

Schriftliche Prüfung aus VO Energieversorgung am 22.01.2018

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

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 aufgezo-gen (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 250km lang und verdreht. Der Querschnitt eines Leiterseils berechnet sich auf 314.159 mm<sup>2</sup>. Die Lei-tung soll für alle Berechnungen als verlustlose Leitung betrachtet werden. (R = 0; G = 0)

- a. (6) Wie groß ist die längenbezogene symmetrische Betriebsinduktivität und Be-triebskapazität der Leitung?
- b. (3) Wie groß ist die **komplexe Phasenkonstante**  $\beta$  ?
- c. (3) Die Leitung wird durch eine fremde Einwirkung an ihrem Ende kurzgeschlos-sen. 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 **Ein-gangsimpedanz**  $Z_1$  der verlustlosen Leitung in Abhängig-keit von  $Z_L (= Z_2), Z_w, l$  und  $\beta$  her.



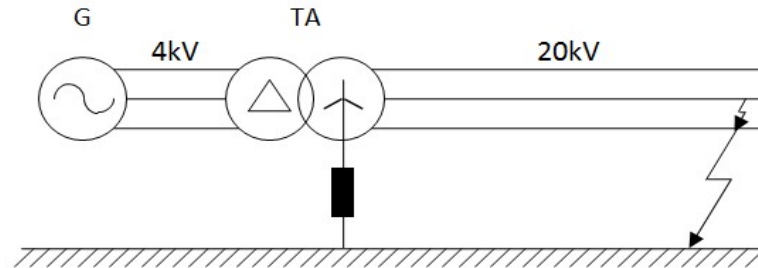
- f. (3) Wie groß ist die **Lastimpedanz**  $Z_L$  der Leitung in Punkt e, wenn die Ein-gangsimpedanz  $Z_1$  der Leitung  $j134.39\Omega$  beträgt? Verwenden Sie:

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

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

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

2. Zweipoliger Kurzschluss mit Erdberührung (24 Punkte)



Generator:

$U_N = 4kV, S_N = 8MVA, x_d'' = 14\%$

Transformator:

YNd5,  $U_1/U_2 = 20/4, S_N = 10 MVA, u_k = 15\%$ , (Annahme  $P_k = 0 kW$ ),  $X_{(0)} = 14 \Omega$  (auf 20kV Seite) Sternpunkt **exakt kompensiert („gelöschtes Netz“)**

Freileitung:

$X'_{(1)} = 0,4 \text{ Ohm/km}, X'_{(0)} = 0,9 \text{ Ohm/km}, C'_E = 8 \text{ nF/km}, l = 20 \text{ km}$

Am Ende der Freileitung ereignet sich im 50Hz-Netz ein **zweipoliger Kurzschluss** zwischen den Phasen b und c **mit Erdberührung**.

- a. (6) Zeichnen Sie die **Ersatzschaltung** im Mit-, Gegen- und Nullsystem mit korrekter Verschaltung der drei Systeme für den dargestellten Kurzschlussfall
- b. (4) Berechnen Sie die wirksamen **Impedanzen** des **Generators**, des **Transformators** und der **Leitung** (in Ohm) am Kurzschlussort.
- c. (2) Berechnen Sie die Mit-, Gegen und Nullimpedanz.
- d. (4) Wie groß ist die im Sternpunkt verwendete **Petersenspule**, sodass die Leitungs-kapazitäten exakt kompensiert werden?
- e. (4) Wie groß sind die drei **Komponentenströme**  $I_{(0)}, I_{(1)}$  und  $I_{(2)}$  am Kurzschlussort?
- f. (4) Wie groß sind die drei **Phasenströme**  $I_{(a)}, I_{(b)}$  und  $I_{(c)}$  am Kurzschlussort?

