eines Laufwasserkraftwerkes an der Donau in Österreich in etwa?

- unter 10 MW bis 100 MW  
 150 MW bis 300 MW  
 350 MW bis über 1000 MW

4. Welche Netzebene des elektrischen Netzes wird in Österreich als Netzebene 1 bezeichnet?

- Das Niederspannungsnetz  
 Mittelspannungsnetze  
 Das Höchstspannungsnetz

5. Bei welcher Phasenlage zwischen sinusförmigem Strom- und Spannungsverlauf wird die Wirkleistung maximal?

- Wenn der Strom der Spannung  $90^\circ$  vorausgeht  
 Wenn Strom und Spannung gleiche Phasenlage haben  
 Wenn der Strom der Spannung  $90^\circ$  nachgeht

6. Welche Amplitude haben die Leiter-Erde-Spannungen in einem symmetrischen 110kV-Netz?

- Etwa  $110\text{kV} \cdot \sqrt{2}$   
 Etwa  $110\text{kV} / \sqrt{3} \cdot \sqrt{2}$   
 Etwa  $110\text{kV} / \sqrt{3}$   
 Etwa  $110\text{kV} / \sqrt{2} \cdot \sqrt{3}$

7. Mit welcher Frequenz pulsiert die Augenblicksleistung in einem 50Hz-Wechselstromsystem?

- Mit 50Hz  
 Mit 100Hz  
 Gar nicht

8. Wie verhält sich ein untererregter Synchrongenerator bezüglich seiner Blindleistung?

- Wie eine Kapazität  
 Wie eine Induktivität  
 Wie ein Widerstand

9. Eine Wasserkraftanlage kann mit einer Wassermenge  $Q$  von  $40\text{m}^3/\text{s}$  eine elektrische Leistung von 8MW erzeugen. Welche Höhendifferenz arbeitet die Turbine ungefähr ab?

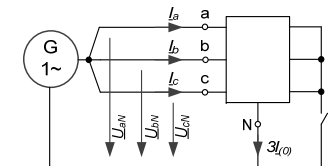
- 5m  
 20m  
 25m

10. Welche Komponenten des elektrischen Energiesystems verhalten sich bzgl. Mit- und Gegensystem unterschiedlich?

- Transformatoren  
 Leitungen  
 Elektrische Maschinen

11. Welche Komponente der symmetrischen Komponenten wird mit dieser Schaltung bestimmt?

- Das Nullsystem  
 Das Mitsystem  
 Das Gegensystem  
 Raumzeiger und Nullgröße



12. Wie verhält sich eine Freileitung, die unterhalb der natürlichen Leistung betrieben wird, gegenüber dem Energiesystem?

- Eher wie eine Induktivität  
 Eher wie eine Kapazität  
 Eher wie ein Widerstand

13. Welches Bauelement kann eingesetzt werden, um eine unterhalb der natürlichen Leistung betriebene Leitung zu kompensieren?

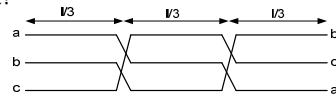
- Eine Drosselspule (Induktivität)  
 Eine Kondensatorbatterie (Kapazität)  
 Ein Widerstand

14. Welche Auswirkung haben Bündelleiter bei Freileitungen gegenüber Einfachleitern?

- Sie reduzieren die natürliche Leistung  
 Sie erhöhen den Wellenwiderstand  
 Sie erhöhen die natürliche Leistung

15. Auf welche Art ist die dargestellte Einfachleitung verdreht?

- $\alpha$ -Verdrillung  
  $\beta$ -Verdrillung  
  $\gamma$ -Verdrillung



16. Die Generatoren eines Kraftwerkes, das an ein 50Hz-Netz angeschlossen ist, haben eine synchrone Drehzahl von 250 Umdrehungen/min. Welche Polpaarzahl haben die Generatoren?

- 5  
 10  
 12

17. Stoßkurzschlussstrom  $I_p$  und Anfangskurzschlusswechselstrom  $I_k''$  hängen entsprechend  $I_p = \kappa \sqrt{2} I_k''$  zusammen. In welchem Wertebereich kann der Stoßfaktor  $\kappa$  liegen?

- Von 0 bis 1  
 Von 1 bis 2  
 Von 0 bis 2

18. Wann tritt praktisch kein Gleichglied im Kurzschlussstromverlauf auf?

- Wenn der stationäre Fehlerstrom im Zeitpunkt des Fehlereintritts gerade seinen Nulldurchgang hätte  
 Wenn der stationäre Fehlerstrom im Zeitpunkt des Fehlereintrittes gerade seinen maximalen Wert hätte

- Wenn der Strom unmittelbar vor Fehlereintritt gerade seinen maximalen Wert hatte

19. Welche Größen sind bei der Lastflussrechnung an einem PV-Knoten vorgegeben?

- Photovoltaikeinspeisung und Verbraucherleistung  
 Wirkleistung P und Blindleistung Q  
 Wirkleistung P und Spannung U

20. Welchen Wert sollte die dynamische Frequenzabweichung im Verbundnetz nach einer Störung nicht unterschreiten?

- 49,82 Hz, also 180mHz weniger als die Nennfrequenz  
 49,8 Hz, also 200mHz weniger als die Nennfrequenz  
 49,2 Hz, also 800mHz weniger als die Nennfrequenz

21. In welchem Kernreakortyp wird ein Wärmetauscher zwischen Primärkühlkreis und Sekundärdampfkreislauf eingesetzt?

- Im Siedewasserreaktor  
 Im Druckwasserreaktor  
 In keinem der beiden Reaktortypen

22. Wie hängt die mögliche Leistung einer Windturbine von der Windgeschwindigkeit  $v$  ab?

- Linear ( $\sim v$ )  
 Quadratisch ( $\sim v^2$ )  
 Kubisch ( $\sim v^3$ )  
 Gar nicht

23. Was ist ein Vorteil von symmetrischen Drehstromsystemen gegenüber Gleichspannungssystemen?

- Transformierbarkeit  
 Keine Blindleistung  
 Konstante Augenblicksleistung

24. Eine Windkraftanlage mit der Nennleistung 5MW speist in einem Jahr eine Energie von 12,5GWh in das Netz ein. An 80 Stunden im Jahr erreicht sie dabei ihre Nennleistung, den Rest des Jahres liegt ihre Leistung unterhalb der Nennleistung. Welche Volllaststunden weist diese Windkraftanlage auf?

- 80h  
 400MWh  
 2500h