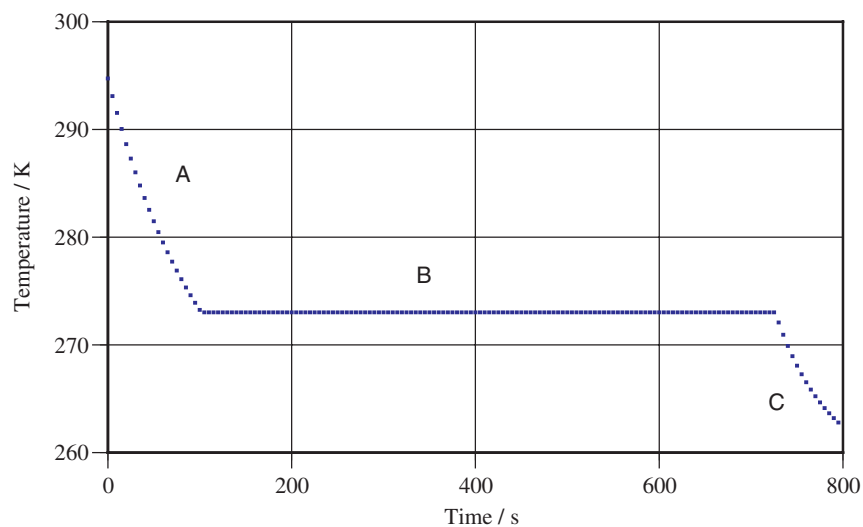
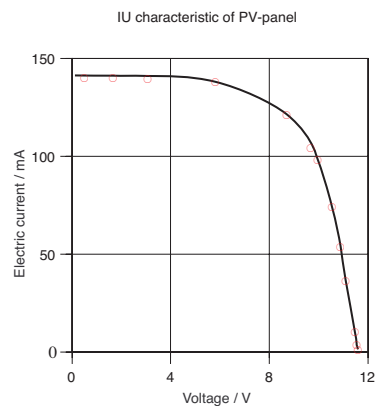
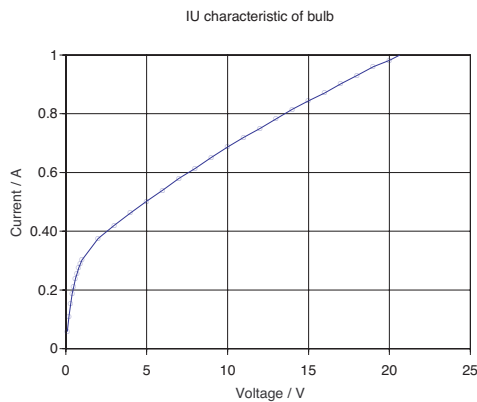


1. Eine kleine Menge Wasser (5.0 ml) wird in ein Reagenzglas gegeben. Das Reagenzglas wird in eine Eis-Wasser-Salzlösung gestellt, die eine konstante Temperatur von -15°C aufweist. Die Temperatur des Wassers im Reagenzglas wird gemessen (siehe Diagramm).



- Erklären Sie die Beobachtung. Was macht die Entropie des Wassers in dieser ganzen Periode (Phasen A, B und C)?
- Wie gross ist die Temperaturänderungsrate kurz vor der Zeit, wo die Temperatur konstant wird (kurz vor Phase B)?
- Bestimmen Sie für die Zeit kurz vor Phase B den Energiestrom in das (oder aus dem) Wasser im Reagenzglas.
- Wie gross ist der Energieleitwert für diese Situation?
- Nehmen Sie an, der Energieleitwert ändere sich die ganze Zeit nicht. Wieviel Energie fliesst während der Phase B in das (oder aus dem) Wasser?
- Wieviel Entropie wurde dem Wasser im Reagenzglas während der Phase B zugeführt (oder aus ihm abgeführt)?
- Wie gross ist demnach die spezifische Schmelzentropie von Wasser?

