

Teilaufgabe 1: Dampfturbine

(20 Punkte)

Der Generator eines Kraftwerks hat im Nennbetrieb eine Leistung von $P_K = 1300$ MW. Er wird von einer Turbine angetrieben, mit der er über eine starre Welle verbunden ist. Die Welle zeige in x -Richtung. Das Trägheitsmoment I_x des gesamten rotierenden Systems aus Turbine und Generator, des sogenannten Turbosatzes, bezüglich der Welle beträgt $3,8 \cdot 10^5 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. Der Turbosatz rotiert mit der Netzfrequenz von $\nu = 50$ Hz.

- a) Berechnen Sie die Rotationsenergie des Turbosatzes im Nennbetrieb sowie den Betrag der Winkelgeschwindigkeit und des Drehimpulses des Turbosatzes. Geben Sie die Richtung an, in die die Winkelgeschwindigkeit und der Drehimpuls zeigen.

(5 Punkte)

- b) Die Schaufelräder im Niederdruckteil der Turbine haben einen Durchmesser von 3,8 m. Berechnen Sie die Geschwindigkeit, mit der sich die äußeren Spitzen der Turbinenschaufeln bewegen.

(2 Punkte)

- c) Zeigen Sie, dass für das Drehmoment, das im Nennbetrieb benötigt wird, um eine konstante Rotationsfrequenz aufrecht zu erhalten, in Abhängigkeit von der durch das Kraftwerk erbrachten Leistung P_K und der Winkelgeschwindigkeit ω gilt:

$$M = \frac{P_K}{\omega}$$

Berechnen Sie den entsprechenden Zahlenwert für das hier betrachtete Kraftwerk.

(5 Punkte)

- d) Die Last, d.h. die dem Generator entnommene Leistung P_{Last} , muss aufgrund von Bedarfsschwankungen von Seiten des Stromnetzes nicht notwendigerweise mit der Kraftwerksleistung P_K übereinstimmen. Die Leistungsdifferenz wird in dem Fall durch eine Änderung der im Turbosatz gespeicherten Rotationsenergie ausgeglichen, wobei sich die Winkelgeschwindigkeit des Turbosatzes ändert. Geben Sie für den Fall $P_K \neq P_{\text{Last}} = \text{const.}$ die Winkelgeschwindigkeit $\omega(t)$ des Turbosatzes zum Zeitpunkt t an, wenn die Winkelgeschwindigkeit zum Zeitpunkt $t = 0$ den Wert ω_0 hatte. (Hinweis: Betrachten Sie den Unterschied der Rotationsenergie zum Zeitpunkt t und $t = 0$)

(6 Punkte)

- e) Das hier betrachtete Kraftwerk soll plötzlich 35 MW zusätzlich liefern, dabei ändert sich die Kraftwerksleistung von 1300 MW jedoch nicht (da sonst Überlast). Wie lange dauert es, bevor die Rotationsfrequenz unter den minimal zulässigen Wert von 49,8 Hz abgesunken ist?

(2 Punkte)

Teilaufgabe 2: Eisberg

(20 Punkte)

1912 kollidierte das Personenschiff Titanic mit einem Eisberg und sank. Durch den Atlantik driftend gelangte der Eisberg in wärmere Regionen, die ihn zum Schmelzen brachten. Nehmen Sie der Einfachheit halber an, dass er während der Drift weder seine Temperatur noch sein Volumen geändert hat. Seine Anfangstemperatur betrage -5°C , sein Volumen $2,0 \cdot 10^6 \text{m}^3$. Erst im wärmeren Wasser beginne er zu schmelzen

- a) Berechnen Sie die Wärmemenge, die dem Meer ($T=13^{\circ}\text{C}$) entzogen wird, um den verbleibenden Eisberg komplett zu schmelzen und das aus ihm entstehende Wasser dann auf $T=13^{\circ}\text{C}$ zu erwärmen. (5 Punkte)
- b) Die Schiffsschrauben der RMS Titanic wurden von zwei riesigen Dampfmaschinen mit jeweils 15000 PS (entsprechend 11000 kW) angetrieben. Nehmen Sie an, dass man die Dampfmaschine als Carnot-Maschine betrachten kann. Skizzieren und erklären Sie die Arbeitsschritte einer Carnot-Maschine im pV-Diagramm. Geben Sie an, in welcher Richtung der Kreisprozess durchlaufen wird. Begründen Sie, weshalb der Wirkungsgrad einer einfachen Dampfmaschine deutlich niedriger ist als der einer idealen Carnotmaschine. (5 Punkte)
- c) Die Titanic hatte zum Betrieb ihrer Dampfmaschinen insgesamt 29 Kessel, für deren Beheizung ca. 620 t Kohle pro Tag verfeuert wurden. Es sei vereinfachend angenommen, dass der ‚Heizwert‘ der verfeuerten Kohle 30 MJ/kg ist. Berechnen Sie die Wassermenge, die mit den 620 t Kohle pro Tag von $T=4^{\circ}\text{C}$ zum Kochen gebracht und schließlich in Dampf (100°C) verwandelt werden kann. (5 Punkte)
- d) Berechnen Sie hieraus, welche Leistung eine ideale Wärmekraftmaschine hiermit erreichen könnte, wenn die Temperatur des Heißdampfs 300°C beträgt und er sich im Prozess auf 110°C abkühlt. Vergleichen Sie dies mit der tatsächlichen Leistung und bestimmen Sie den erreichten Wirkungsgrad. (5 Punkte)

Teilaufgabe 3: Abbildung durch eine Linse

(20 Punkte)

Ein 10 cm hoher Gegenstand befinde sich 20 cm vor einer dünnen Sammellinse. Das Medium, in dem sich Gegenstand, Linse und Abbildung befinden, habe den Brechungsindex $n_1 = 1,3$ (Wasser). Die Brennweite der Linse sei im Wasser $f = 10$ cm.

