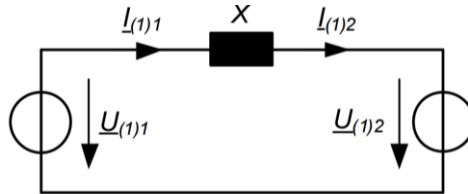


Schriftliche Prüfung aus VO Energieversorgung am 01.10.2015

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

1. Übertragbare Leistung (24 Punkte)

Betrachtet wird ein stark vereinfachtes, symmetrisches Energieversorgungssystem, in dem zwei Netze über eine Leitung miteinander verbunden sind. Die Spannung  $\underline{U}_{(1)1}$  sei als konstant anzunehmen (Spannungsregler):



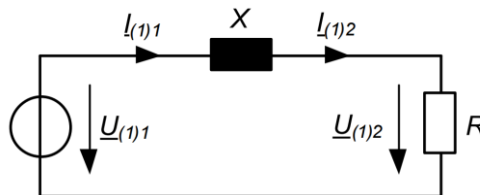
Die Winkel werden auf die Seite 2 bezogen, d.h.  $\underline{U}_{(1)2} = U_2$  und  $\underline{U}_{(1)1} = U_1 \cdot e^{j\delta}$ .

- a. (5) Ermitteln Sie einen Ausdruck für die **Scheinleistung**  $\underline{S}_2$  auf Seite 2 des Systems als Funktion von  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $X$  und  $\delta$  her.

Hinweise:  $\underline{S} = 3 \cdot \underline{U} \cdot \underline{I}^*$   $\left(\frac{1}{j}\right)^* = \left(-\frac{1}{j}\right) = \left(j^2 \cdot \frac{1}{j}\right) = j$   
 $e^{j\delta} = \cos(\delta) + j \cdot \sin(\delta)$

- b. (4) Ermitteln Sie die **Wirk- und Blindleistung** ( $P_2$  und  $Q_2$ ) auf Seite 2 des Systems.  
 c. (3) **Wann** wird die Wirkleistung aus Punkt b. maximal?

Auf Seite 2 wird nun keine Netzeinspeisung sondern ein ohmscher Verbraucher modelliert:



- d. (4) Stellen Sie die Maschengleichung ( $\sum U = 0$ ) auf und ermitteln Sie daraus mit Hilfe eines Koeffizientenvergleichs von Real- und Imaginärteil einen Ausdruck für  $U_2$  als Funktion von  $U_1$  und  $\delta$ .

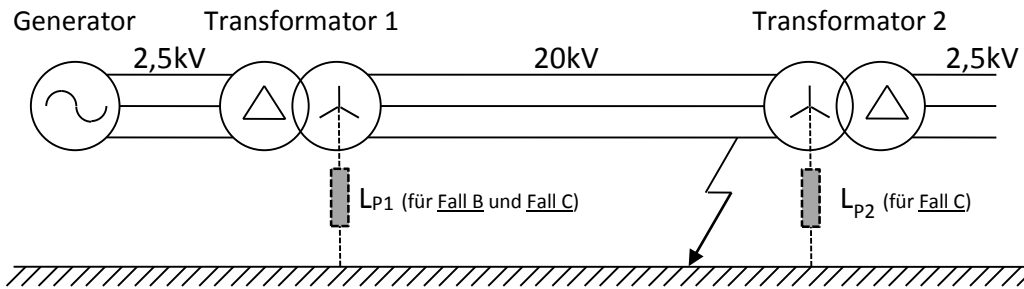
Hinweis:  $e^{j\delta} = \cos(\delta) + j \cdot \sin(\delta)$

- e. (5) Leiten Sie einen Ausdruck für die **Wirkleistung**  $P_2$  auf Seite 2 als Funktion von  $U_1$ ,  $X$  und  $\delta$  her.

Hinweise:  $P_2 = 3 \frac{U_1 U_2}{X} \sin(\delta)$   $\sin(2\delta) = 2 \cdot \sin(\delta) \cdot \cos(\delta)$

- f. (3) Wann wird die Wirkleistung aus Punkt e. maximal?

2. Einpoliger Erdschluss bei zwei speisenden Transformatoren (24 Punkte)



Generator:

$U_N = 2,5 \text{ kV}, S_N = 3 \text{ MVA}, x_d'' = 12\%, R/X = 0, f_N = 50 \text{ Hz}$

Transformatoren 1 und 2:

YNd5,  $U_1/U_2 = 20/2,5, S_N = 4,5 \text{ MVA}, u_k = 4,5\%$  (bei  $P_k = 0$ ),  
 $X_{(0)} = 10 \Omega$  (auf 20kV Seite im Fall eines verbundenen Sternpunkts)

Betrachtet werden folgende Fälle der Sternpunktbehandlung:

	Transformator 1	Transformator 2
Fall A	Offen (Isoliert)	Offen (Isoliert)
Fall B	Über $L_{P1}$ geerdet	Offen (Isoliert)
Fall C	Über $L_{P1}$ geerdet	Über $L_{P2}$ geerdet

Freileitung:

$L'_{B(1)} = 1,5 \text{ mH/km}, C'_E = 15 \text{ nF/km}, l = 50 \text{ km}$

- a. (6) Bestimmen Sie die **Werte aller Elemente der Ersatzschaltung** im Mit-, Gegen- und Nullsystem.

Auf der Freileitung ereignet sich ein einpoliger Erdschluss in der Nähe von Transformator 2.