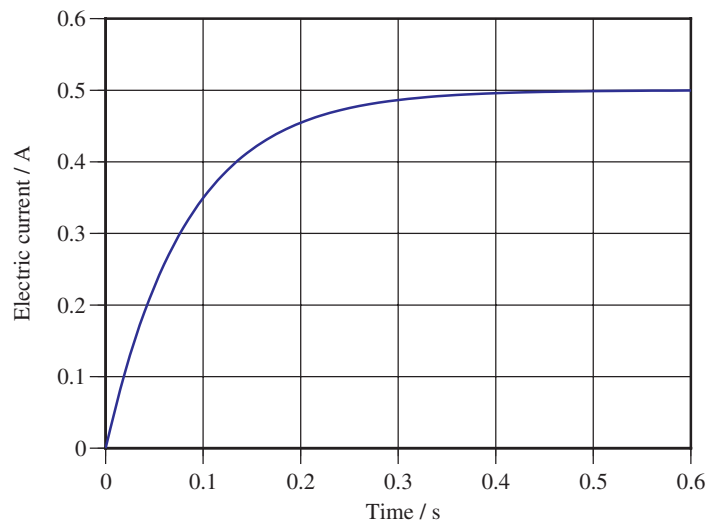
2. Ein Automotor wird konstant betrieben. Das Benzin liefert Energie mit einer Rate von 400 kW, die gemessene mechanische Leistung des Motors beträgt 100 kW. Die Entropie wird dem Motor bei 900 K zugeführt, die Kühlertemperatur ist 300 K.
- Skizzieren Sie ein Prozessdiagramm (mit Träger- und Energieströmen) für den Motor (ein einziges System zwischen "Ofen" und Kühler).
 - Wie gross ist der Entropiestrom in den Motor hinein?
 - Wie gross ist die thermische Leistung?
 - Wenn der Motor ideal operieren könnte, wie gross wäre dann der Entropiestrom an den Kühler? Wie gross wäre der Energiestrom an den Kühler?
 - Wie gross ist der Energiestrom an den Kühler wirklich?
 - Wie gross ist die Entropieproduktionsrate im Motor? (D.h. zwischen "Ofen" und Kühler?)
3. Eine Glühlampe mit einer gemessenen Charakteristik wie im linken Diagramm soll an ein oder mehrere PV Panel angeschlossen werden. Die Lampe wird normalerweise bei einer Spannung um 10 V betrieben. Die Charakteristik eines Panels wurde bei einer Einstrahlung von 400 W/m^2 gemessen (rechtes Diagramm). Das Panel besteht aus 21 Zellen mit je einer Fläche von 15 cm^2 .



- Wenn die Lampe an eine ideale Spannungsquelle von 10 V angeschlossen wird, was ist dann ihre elektrische Leistung?
- Wie gross ist für diesen Fall der Widerstand des Glühdrahtes?
- Beim Glühdraht handelt es sich um einen normalen Metalldraht, bei dem der Ladungstransport ohmisch ist. Warum ist die Charakteristik nicht linear?

Nun soll die Lampe an ein oder an mehrere Panel angeschlossen werden. Die Strahlungsdichte ist 400 W/m^2 .

- d. Warum bringt es kaum etwas, wenn Sie die Lampe an ein einziges Panel anschliessen?
 - e. Sie können mehr gleiche Panels benützen. Wie schliessen Sie sie zusammen? Parallel oder in Serie (nur eine Wahl, keine Mischung der Schaltungsart!)? Warum?
 - f. Wenn man 7 Panels (parallel geschaltet) nimmt und die Lampe anschliesst, so wird sich fast exakt eine Spannung von 10 V über der Lampe einstellen. Warum ist das so? Benützen Sie die beiden Charakteristiken (zeichnen Sie wenn nötig ein neues Diagramm) um die Antwort klar zu begründen.
 - g. Was ist dann der Wirkungsgrad der des PV-Arrays (Array ist die Kombination der Panels)?
4. Eine Spule aus Kupferdraht befindet sich mit einer Spannungsquelle und einem Widerstandselement (10 Ohm) in einer Serie-schaltung. Die Spannungsquelle baut eine konstante Spannung von 6.0 V auf. Der elektrische Strom wurde bestimmt.



