

Schriftliche Prüfung aus VO Energieversorgung am 26.06.2019

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

Allgemeine Hinweise: Kennzeichen Sie Ihre Ergebnisse eindeutig. Ergebnisse müssen aus Zahlenwert und Einheit bestehen und bei Wechselstromsystemen in komplexer Form (Komponenten- oder Polardarstellung) angegeben werden, wenn nicht anders gefragt ist.

1. Betriebsparameter einer Freileitung und Leitungsgleichungen (24 Punkte)

Auf einem Donaumast ist ein 220 kV-Drehstromfreileitungssystem bestehend aus Zweierbündel mit den folgenden geometrischen Daten der Aufhängung aufgezogen (Koordinatenursprung = Mastfußpunkt):

Leiter A: $x = -8m, y = 19m$

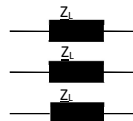
Leiter B: $x = -11m, y = 13.5m$

Leiter C: $x = -5m, y = 13.5m$

Der gegenseitige Abstand der Leiter a im Zweierbündel beträgt 30 cm. Die Leitung ist 250 km lang und verdreht. Der Querschnitt eines Leiterseils berechnet sich auf 314.159 mm². Die Leitung soll für alle Berechnungen als verlustlose Leitung betrachtet werden. (R = 0; G = 0)

- a. (6) Wie groß ist die längenbezogene symmetrische Betriebsinduktivität und Betriebskapazität der Leitung?
- b. (3) Wie groß ist die **komplexe Phasenkonstante** $\underline{\beta}$?
- c. (3) Die Leitung wird durch eine fremde Einwirkung an ihrem Ende kurzgeschlossen. Wie groß ist der **Kurzschlussstrom** wenn die Leitung am Leitungsanfang mit Nennspannung betrieben wird?
- d. (3) Wie groß ist die **Kurzschlussimpedanz (Eingangsimpedanz)** der Leitung bei dem Betriebszustand unter c)?

- e. (3) Die Störung an der Leitung wird behoben und die Leitung wird an ihrem Ende mit einer dreiphasigen symmetrischen Last (siehe Bild rechts) abgeschlossen und am Leitungsanfang mit Nennspannung betrieben. **Leiten** Sie die Formel für die **Eingangsimpedanz** \underline{Z}_1 der verlustlosen Leitung in Abhängigkeit von $\underline{Z}_L (= \underline{Z}_2), \underline{Z}_w, l$ und $\underline{\beta}$ her.



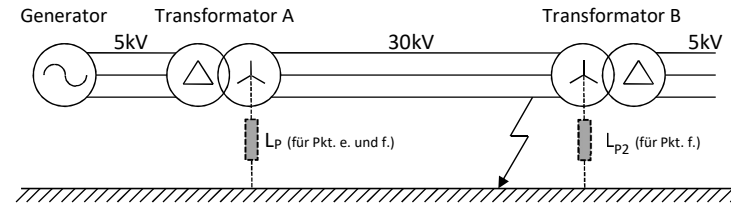
- f. (3) Wie groß ist die **Lastimpedanz** \underline{Z}_L der Leitung in Punkt e, wenn die Eingangsimpedanz \underline{Z}_1 der Leitung $j134.39\Omega$ beträgt? Verwenden Sie:

$$\cosh(j \cdot \beta \cdot l) = 0,965$$

$$\sinh(j \cdot \beta \cdot l) = j \cdot 0,262$$

- g. (3) Wie muss die Leitung betrieben werden, damit die **natürliche Leistung** über die Leitung transportiert werden kann?

2. 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, $U_1/U_2 = 30/5, S_N = 5 \text{ MVA}, u_k = 5\%$ (bei $P_k = 0$),

$X_{(0)} = 18 \Omega$ (auf 30kV Seite im Fall eines verbundenen Sternpunkts)

Sternpunkte: Transformator A offen, Transformator B offen

Freileitung:

$L'_{(1)} = 1,18 \text{ mH/km}, X'_{(0)} = 0 \Omega/\text{km}, C'_E = 15 \text{ nF/km}, l = 50 \text{ km}$

Am Ende der Freileitung ereignet sich ein einpoliger Fehler (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 **Betrag des einpoligen Erdschlussstroms** I''_{k1p} ($c=1,1$)?
- d. (6) Leiten Sie **allgemein** die Ausdrücke für die drei **Komponentenspannungen** $\underline{U}_{(0)}, \underline{U}_{(1)}$ und $\underline{U}_{(2)}$ am Kurzschlussort her.
- e. (6) Der vorher isolierte Sternpunkt des Transformators A wird nun mit Hilfe einer Petersen-Spule (L_p) mit Erde verbunden und das Netz damit gelöscht betrieben. Berechnen Sie die benötigte **Induktivität L_p der Spule**, sodass der einpolige Erdschlussstrom an der Fehlerstelle I''_{k1p} Null wird.

