Natur, Technik, Systeme NTS1

Semesterend-Prüfung, Januar 2014

Erstes Semester Wirtschaftsingenieurwesen, ZHAW, WI13

Allgemeine Bemerkungen

Dauer der Prüfung: 150 Minuten.

Antworten müssen begründet und nachvollziehbar sein.

Erlaubte Hilfsmittel: **Bücher, Skript und persönlich verfasste Zusammenfassung**. Rechen- und Schreibzeugs.

Lösen Sie **jede Aufgabe auf einem separaten Blatt**. Die Blätter für die letzte Aufgabe müssen separat abgegeben werden!

Schreiben Sie jedes Blatt an (Name, Datum, Prüfung, Nummer der Aufgabe).

Geben Sie die Aufgabenblätter mit Ihren Lösungen ab. Schreiben Sie die Aufgabenblätter mit Ihrem Namen an.

Punkteverteilung:

Aufgabe 1: 6

Aufgabe 2: 7

Aufgabe 3: 13

Aufgabe 4: 14

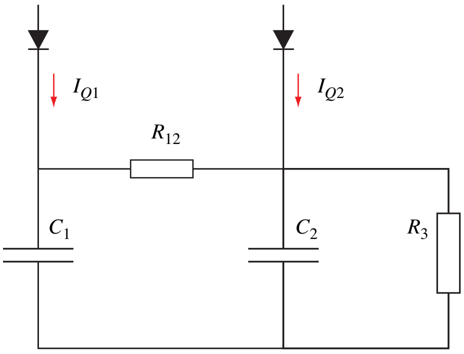
1. In einer Stadt wurde eine Baugrube mit senkrechten Wänden von 5.0 m Tiefe und einer Fläche von 300 m^2 gegraben. Wasser kann (1) wegen Regen direkt hineinfallen, (2) von den Wänden aus der Umgebung hineinsickern, (3) am Boden versickern, (4) verdunsten.

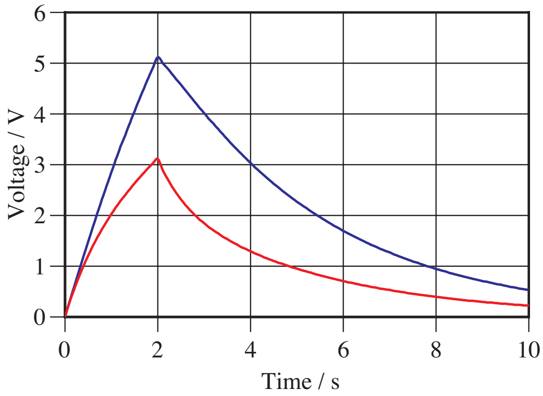
   a. Schreiben Sie die Volumenbilanz für das Wasser in der Baugrube in integrierter Form (d.h. in einer Form, die für eine bestimmte Zeitspanne gilt). [1 P]

   b. Zum Zeitpunkt $t = 0$ h fängt es an, konstant stark zu regnen. Der Regenfall hat eine Stärke von 20 mm/h und dauert 24 h. Beginnend bei $t = 12$ h fängt Wasser an, von den Wänden in die Baugrube zu sickern. Dieser Wasserstrom steigt in 12 h gleichmässig von 0 auf 5.0 m^3/h, bleibt 12 h konstant und sinkt dann in den nächsten 12 h wieder gleichmässig auf 0. Wenn am Anfang kein Wasser in der Grube war, und wenn Regen und Zufluss von den Wänden die einzigen Prozesse waren, wie sieht dann der Verlauf der Füllhöhe des Wassers in der Grube während der ersten 48 h aus? [3 P]

   c. Die Füllhöhe am Ende der 48 h Periode beträgt 60 cm. Wieviel Wasser ist versickert und verdunstet? [2 P]

2. Eine elektrische Schaltung besteht aus zwei Kondensatoren (beide mit einer Kapazität von 1.0 mF, anfänglich ungeladen) und zwei Widerstandselementen ($R_{12} = 2000\ \Omega$, $R_3 = 1000\ \Omega$). Mit Hilfe einer elektronischen Einrichtung werden die beiden elektrischen Ströme I_{Q1} und I_{Q2} geregelt. Sie sind gleich und betragen während der ersten zwei Sekunden 3.0 mA, sonst sind sie gleich Null. Im Diagramm sind die Spannungen U_{C1} und U_{C2} als Funktionen der Zeit dargestellt.