### 3. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung eines Solarkraftwerks (24 Punkte)

Das Sonnenwärmekraftwerk Ivanpah in der Mojave-Wüste (Kalifornien, USA) weist folgende Kenndaten auf:

|                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Nennleistung:               | 377 MW                      |
| jährlicher Energieertrag:   | 1.079 GWh/a                 |
| jährliche Lohnzahlungen:    | 6 Mio. \$/a                 |
| jährliche Erhaltungskosten: | 2,2 Mio. \$/a               |
| Errichtungskosten:          | 2.200 Mio. \$ (2,2 Mrd. \$) |

Von den Errichtungskosten werden 1.600 Mio. \$ durch einen Förderkredit des US-Energieministeriums mit einem Zinssatz von 3% und einer Laufzeit von 20 Jahren gedeckt. Das Errichtungskonsortium rechnet am Ende der Laufzeit mit einem Gesamtgewinn von 2.700 Mio. \$ bei einem kalkulatorischen Zinssatz von 5%.

- (3) Wie hoch sind die **Volllaststunden** für dieses Kraftwerk?
- (5) Wie hoch sind die **jährlich fälligen Zahlungen** (Rückzahlung Förderkredit + laufende Kosten)?
- (9) Wie hoch ist der **Barwert der Aufwendungen am Ende der Laufzeit**? Die Anzahlung (Rest der Investitionskosten) wird zum Zeitpunkt der Errichtung getätigt, der Restwert nach Laufzeitende soll vernachlässigt werden.
- (7) Wie hoch muss der **Energiepreis** (in \$/kWh) der gelieferten Energie mindestens sein, damit der erwartete Gewinn am Ende der Laufzeit erwirtschaftet wird?

Hinweis: Der Barwert der kumulierten jährlichen Erträge bezogen auf das Ende der Laufzeit muss dem Barwert der Aufwendungen am Ende der Laufzeit aus Punkt c. plus dem Gesamtgewinn entsprechen.

### 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
- Spannungsfreiheit allpolig feststellen
- Erden und kurzschließen
- Gegen Wiedereinschalten sichern

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 setzt sich die Erzeugung elektrischer Energie in Österreich in 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

---

2. Mit welcher Frequenz pulsiert die Augenblicksleistung in einem symmetrischen 50Hz-Drehstromsystem?

- Mit 50Hz  
 Mit 100Hz  
 Gar nicht

---

3. Welche Anforderungen müssen Energieversorgungssysteme erfüllen?

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

---

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

- Transformierbarkeit  
 Keine Blindleistung  
 Konstante Augenblicksleistung

---

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

- Etwa 110kV·√2  
 Etwa 110kV  
 Etwa 110kV/√3  
 Etwa 110kV/√3·√2

---

6. 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

---

7. Welche Wasserturbine kann auch als Pumpe verwendet werden?

- Die Kaplan-turbine  
 Die Francis-turbine  
 Die Pelton-turbine

---

8. Bei welcher Art der Regelung einer Windkraftanlage werden die einzelnen Rotorflügel verstellt?

- Bei der Pitch-Regelung  
 Bei der Stall-Regelung  
 Bei der Widerstands-Regelung

---

9. Vereinfachend dargestellt ist die Prognoseabweichung einer Regelzone

- Regelenergie  
 Ausgleichsenergie  
 Netzverlustenergie

---

10. Welcher Marktteilnehmer ist für die Leistungs-Frequenz-Regelung in einer Regelzone verantwortlich?

- Der Regelzonenführer  
 Der Netzbetreiber  
 Der Bilanzgruppenkoordinator

---

11. 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

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

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

13. Welche Regelung führt die Frequenz nach einer Frequenzabweichung wieder auf die Sollfrequenz zurück?

- Die Primärregelung
- Die Sekundärregelung
- Die Tertiärregelung

14. Welchen Wert sollte die dynamische Frequenzabweichung 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

15. Um welchen Winkel sind die Primär- und Sekundärspannungen eines Dy5-Transformators gegeneinander verdreht?

- Um 5°
- Um 150°
- Gar nicht. Nur die Ströme werden verdreht.

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. 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

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

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

19. 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

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

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

21. Welche Art von Schaltern kann Kurzschlussströme ausschalten?

- Trennschalter
- Lastschalter
- Leistungsschalter

22. Welche Auswirkung haben Bündelleiter bei Freileitungen gegenüber Einfachleitern?

- Sie erhöhen die natürliche Leistung
- Sie reduzieren die natürliche Leistung
- Sie reduzieren die thermische Grenzleistung

23. 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

24. 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