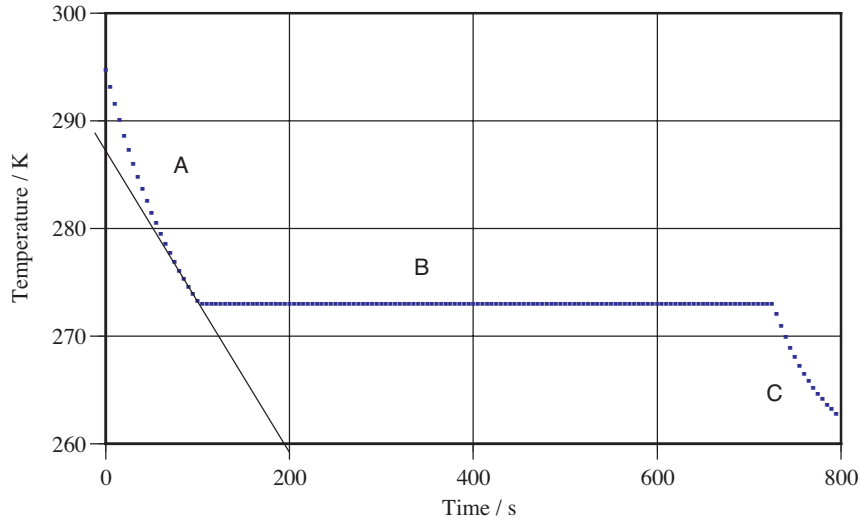
- a. Wie gross ist der Widerstand der Spule?
- b. Wie gross ist die Zeitkonstante dieses Systems?
- c. Wie gross ist die Induktivität der Spule?
- d. Wie gross ist die induktive Spannung zum Zeitpunkt von 0.10 s?
- e. Wie gross ist dann die Änderungsrate der Energie des Magnetfelds, das von der Spule aufgebaut wird?
- f. Wie gross ist in dem Moment die Dissipationsrate?

Solutions

1. Cooling water

- a. During the entire period, entropy flows out of the water (and ice) in the test tube (it flows into the cold mixture of ice, water, and salt). During phase A, there is water whose temperature decreases because of the decrease in entropy. In phase B, water turns into ice. In phase C, there is only ice that is getting colder.

b.



Slope of tangent: $dT/dt = -28.5 \text{ K} / 200 \text{ s} = -0.142 \text{ K/s}$

- c. Balance of energy and capacitive relation:

$$\begin{aligned}\dot{W} &= I_w, \quad \dot{W} = C\dot{T} = mc\dot{T} \\ \Rightarrow I_w &= mc\dot{T} = 0.0050 \cdot 4180 \cdot (-0.142) \text{ W} = -2.97 \text{ W}\end{aligned}$$

d.

$$\begin{aligned}I_w &= -G_w(T_w - T_a) \\ \Rightarrow G_w &= \frac{-I_w}{T_w - T_a} = \frac{2.97}{273 - 258} \frac{\text{W}}{\text{K}} = 0.198 \frac{\text{W}}{\text{K}}\end{aligned}$$

- e. If the energy conductance does not change, the energy current will be constant during phase B. Therefore

$$W_e = I_w \Delta t = -2.97 \text{ W} \cdot 620 \text{ s} = -1840 \text{ J}$$

- f. Since the temperature is constant, we can calculate the entropy transferred easily from the energy transferred:

$$S_e = \frac{W_e}{T} = \frac{-1840 \text{ J}}{273 \text{ K}} = -6.74 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

