

Schriftliche Prüfung aus Energieversorgung, am 20.06.2012

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

1. Betriebsparameter einer Freileitung und Leistungskompensation (24 Punkte)

Auf einem Donaumast ist ein 380 kV-Drehstromfreileitungssystem bestehend aus Viererbündeln mit den folgenden geometrischen Daten der Aufhängung aufgezo-gen (Koordinatenursprung = Mastfußpunkt):

$$\text{Leiter A: } x = 6m, \quad y = 25m$$

$$\text{Leiter B: } x = -7m, \quad y = 20m$$

$$\text{Leiter C: } x = -4m, \quad y = 28m$$

Der gegenseitige Abstand der Leiter a im Viererbündel beträgt 30 cm. Der Querschnitt eines Leiterseils berechnet sich auf $176,714 \text{ mm}^2$. Der spezifische Widerstand des Leitermaterials ist $0,0269 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$. Der Verseilungsfaktor beträgt 1,07. Die Leitung ist 600km lang und verdreht.

- (5) Wie groß ist die **längenbezogene symmetrische Betriebsinduktivität** der Leitung?
- (5) Wie groß ist die **komplexe Ausbreitungskonstante γ** unter der zusätzlichen Annahme, dass $G' = 0 \text{ S/km}$ und $C' = 12,6 \text{ nF/km}$ ist? Verwenden Sie die Näherung für die Dämpfungs- und Phasenkonstante ($R \ll \omega L, G \ll \omega C$).
- (4) Wie groß ist der **Wellenwiderstand der Leitung** unter der gleichen Annahme wie im Punkt b)?
- (6) Die Spannung am Leitungsende beträgt im **Leerlauf** $(470,348 - 15,826j) \text{ kV}$, die Leitung muss daher kompensiert werden. Welche **Kompensationsart** soll gewählt werden, damit am Ende der Leitung der Spannungsanstieg unter 10% bleibt? Berechnen Sie das **Kompensationselement**.
- (4) Wie groß ist die **natürliche Leistung der kompensierten Leitung**, wenn sie als verlustlose Leitung angenommen wird ($R' = 0 \Omega/\text{km}, G' = 0 \text{ S/km}$)?

2. Wirtschaftlichkeitsvergleich (24 Punkte)

Über das als Versuchsanlage gebaute Solarkraftwerk „Gemasolar“ (solarthermisches Kraftwerk mit Salzschmelze und Speicher) in Spanien sind folgende Angaben bekannt:

installierte Leistung	19,9 MW _{el}
Errichtungskosten	230 Mio. €
geschätzte Jahresenergieeinspeisung	110 GWh/a
leistungsabhängige Kosten	6% der Errichtungskosten pro Jahr

Um die Versuchsanlage beurteilen zu können, soll ein konventionelles GuD-Kraftwerk mit folgenden Daten betrachtet werden:

spezifische Errichtungskosten	650 €/kW _{el}
leistungsabhängige Kosten	95 €/kW _{el} a
Brennstoffkosten	0,40 €/m ³ Erdgas
Heizwert von Erdgas H _u	30 MJ/m ³
Gesamtwirkungsgrad	58 %
betriebsabhängige Kosten	0,001 €/kWh _{el}

Für beide Anlagen sollen eine Nutzungsdauer von 25 Jahren und ein Zinssatz am Kapitalmarkt von 7% gelten.

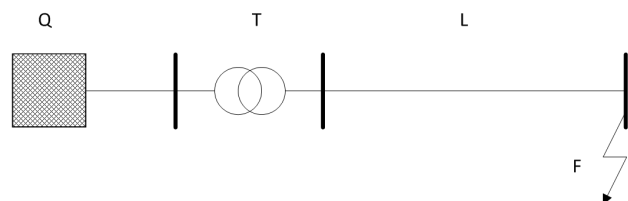
- (7) Ermitteln Sie die **Stromgestehungskosten für das Versuchskraftwerk „Gemasolar“**.
- (4) Wie hoch sind die **Stromgestehungskosten des GuD-Kraftwerks**, wenn es die gleiche Volllaststundenzahl pro Jahr aufweist, wie das Versuchskraftwerk?
- (6) Wie hoch dürften die **spezifischen Errichtungskosten** von „Gemasolar“ **maximal** sein, damit dieses mit dem konventionellen GuD-Kraftwerk konkurrieren kann?
- (7) Um zusätzliche 40 Mio. € könnte das Versuchskraftwerk „Gemasolar“ mit größeren Speichern ausgestattet werden, wodurch sich die Volllaststundenzahl um 10% erhöht. Wäre dies eine **sinnvolle Investition**?