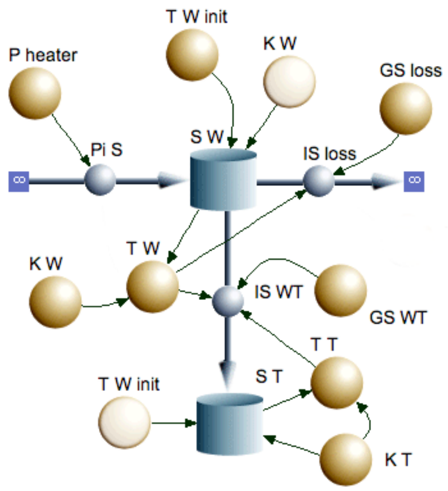


a. Bestimmen (und zeichnen) Sie so genau wie möglich mit Hilfe der Daten im Diagramm die Stärke des elektrischen Stromes durch das Widerstandselement R_{12} für die ersten 10 Sekunden. Machen Sie die selbe Arbeit für das Widerstandselement R_3. Erklären Sie Ihre Überlegungen und Rechnungen. [4 P]

b. Bestimmen Sie mit Hilfe der Ergebnisse aus a die elektrische Leistung über dem Widerstandselement R_{12} für die ersten 10 s, und berechnen Sie, wieviel Energie während der ersten 4 s im Widerstandselement R_{12} freigesetzt wurden. [3 P]

3. Eine kleine Menge Wasser (10 g) befindet sich in einem kleinen, nicht isolierten Gefäss. Im Wasser steckt ein träges Thermometer mit einer Zeitkonstante (in Wasser) von 10 s. Das Wasser kann elektrisch geheizt werden. Während 100 s ist die elektrische Heizleistung 10 W, sonst ist sie Null. Das Gefäss sitzt in einem Raum mit konstanter Temperatur von 293 K. Die Anfangstemperatur des Wassers und des Thermometers betragen beide 293 K.

   Im ersten Diagramm sieht man ein (unvollständiges) Diagramm eines dynamischen Modells für das System aus Wasser, Thermometer, Heizung und Umgebung. Parameter werden als konstant angenommen, die Entropieproduktion zwischen Wasser und Thermometer wird vernachlässigt. [P: Leistung, K: Entropiekapazität, S: Entropie, IS: Entropiestrom, Pi_S: Entropieproduktionsrate, GS: Entropieleitwert, T: Temperatur.]



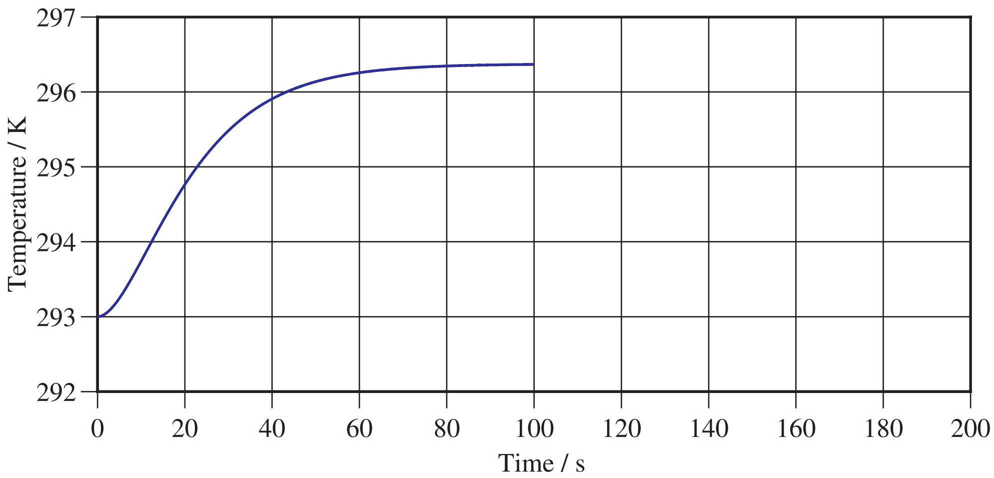
   Im zweiten Diagramm (auf der nächsten Seite) ist die Temperatur des Thermometers (TT) als Funktion der Zeit für die ersten 100 s gegeben.

