

## Schriftliche Prüfung aus Energieversorgung, am 04.10.2012

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

## 1 Wasserkraft (24 Punkte)

Ein Pumpspeicherkraftwerk weist folgende Kenndaten auf:

Volumen Obersee	$V_{OS}$	60 Mio. m <sup>3</sup>
Volumen Untersee	$V_{US}$	30 Mio. m <sup>3</sup>
Füllstand Obersee (des Volumens)		40 %
Füllstand Untersee (des Volumens)		80 %
mittlere Fallhöhe	$h$	287 m
Nenndurchfluss	$Q_N$	130 m <sup>3</sup> /s
Hydraulischer Wirkungsgrad	$\eta_H$	94 %
Turbinenwirkungsgrad	$\eta_T$	90 %
Pumpenwirkungsgrad	$\eta_P$	87 %
Elektrischer Wirkungsgrad	$\eta_{el}$	96 %
Eigenbedarfsfaktor	$\varepsilon$	2 %

Die mittlere Fallhöhe  $h$  und der Durchfluss  $Q$  sollen als konstant angenommen werden.

- Welche **potenzielle Energie** weist der **Speicherinhalt** des **Oberbeckens** gegenüber dem Unterbecken auf?
- Wie hoch ist die **elektrische Pundleistung**  $P_{el}$  des Pumpspeicherkraftwerks, um einen Durchfluss von  $Q = 80 \text{ m}^3/\text{s}$  im **Pumpbetrieb** zu erzielen?
- Wie lange** kann unter den gegebenen Füllständen und dem Durchfluss aus Punkt (b) das Kraftwerk im **Pumpbetrieb** gefahren werden?  
HINWEIS: es finden keine weiteren Zu- oder Abflüsse aus Ober- und Untersee statt.
- Welche **elektrische Energie** wird in dem Zeitraum aus Punkt (c) aufgenommen?
- Um wie viel erhöht sich dabei die **potenzielle Energie** des Wassers im Pumpspeicherkraftwerk?

## 2 Wirtschaftlichkeitsrechnung (24 Punkte)

In einem Energieversorgungsnetz werden zusätzliche Kraftwerke gebaut. Die folgenden zwei Kraftwerkstypen sind zu vergleichen:

	GuD-Kraftwerk	Laufwasserkraftwerk
spezifische Errichtungskosten	660 €/kW <sub>el</sub>	3100 €/kW <sub>el</sub>
Zinssatz	5 %	4 %
Ausbauleistung	450 MW <sub>el</sub>	450 MW <sub>el</sub>
leistungsabhängige Kosten	97 €/kW <sub>el</sub> a	88 €/kW <sub>el</sub> a
Brennstoffkosten	0,47 €/m <sup>3</sup> Erdgas	0 €/kWh
Gesamtwirkungsgrad	58 %	88 %
betriebsabhängige Kosten	0,0015 €/kWh <sub>el</sub>	0 €/kWh
Volllaststundenzahl	7000 h/a	5200 h/a
Nutzungsdauer	25 a	40 a

Hinweis: Heizwert von Erdgas  $H_u = 30 \text{ MJ/m}^3$ 

- Wie hoch sind die **Stromgestehungskosten** für das **GuD-Kraftwerk**?
- Wie hoch sind die **Stromgestehungskosten** für das **Laufwasserkraftwerk**?
- Bedingt durch sehr kalte Winter und unerwartete Reparaturen erreicht das Laufwasserkraftwerk nicht seine Sollstundenanzahl von 5200 h/a. **Unter welche Volllaststundenzahl** darf das Laufkraftwerk **nicht sinken** um noch günstiger als das GuD-KW (dieses bleibt bei 7000 Volllaststunden) produzieren zu können?
- Zeichnen** Sie qualitativ richtig die beiden **Stromgestehungskosten in Abhängigkeit der Volllaststunden**. Achsenbeschriftung nicht vergessen!