- a) Skizzieren Sie den Strahlengang der Hauptstrahlen und konstruieren Sie damit das Bild des Gegenstandes.

(4 Punkte)

- b) Berechnen Sie die Position des Bildes und dessen Vergrößerung. Geben Sie an, ob das Bild reell oder virtuell ist.

(4 Punkte)

Nun besitze das Medium hinter dem hinteren Brennpunkt einen Brechungsindex von $n_2 = 1$ (Luft). Damit befindet sich beim hinteren Brennpunkt der Linse eine Grenzfläche (senkrecht zur optischen Achse), die das Medium mit $n_1 = 1,3$ vom Medium mit $n_2 = 1$ trennt.

- c) Skizzieren Sie den Verlauf der Hauptstrahlen unter den neuen Bedingungen.

(3 Punkte)

- d) Bestimmen Sie den Winkel, um welchen die Grenzfläche um den hinteren Brennpunkt der Linse entgegen dem Uhrzeigersinn gedreht werden muss, damit der Mittelpunktstrahl Totalreflexion erfährt. Geben Sie an, ab welchem Einfallswinkel des Mittelpunktstrahls sich ein zusätzliches Bild des Gegenstandes durch Reflexion an der Grenzfläche ergibt. (5 Punkte)

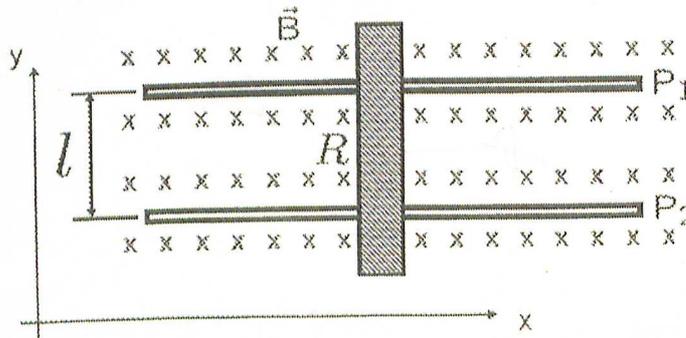
- e) Betrachten Sie nun einen 1 cm hohen Gegenstand.

Begründen Sie, dass die Bildgröße 1 cm beträgt. Berechnen Sie damit und mit Hilfe der Skizze aus c) die Bildweite des Gegenstands.

(4 Punkte)

Teilaufgabe 4: Stab im Magnetfeld

(20 Punkte)



Gegeben sei ein Metallstab der Masse M mit elektrischem Widerstand R , der senkrecht auf zwei parallele Metallschienen im Abstand l gelegt wird (s. Skizze). Der elektrische Widerstand der Metallschienen sei vernachlässigbar und der Metallstab soll sich reibungsfrei auf den Metallschienen bewegen können. Die Anordnung befindet sich in einem homogenen Magnetfeld B , das senkrecht in die durch die Schienen und den Stab aufgespannte Ebene hineinzeigt. An die Punkte P_1 und P_2 sei der Plus- bzw. Minus-Pol einer Spannungsquelle angeschlossen, so dass der Strom im Stab in negative y -Richtung fließt.

Techn

- a) Geben Sie die Stromstärke im Metallstab an, wenn die Spannung U angelegt wird und der Stab sich in Ruhe befindet. Bestimmen Sie für diesen Fall den Betrag und die Richtung der Kraft, die durch das Magnetfeld B auf den vom Strom I durchflossenen Stab wirkt. (4 Punkte)
- b) Bewegt sich der Stab aufgrund der Kraft F mit einer Geschwindigkeit v , wird eine Gegenspannung U_G induziert. Zeigen Sie, dass gilt: $U_G = -Blv$. (4 Punkte)
- c) Zeigen Sie, daß der Stab eine endliche Endgeschwindigkeit v_e erreicht und stellen Sie für diese eine Beziehung auf. (6 Punkte)
- d) Bestimmen Sie die Stromstärke I_e , wenn der Stab seine Endgeschwindigkeit erreicht hat. (2 Punkte)
- e) Die Spannungsquelle wird jetzt zwischen den Punkten P_1 und P_2 kurzgeschlossen. Geben Sie an, in welche Richtung der Strom jetzt fließt und begründen Sie, warum der Stab zur Ruhe kommt. Bestimmen Sie die in dem Widerstand R dissipierte Energie als Funktion der Endgeschwindigkeit v_e , nachdem der Stab zur Ruhe gekommen ist. (4 Punkte)