   a. Vervollständigen Sie das Modelldiagramm grafisch und geben Sie die Gleichungen für die fehlenden Elemente und Beziehungen an. (Zeichnen und schreiben Sie die Lösung auf diesem Blatt.) [3 P]
   b. Bestimmen Sie die Änderungsrate der Temperatur des Wassers (nicht des Thermometers!) gerade am Anfang. Die Entropiekapazität des Wassers beträgt 0.13 J/K^2. [2 P]
   c. Bestimmen Sie mit Hilfe der gemessenen Temperatur den Entropieleitwert $G_{S,loss}$ für den Verlust an die Umwelt. [Sie sollten 0.010 W/K^2 erhalten.] [3 P]

d. Welche Zeitkonstante hat das Wasser? [1 P]

e. Skizzieren Sie im zweiten Diagramm die Temperatur des Wassers so genau wie möglich von 0 s bis 100 s mit Hilfe Ihrer bisherigen Berechnungen. Erklären Sie Ihre Lösung. [2 P]

f. Nach 100 s wird die Heizung abgestellt. Skizzieren Sie im zweiten Diagramm (auf diesem Blatt) die Temperaturen des Wassers und des Thermometers nach 100 s so genau wie möglich. Erklären Sie Ihre Lösung. [2 P]



4. Ein Teil einer Kläranlage besteht aus einem Klärbecken, in dem ein organischer Schadstoff A durch Mikroben zu unschädlichen Abbauprodukten abgebaut wird. Im Klärbecken befindet sich ein Volumen $V(t)$ an Wasser. Die Abbaureaktion im Klärbecken ist erster Ordnung, wird durch die Ratenkonstante k bestimmt und folgt der Reaktionsgleichung

$$A \xrightarrow{Mikroben} B + C + \ldots$$

Es interessiert hier lediglich der Schadstoff A. Der Schadstoff ist in Wasser gut löslich und im Wasservolumen im Klärbecken homogen verteilt. Das bedeutet, dass im gesamten Becken dieselbe Schadstoffkonzentration $c(t) = n(t) / V(t)$ vorliegt, wobei $n(t)$ die Stoffmenge des Schadstoffs im Klärbecken ist. Der Zufluss ins Klärbecken ist $I_{V,in}(t)$ und weist eine Konzentration von $c_{in}(t)$ des Schadstoffs auf.

Der Ausfluss aus dem Klärbecken ist $I_{V,out}(t)$ und weist – wegen der homogenen Verteilung des Stoffs – die Konzentration $c(t)$ auf.

a. Formulieren Sie die Wasserbilanz des Klärbeckens in momentaner Form, d.h. links des Gleichheitszeichens sollte nur $\dot{V}$ stehen. [1 P.]

b. Formulieren Sie die Bilanzgleichung für die Stoffmenge von A im Klärbecken – ebenfalls in momentaner Form. Hinweis: die Bilanz weist 3 Terme auf, zwei Flüsse und einen Vernichtungsprozess, d.h. den Abbau des Schadstoffs durch die Mikroben. [1 P.]

c. Kombinieren Sie nun die Bilanz aus Aufgabe b mit den konstitutiven Beziehungen für die beiden Stoffströme und die Vernichtungsrate für den Schadstoff A. Links vom Gleichheitszeichen sollte nur $\dot{n}(t)$ stehen, rechts dürfen nur die Grössen $c_{in}(t)$, k, $V(t)$, $n(t)$, $I_{V,in}(t)$, $I_{V,out}(t)$ vorkommen. [4 P.]

d. Unter welchen Bedingungen kann das Wasservolumen im Klärbecken *von Anfang an* einen stationären Zustand mit Volumen V^* annehmen? Wie gross ist V^*? [1 P.]

e. Gehen sie vom stationären Zustand des Wasservolumens aus Aufgabe d aus und nehmen Sie an, dass $c_{in}(t)$ konstant ist. Geben Sie für diese Situation die Stoffmenge n^* im Klärbecken im stationären Zustand an. [3 P.]

f. Nehmen Sie an, dass $c_0 = c(t = 0) = 0.010$ mol/m^3 ist, dass c_{in} konstant ist und 0.020 mol/m^3 beträgt, dass $I_{V,in}(t) = I_{V,out}(t) = 1.0$ m^3/s ist, dass $V = 1000$ m^3 beträgt und dass $k = 0$ ist. Skizzieren Sie den Verlauf von $c(t)$ vom Anfangszustand bis zum stationären Zustand der Konzentration c^*. Lassen Sie die Zeitachse unskaliert, geben Sie aber die Anfangs- und Endkonzentrationen von $c(t)$ auf der Ordinate mit Zahlen an. Aus der Skizze sollten die wesentlichen Eigenschaften der Kurve deutlich werden (Vorzeichen der Steigung und allenfalls der Wölbung). [2 P.]

g. Gehen Sie von derselben Situation wie in Aufgabe f aus, nehmen Sie nun aber an, dass k sehr gross ist ($k \to \infty$). Skizzieren Sie wieder den Zeitverlauf von $c(t)$. [2 P.]