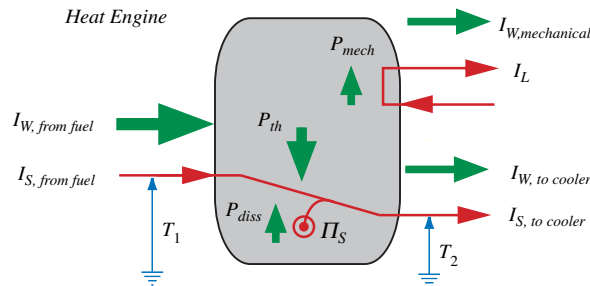
g.

$$S_e = \lambda_s m \Rightarrow \lambda_s = \frac{S_e}{m} = \frac{7.14}{0.0050} \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{kg}} = 1350 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{kg}}$$

The value is too large (by 10%). This is due to an overestimate of the rate of change of temperature.

2. Thermal power plant

- a. The engine works as follows. Entropy and energy flow into the engine from the burning fuel at the high temperature of 900 K. The entropy drops to 300 K and is emitted with less energy to the cooler. The energy released is used for driving the mechanical process if the engine works ideally. In the real case, part of the energy released is dissipated (produces more entropy). The rest drives the mechanical process.



- b. The energy current and entropy currents from the burning fuel to the engine are related by the temperature:

$$I_{S, fuel} = \frac{I_W}{T_H} = \frac{400 \cdot 10^3 \text{ W}}{900 \text{ K}} = 444 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

- c. The thermal power is given by the fall of entropy:

$$P_{th} = \Delta T I_S = 600 \text{ K} \cdot 444 \frac{\text{W}}{\text{K}} = 267 \text{ kW}$$

- d. Ideal: no entropy production, entropy current to cooler equals entropy current into engine:

$$I_{S, cooler} = 444 \frac{\text{W}}{\text{K}} \Rightarrow I_{W, cooler} = T_L I_{S, cooler} = 300 \text{ K} \cdot 444 \frac{\text{W}}{\text{K}} = 133 \text{ kW}$$

- e. Real energy current to cooler from balance of energy:

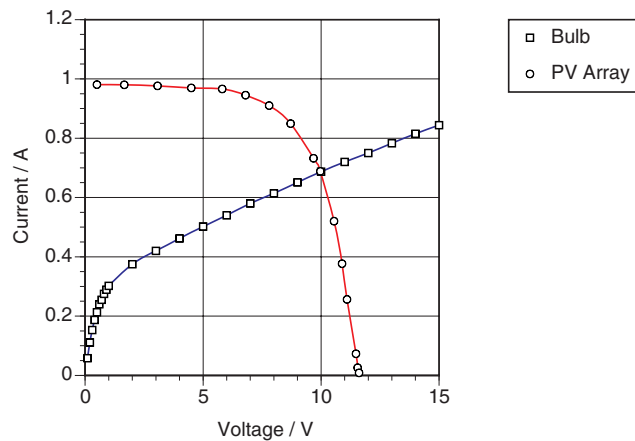
$$I_{W, cooler} = I_{W, fuel} - I_{W, mechanical} = 300 \text{ kW}$$

- f. Balance of entropy:

$$\Pi_S = I_{S, cooler} - I_{S, fuel} = \frac{I_{W, cooler}}{T_L} - I_{S, fuel} = \frac{300 \text{ kW}}{300 \text{ K}} - 444 \frac{\text{W}}{\text{K}} = 556 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