- b. (9) Zeichnen Sie die **Ersatzschaltbilder** für diesen Fehlerfall mit allen Elementen im Komponentensystem (Spannungen, Ströme, Impedanzen) für die drei Fälle der Sternpunktbehandlung.
- c. (3) Wie groß ist der **Betrag des einpoligen Erdschlussstroms  $I''_{k1p}$**  im **Fall A** ( $c = 1,1$ )?
- d. (3) Berechnen Sie im **Fall B** die benötigte **Induktivität  $L_{P1}$  der Petersenspule**, sodass der einpolige Erdschlussstrom  $I''_{k1p}$  Null wird.
- e. (3) Im **Fall B** sei die Induktivität  $L_{P1} = 4,5 \text{ H}$ , damit der einpolige Erdschlussstrom  $I''_{k1p}$  Null wird. Wie groß muss dann im **Fall C** die **resultierende Gesamtreaktanz der beiden Petersenspulen** sein, sodass  $I''_{k1p}$  ebenfalls Null wird?

### 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)
- Gegen Wiedereinschalten sichern
- Spannungsfreiheit allpolig feststellen
- Erden und kurzschließen
- Benachbarte, unter Spannung stehende Teile abdecken oder abschränken



## Schriftliche Prüfung aus VO Energieversorgung am 01.10.2015

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

## 5. Theoriefragen (24 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. Wie hoch ist die Nennfrequenz im österreichischen elektrischen Energiesystem?

- 50Hz  
 60Hz  
 100Hz

3. Welche Wasserturbine ist in diesem Bild dargestellt?

- Eine Kaplan-turbine  
 Eine Francis-turbine  
 Eine Pelton-turbine



4. Auf welche Drehzahl beschleunigt eine Pelton-turbine, wenn der Generator vom Netz getrennt wird?

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

5. Eine Wasserkraftanlage kann mit einer Wassermenge  $Q$  von  $50\text{m}^3/\text{s}$  eine elektrische Leistung von  $40\text{MW}$  erzeugen. Welche Höhendifferenz arbeitet die Turbine ungefähr ab?

- 8m  
 80m  
 100m  
 200m

6. 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

7. Was ist ein Vorteil von symmetrischen Drehstromsystemen gegenüber einphasigen Wechselstromsystemen?

- Transformierbarkeit  
 Keine Blindleistung  
 Konstante Augenblicksleistung

8. Welche Betriebsmittel verhalten sich im Mit- und Gegensystem deutlich unterschiedlich?

- Leitungen
- Transformatoren
- Generatoren

9. Welchen Effektivwert haben die Leiter-Leiter-Spannungen in einem symmetrischen 110kV-Netz?

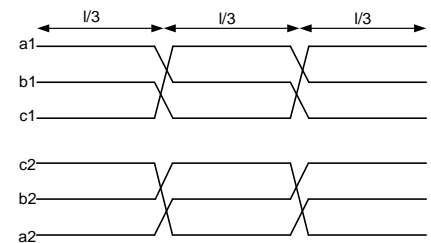
- Etwa  $110\text{kV} \cdot \sqrt{2}$
- Etwa 110kV
- Etwa  $110\text{kV}/\sqrt{3}$
- Etwa  $110\text{kV}/\sqrt{3} \cdot \sqrt{2}$

10. Welche Auswirkung haben Bündelleiter bei Freileitungen gegenüber Einfachleitern?

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

11. Auf welche Art ist die dargestellte Doppelleitung verdrillt?

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



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

- Um  $5^\circ$
- Um  $150^\circ$
- Gar nicht. Nur die Ströme werden verdreht.

13. Welche Art von Schaltern kann Lastströme ausschalten?

- Nur Trennschalter
- Nur Lastschalter
- Nur Leistungsschalter
- Last- und Leistungsschalter

14. Die Generatoren eines Wasserkraftwerkes in Österreich sollen eine synchrone Drehzahl von 200 U/min aufweisen. Welche Polpaarzahl haben die Generatorläufer?

- 10 Polpaare
- 15 Polpaare
- 30 Polpaare

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

- Spannung  $U$  und Spannungswinkel  $\delta$
- Wirkleistung  $P$  und Blindleistung  $Q$
- Wirkleistung  $P$  und Spannung  $U$

16. Bei welchem Kurzschlussstromverlauf klingt das Wechselglied ab?

- Beim generatorfernen Kurzschlussstromverlauf
- Beim generatornahen Kurzschlussstromverlauf
- Beim Stoßkurzschlussstrom

17. Um welchen Faktor erhöhen sich die Leiter-Erde-Spannungen der beiden gesunden Phasen während eines einpoligen Erdschlusses in Netzen mit Erdschlusslöschspule im Sternpunkt?
- Gar nicht
  - Um den Faktor  $\sqrt{2}$
  - Um den Faktor  $\sqrt{3}$
18. Wie verhält sich ein untererregter Synchrongenerator bezüglich seiner Blindleistung?
- Wie eine Kapazität
  - Wie eine Induktivität
  - Wie ein Widerstand
19. Welche Leistung wird maßgeblich durch die Spannungsregelung eines Synchrongenerators beeinflusst?
- Die Wirkleistung
  - Die Blindleistung
20. 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
21. Welche Regelung führt die Frequenz nach einer Frequenzabweichung wieder auf die Sollfrequenz zurück?
- Die Primärregelung
  - Die Sekundärregelung
  - Die Tertiärregelung
22. Welcher Marktteilnehmer ist für die Leistungs-Frequenz-Regelung in einer Regelzone verantwortlich?
- Der Regelzonenführer
  - Der Netzbetreiber
  - Der Bilanzgruppenkoordinator
23. 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
24. Welcher Anteil der Stromgestehungskosten wird maßgeblich durch die Kosten für die Errichtung eines Kraftwerkes beeinflusst?
- Die leistungsabhängigen Kosten
  - Die arbeitsabhängigen Kosten
  - Die Brennstoffkosten