Natural and Technical Systems NTS1

Final, January 2014

First Semester Wirtschaftsingenieurwesen, ZHAW, WI13

General Remarks

Duration of the exam: 150 minutes.

Answers must be explained and must be documented.

Allowed tools: **Books, lecture notes and personally written summary**. Calculators and writing materials.

Please solve **each problem on a separate sheet**. The last problem must be handed in separately.!

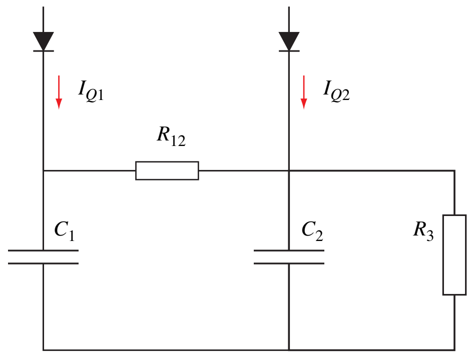
Write your name, date, exam, and number of problem on **every sheet**.

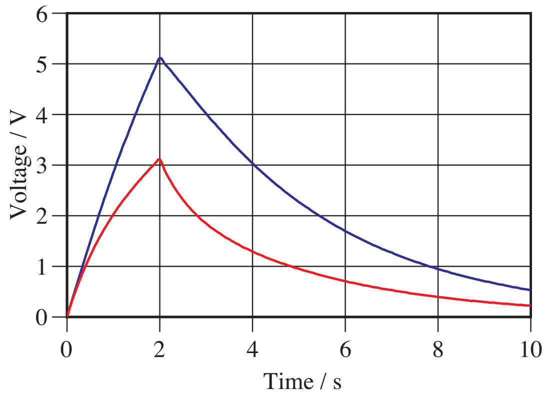
Hand in the problem statements with your solutions. Write your name on the problem statements!

Points:
Problem 1: 6
Problem 2: 7
Problem 3: 13
Problem 4: 14

1. In a city, a pit with straight walls for a building site was dug. The depth of the pit is 5.0 m, the surface area equals 300 m^2. Water may (1) flow in directly because of rainfall, (2) infiltrate through the walls from the environment, (3) drain away through the ground, and (4) evaporate.
   a. Formulate the balance of volume for water in the pit in integrated form (i.e., in a form applicable to a certain period of time). [1 P]
   b. At t = 0 h, rainfall begins. Precipitation is strong and constant having a strength of 20 mm/h for 24 h. Starting at t = 12 h, water begins to infiltrate through the walls into the pit. This current of water rises uniformly from 0 to 5.0 m^3/h in 12 h. It then stays constant for 12 h. Finally, it decreases uniformly to zero in the next 12 h. There was no water in the pit at the start (t = 0 h) and rain plus infiltration were the only processes during the phases described. Calculate and draw the level of water in the pit as a function of time for the first 48 h. [3 P]
   c. At the end of the 48 hour period, the level of water is 60 cm. How much water has drained away or evaporated? [2 P]

2. An electric (diagram on the left) circuit consists of two capacitors (both having a capacitance of 1.0 mF) and two resistors (R_{12} = 2000 Ω, R_3 = 1000 Ω). The electric currents I_{Q1} and I_{Q2} are controlled electronically. They are both equal to 3.0 mA for the first two seconds, otherwise they are equal to zero. In the second diagram, the voltages across the capacitors are shown as functions of time.



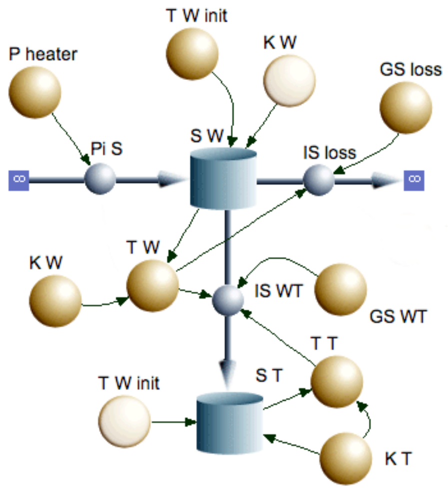


a. Determine and draw the electric current through resistor R_{12} as a function of time for the first 10 s. Use data from the diagram on the right. Then do the same for the current through R_3. Explain your thinking and your calculations. [4 P]

b. Using the results from problem a, determine the electric power of resistor R_{12} for the first 10 s and calculate the amount of energy released in the resistor during the first 4 seconds. [3 P]

3. A small amount of water (10 g) is inside a small uninsulated container. A thermometer having large inertia (with a time constant of 10 s) is placed in the water. The water can be heated electrically. For 100 s, the electric heating power equals 10 W, otherwise it is equal to zero. The container sits in a room having a constant temperature of 293 K. The initial temperatures of Water and thermometer are both 293 K.