## 3 Fünf Sicherheitsregeln (4 Punkte)

Bringen Sie die fünf Sicherheitsregeln in die richtige Reihenfolge:

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

4 Leitungsgleichungen (24 Punkte)

In einem 380 kV-Drehstromfreileitungssystem sind Leiter in Dreierbündel mit den folgenden geometrischen Daten der Aufhängung aufgezo-gen (Koordinatenursprung = Mastfußpunkt; Bündelmittelpunkte):

- Leiterbündel A:  $x = 4\text{m}, y = 24\text{m}$
- Leiterbündel B:  $x = -8\text{m}, y = 20\text{m}$
- Leiterbündel C:  $x = -6\text{m}, y = 26\text{m}$

Der gegenseitige Abstand der Leiter  $a$  im Dreierbündel beträgt 20 cm. Der Querschnitt eines einzelnen Leiterseils berechnet sich auf  $71,96\text{ mm}^2$ . Der spezifische Widerstand des Leitermaterials ist  $0,0269\text{ }\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$ . Der Verseilungsfaktor beträgt 1,07. Die Leitung ist 500 km lang und verdreht.

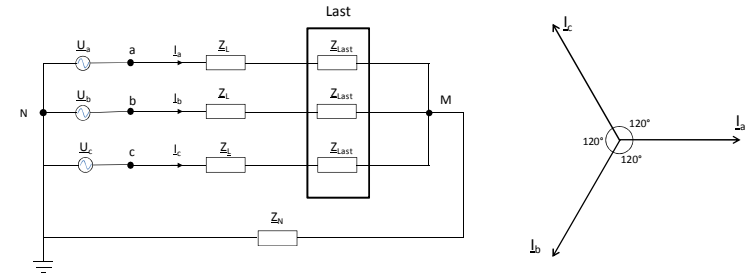
- a. (6) Wie groß ist die **längenbezogene symmetrische Betriebsinduktivität** der Leitung?
- b. (4) *Hinweis:* Rechnen Sie nun die weiteren Unterpunkte mit  $L' = 1.5\text{ mH/km}$  weiter. Wie groß ist der **Betrag des Wellenwiderstands der Leitung** unter der zusätzlichen Annahme, dass  $G' = 0\text{ S/km}$  und  $C' = 13\text{ nF/km}$  ist?
- c. (3) Die Leitung wird im Leerlauf betrieben. Wie groß ist die **Spannung am Ende** der Leitung, wenn sie als verlustlos betrachtet wird ( $R' = 0\frac{\Omega}{\text{km}}, G' = 0\frac{\text{S}}{\text{km}}$ )?
- d. (8) Die verlustlose Leitung wird an ihrem Ende mit einer dreiphasigen, induktiven Last (siehe Bild rechts) abgeschlossen und am Leitungsanfang mit Nennspannung betrieben. Wie groß ist die **Eingangsimpedanz  $Z_1$**  dieser Anordnung?



- e. (3) Wie groß ist die **natürliche Leistung** der verlustlosen Leitung?

5 Drehstromkomponentensystem (24 Punkte)

Leitungsimpedanz  $Z_L = 1\text{ }\Omega$ , Neutralleiterimpedanz  $Z_N = 0,333\text{ }\Omega$



- a. (4) Ein symmetrischer Drehstromverbraucher in Sternschaltung (siehe Skizze) besitzt folgende Nenndaten:  
 $U_{\text{Nenn}} = 40\text{ V}$   
 $S_{\text{Nenn}} = 1,6\text{ kW}$   
 $\cos\phi = 1$ .  
 Berechnen Sie die **komplexe Impedanz  $Z_{\text{Last}}$**  des Drehstromverbrauchers.
  - b. (4) Ermitteln Sie (für das gesamte Drehstromsystem entsprechend Skizze) **Null-, Mit- und Gegenimpedanz** ( $Z_{(0)}, Z_{(1)}, Z_{(2)}$ ).
- Durch Messung werden die Ströme in den einzelnen Phasen ermittelt:  
 $|I_a| = 8\text{ A}, |I_b| = 8\text{ A}, |I_c| = 10\text{ A}$   
 Phasenlagen entsprechend dem Zeigerdiagramm!
- c. (7) Berechnen Sie die **symmetrischen Stromkomponenten**  $I_{(0)}, I_{(1)}, I_{(2)}$ .
  - d. (4) Berechnen Sie die **symmetrischen Spannungskomponenten**  $U_{(0)}, U_{(1)}, U_{(2)}$ .
  - e. (5) Berechnen Sie die **Phasenspannungen** ( $U_a, U_b, U_c$ ).