3. Bulb and PV panel

- Having an ideal voltage source for the lamp means that the voltage across the lamp is 10 V. From the characteristic, the electric current will be 0.69 A. The power therefore equals 6.9 W.
- The resistance of the filament must be $R = U/I_Q = 10 \text{ V} / 0.69 \text{ A} = 14.5 \ \Omega$.
- The resistivity of the material is temperature dependent. The resistivity increases with temperature. This makes the resistance larger with higher temperature. Therefore, for higher voltage and larger power, the resistance is larger, the current increases more slowly.
- The operating conditions of the system are found by superimposing the characteristics of bulb and PV panel. Where the characteristic curves intersect, we find the values pertaining to the operating conditions. With a single panel at an irradiance of 400 W/m^2 , the maximum possible current is less than 0.15 A. The voltage associated with this current is about 0.3 V.
- We want to have a higher current; the voltage possible with a single panel is high enough (maximum: 11.5 V). Therefore, we should connect several panels in parallel.
- With seven panels in parallel, the characteristic of the array is a curve having the shape of a single panel, but with a maximum current of close to 1 A (the maximum voltage of 11.5 V is still the same). The combined characteristic diagrams show the solution of the problem. (10 V, 0.69 A).



- The power of the lamp is as calculated in problem a, namely 6.9 W.

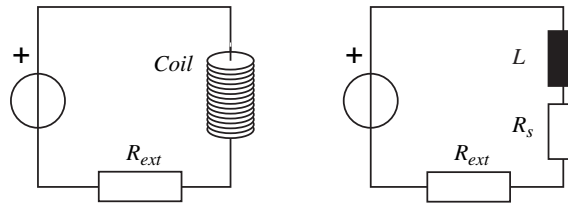
The energy current associated with solar radiation is found from the irradiance and the surface area of all the cells:

$$I_{W,rad} = AG = 7 \cdot 21 \cdot 15 \cdot 10^{-4} \cdot 400 \text{ W} = 88.2 \text{ W}$$

Therefore, the efficiency of the array is given by

$$\eta = \frac{P_{bulb}}{I_{W,rad}} = \frac{6.9}{88.2} = 0.078$$

4. Solenoid



- a. After long time—in steady-state—the voltage across the inductor (NOT the solenoid) is zero. The (measured) steady-state current is $I_{Q,ss} = 0.50$ A. Therefore,

$$U_B = U_{R_{ext}} + U_{R_s}, \quad U_B = R_{ext} I_{Q,ss} + R_s I_{Q,ss}$$

$$\Rightarrow R_s = \frac{1}{I_{Q,ss}} (U_B - R_{ext} I_{Q,ss}) = \frac{1}{0.50} (6.0 - 10 \cdot 0.50) \Omega = 2.0 \Omega$$

- b. The time constant: 63% of $I_{Q,ss}$ is 0.316 A is reached at $t = 0.085$ s (read from diagram).
 c. Use the relation between time constant, resistance, and inductance in a simple circuit:

$$\tau_L = \frac{L}{R} = \frac{L}{R_{ext} + R_s} \Rightarrow L = (R_{ext} + R_s) \tau_L = 12 \cdot 0.085 \text{ H} = 1.02 \text{ H}$$

- d. Loop rule and resistive relation (could also be obtained by determining the rate of change of the current in the graph, and using the law of induction):

$$U_B = U_L + U_{R_{ext}} + U_{R_s} = U_L + (R_{ext} + R_s) I_Q (0.10 \text{ s})$$

$$\Rightarrow U_L = U_B - (R_{ext} + R_s) I_Q (0.10 \text{ s}) = 6.0 \text{ V} - 12 \Omega \cdot 0.35 \text{ A} = 1.8 \text{ V}$$

- e. The rate of change of the energy of the magnetic field equals the rate of change of energy of the inductor. This is equal to the power of the inductive process:

$$\dot{W} = \mathcal{P}_{ind}$$

$$\mathcal{P}_{ind} = U_L I_Q (0.10 \text{ s}) = 1.8 \cdot 0.35 \text{ W} = 0.63 \text{ W}$$

- f. Energy is dissipated in the resistors. The dissipation rate equals the power of the resistors:

$$\mathcal{P}_{diss} = \mathcal{P}_R$$

$$\mathcal{P}_R = (U_{R_{ext}} + U_{R_s}) I_Q (0.10 \text{ s}) = 4.2 \cdot 0.35 \text{ W} = 1.47 \text{ W}$$