Die Sternpunktbehandlung des Netzes soll nun auf mehrere Punkte verteilt werden. Dazu wird anstelle der isolierten Erdung in den Sternpunkt des Transformators B eine zweite Petersen-Spule gegen Erde geschaltet (L_{p2}). Der einpolige Erdschlussstrom I''_{k1p} soll wieder Null werden.

- f. (3) **Schätzen sie ab**, ob die Induktivität der einzelnen Petersen-Spulen in den beiden Sternpunkten nun **größer oder kleiner** als die im Punkt e berechnete sein muss. Gehen Sie der Einfachheit halber davon aus, dass beide Petersen-Spulen gleiche Werte haben sollen. Begründen Sie Ihre Antwort.

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:

Leistungsdaten

Länge	25 km	
Lebensdauer	25 a (Jahre)	
Zinssatz	4%	
	<u>110kV Freileitung</u>	<u>110kV Kabel</u>
Errichtungskosten	150 000 €/km	400 000 €/km
Jährliche Wartungskosten	500 €/(km a)	2000 €/(km a)

Verluste:

Wirkungsgrad der Leitungen

bei 50% Auslastung	85%	95%
Nennstrom, A	200 A	200 A
Geplante Auslastung	50%	50%

Es wird angenommen, dass die Leitungen bei Nennspannung mit 50% über die gesamte Betrachtungsperiode ausgelastet werden. Der Netzbetreiber muss jährlich Aufwendungen für die Wartung und Verluste zahlen. Die Energieverluste werden in den ersten 6 Jahren des Betrachtungszeitpunkts mit einem Arbeitspreis von 9,1 ct/kWh verrechnet und in den restlichen 19 Jahren mit 6,2 ct/kWh.

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

- (5) Wie groß sind die **jährlichen Energieverluste** für beide Leitungssysteme?
- (6) Wie groß sind die **jährlichen Zahlungen** für den Betrieb beider Leitungssysteme in den ersten 6 Jahren und in den restlichen 19 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 und streichen Sie die nicht existierende Sicherheitsregel:

- Allpoliges Trennen der elektrischen Anlage von spannungsführenden Teilen (Freischalten)
- Spannungsfreiheit allpolig feststellen
- Benachbarte, unter Spannung stehende Teile erden und kurzschließen
- Gegen Wiedereinschalten sichern
- Erden und kurzschließen
- Benachbarte, unter Spannung stehende Teile abdecken oder abschränken

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

5. Theoriefragen (24 Punkte)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. Wie bezeichnet man die sicher nachgewiesenen und mit bekannter Technologie wirtschaftlich gewinnbaren Vorkommen fossiler Energieträger in der Erdkruste?

- Reserven
 Ressourcen
 statische Reichweite

2. Welche Wasserturbine kann auch als Pumpe verwendet werden?

- Die Kaplan turbine
 Die Francisturbine
 Die Peltonturbine

3. Auf welche Drehzahl beschleunigt eine Peltonturbine, wenn der zugehörige Generator vom Netz getrennt und vollständig entlastet wird?

- Gar nicht
 Maximal auf die doppelte Nenndrehzahl
 Unendlich (bis zur Zerstörung der Turbine)

4. In welchem Kernreakortyp wird der Primärkühlkreis direkt durch die angetriebene Dampfturbine geführt?

- Im Siedewasserreaktor
 Im Druckwasserreaktor
 In keinem der beiden Reaktortypen

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

- Transformierbarkeit
 Keine Blindleistung
 Konstante Augenblicksleistung

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

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

7. Bei welchem Erregersystem werden Schleifringe verwendet, um den Erregerstrom auf den Rotor des Generatorläufers zu übertragen?