3. Fünf Sicherheitsregeln (4 Punkte)

Bringen Sie die fünf Sicherheitsregeln in die richtige Reihenfolge:

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

4. Dreipoliger Kurzschluss (24 Punkte)



Die **Netzspeisung** weist folgende Kenndaten auf:

Nennspannung	U_{nQ}	110 kV
Kurzschlussleistung	S_{kQ}''	4 GVA
Sicherheitsfaktor	c	1,1
Resistanz-Reaktanz-Verhältnis	R_Q / X_Q	0,3

Der **Transformator** weist folgende Kenndaten auf:

Primärspannung	U_1	110 kV
Sekundärspannung	U_2	30 kV
Nennscheinleistung	S_N	40 MVA
Kurzschlussspannung	u_k	0,12
Kurzschlussverluste	P_k	430 kW

Die **Leitung** weist folgende Kenndaten auf:

Widerstandsbelag	R'	0,15 Ω/km
Induktivitätsbelag	L'	1 mH/km
Kapazitätsbelag	C'	10 nF/km
Länge	l	50 km

Am Ende der Leitung ereignet sich ein **3-poliger Kurzschluss**.

- Berechnen Sie die **Netzimpedanz** (Resistanz und Reaktanz) bezogen auf die Kurzschlussseite (Leitung).
- Berechnen Sie die **Transformatorimpedanz** (Resistanz und Reaktanz) bezogen auf die Kurzschlussseite (Leitung).
- Berechnen Sie die **Leitungsimpedanz** (Resistanz und Reaktanz) bezogen auf die Kurzschlussseite (Leitung).
- Berechnen Sie die **Gesamtimpedanz** (Resistanz und Reaktanz) bezogen auf die Kurzschlussseite (Leitung).
- Berechnen Sie den dreiphasigen **Anfangs-Kurzschlussstrom** I_{k3p}'' .
- Berechnen Sie den maximalen **dreiphasigen Stoßstrom** i_p
HINWEIS: $i_p = \sqrt{2} (1 + e^{-t.R/L}) I_{k3p}''$ „worst case“ für $t \cong 10$ ms
- Wie hoch ist der Anfangs-Kurzschlussstrom I_{k3p}'' , wenn der dreipolige **Fehler** nicht am Ende der Leitung sondern auf der **Primärseite** des **Transformators** erfolgt?

5. Wasserkraft (24 Punkte)

Ein Pumpspeicherkraftwerk weist folgende Kenndaten auf:

Volumen Obersee	V_{OS}	60 Mio. m ³
Volumen Untersee	V_{US}	20 Mio. m ³
Füllstand Obersee (des Volumens)		40 %
Füllstand Untersee (des Volumens)		75 %
mittlere Fallhöhe	h	231 m
Nenndurchfluss	Q_N	110 m ³ /s
Hydraulischer Wirkungsgrad	η_H	94 %
Turbinenwirkungsgrad	η_T	90 %
Pumpenwirkungsgrad	η_P	88 %
Elektrischer Wirkungsgrad	η_{el}	96 %
Eigenbedarfsfaktor	ε	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?
- Um wie viel °C würde die **Temperatur** des **Speicherinhalts** des **Untersees steigen**, wenn genau die **potenzielle Energie** aus Punkt (a) **zugeführt** wird?
HINWEIS: $c_{p\text{ Wasser}} = 4,18 \frac{J}{g.K}$
- Wie hoch ist die **elektrische Nennleistung** P_{el} des Pumpspeicherkraftwerks im **Turbinenbetrieb**?
- Wie lange** kann unter den gegebenen Füllständen das Kraftwerk im **Turbinenbetrieb** gefahren werden?
HINWEIS: es finden keine weiteren Zu- oder Abflüsse aus Ober- und Untersee statt.
- Welche **elektrische Energie** wird in dem Zeitraum aus Punkt (d) abgegeben?