- Beim statischen Erregersystem
 Beim dynamischen Erregersystem
 Beim bürstenlosen Erregersystem

8. 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 Fehlereintritts gerade seinen maximalen Wert hätte
 Wenn der Strom unmittelbar vor Fehlereintritt gerade seinen maximalen Wert hatte

9. Welche Größen sind bei der Lastflussrechnung am Slackknoten vorgegeben?

- Spannung U und Spannungswinkel δ
 Wirkleistung P und Blindleistung Q
 Wirkleistung P und Spannung U

10. Eine Windkraftanlage mit der Nennleistung 2MW speist in einem Jahr eine Energie von 5GWh in das Netz ein. An 172 Stunden im Jahr erreicht sie dabei ihre Nennleistung, den Rest des Jahres liegt ihre Leistung unterhalb der Nennleistung. Welche Volllaststunden weist diese Windkraftanlage auf?

- 172h
 2500h
 1720h

11. Welcher Anteil der Stromgestehungskosten wird maßgeblich durch die Kosten für die Errichtung eines Kraftwerkes beeinflusst?

- Die leistungsabhängigen Kosten
 Die arbeitsabhängigen Kosten
 Die Brennstoffkosten

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

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

13. Wie verhält sich ein Kabel, das unterhalb der natürlichen Leistung betrieben wird, gegenüber dem Energiesystem?

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

14. Welche Form der Energiewandlung verwendet keine rotierenden elektrischen Maschinen zur Erzeugung elektrischer Energie?

- Die Photovoltaik
- Die Wasserkraft
- Die Kraft-Wärme-Kopplung in Blockheizkraftwerken

15. Was sollte beim Parallelschalten von Transformatoren berücksichtigt werden?

- Die Leistungen sollten ähnlich groß sein
- Der Aufstellungsort sollte gleich sein
- Die Anzahl der Windungen auf der Primär- und Sekundärseite sollten jeweils gleich sein

16. Bei welcher Phasenlage zwischen sinusförmigem Strom- und Spannungsverlauf wird der Betrag der Wirkleistung minimal?

- Wenn der Strom der Spannung 90° voraus- oder nacheilt
- Wenn Strom und Spannung gleiche Phasenlage haben
- Wenn der Strom der Spannung 180° voraus- oder nacheilt

17. Innerhalb welcher Zeit soll die Primärregelleistung (Frequency Containment Reserve) voll aktiviert sein?

- Spätestens 15s nach Aktivierung
- Spätestens 30s nach Aktivierung
- Spätestens 15min nach Aktivierung

18. Die Generatoren eines Kraftwerkes, das an ein 50Hz-Netz angeschlossen ist, haben eine Polpaarzahl von 10. Welche synchrone Drehzahl haben die Generatoren?

- 300 Umdrehungen/min
- 500 Umdrehungen/min
- 600 Umdrehungen/min

19. Was ist in etwa der typische Wert für die Volllaststunden einer Photovoltaikanlage in Österreich?

- 1000 h/a
- 2500 h/a
- 4000 h/a
- 8760 h/a

20. Welcher Anteil der in einem Windstrom enthaltenen kinetischen Leistung kann durch einen Konverter entnommen werden (Betz'scher Wert)?

- 16,3%
- 50%
- 59,3%

21. Um welchen Winkel sind die Primär- und Sekundärspannungen eines Dy11-Transformators gegeneinander verdreht?

- Um 11°
- Um 330°
- Gar nicht. Nur die Ströme werden verdreht.

22. In einem Verbundsystem, das aus den drei Regelzonen A, C und D besteht, kommt es in der Regelzone A zu einem ungeplanten Ausfall einer Industrieanlage, die zuvor eine große Leistung aus dem Netz bezogen hat.

Wie verhält sich die Frequenz im Verbundsystem?

- Die Frequenz steigt nur in der Regelzone A an
- Die Frequenz sinkt nur in der Regelzone A ab
- Die Frequenz steigt in allen drei Regelzonen an
- Die Frequenz sinkt in allen drei Regelzonen ab
- Die Frequenz bleibt unverändert

Welche der Regelzonen beteiligen sich an der Primärregelung?

- Nur die Regelzone A
- Nur die Regelzonen C und D
- Alle Regelzonen gemeinsam

Welche der Regelzonen beteiligen sich an der Sekundärregelung?

- Nur die Regelzone A
- Nur die Regelzonen C und D
- Alle Regelzonen gemeinsam