The first diagram shows an incomplete flowchart of a dynamical model for the system consisting of water, thermometer, heater, and environment. Parameters are assumed to be constant. Entropy production between water and thermometer is to be neglected. [P: power, K: entropy capacitance, S: entropy, IS: entropy current, Pi_S: entropy production rate, GS: entropy conductance, T: temperature.]



The second diagram on the next page displays the temperature of the thermometer (TT) as a function of time for the first 100 s.

a. Graphically complete the flowchart and write the equations for the missing elements and relations. (Draw and write the solution on this sheet.) [3 P]

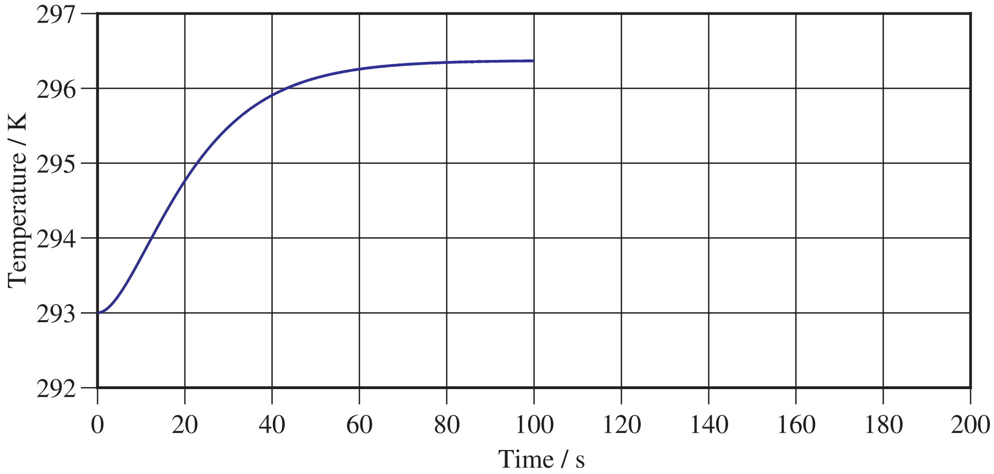
b. Determine the rate of change of temperature for the water (not the thermometer!) right at the start of the heating period. The entropy capacitance of the water equals 0.13 J/K^2. [2 P]

c. Using the measured temperature determine the entropy conductance $G_{S,loss}$ for the loss of entropy to the environment. [You should get a value of roughly 0.010 W/K^2.] [3 P]

d. What is the time constant of the water? [1 P]

e. In the second diagram, sketch the temperature of the water as carefully as possible from 0 s to 100 s using your previous results. Explain your solution. [2 P]

f. The heater is turned off after 100 s. Sketch the temperatures of water and thermometer after 100 s as carefully as possible in the diagram on this page. Explain your solution. [2 P]



4. A part of a water treatment plant consists of a basin where an organic contaminant A is decomposed into harmless components with the help of bacteria. In the basin, the water has a volume $V(t)$. The decomposing reaction is of first order and is determined by a rate constant k. It obeys the reaction equation

$$A \xrightarrow{Bacteria} B + C + \ldots$$

We are only interested in the contaminant A that is easily soluble in water and distributed homogeneously in the basin. This means that we have the same concentration $c(t) = n(t) / V(t)$ of contaminant A everywhere in the basin. $n(t)$ denotes the amount of contaminant in the basin. The inflow to the basin is $I_{V,in}(t)$ and has a concentration $c_{in}(t)$ of contaminant.

The outflow from the basin is $I_{V,out}(t)$. Because of the homogeneous distribution of contaminant, it has a concentration equal to $c(t)$.

a. Formulate the law of balance of water for the basin in instantaneous (dynamical) form. On the left of the equal sign, you should only have the term $\dot{V}$. [1 P.]

b. Formulate the law of balance of amount of substance of A in the basin, again in instantaneous form. Hint: There are three processes—two flows and one destruction process, meaning the decomposition of the contaminant by bacteria. [1 P.]

c. Combine the law of balance from problem b with the constitutive relations for the currents of amount of substance and the rate of destruction of A, i.e., determine the initial value problem for $n(t)$. On the left of the equal sign, we should only have $\dot{n}(t)$; on the right, the only quantities allowed are $c_{in}(t)$, k, $V(t)$, $n(t)$, $I_{V,in}(t)$, $I_{V,out}(t)$. [4 P.]

d. What are the conditions for the volume of water in the basin to be in steady-state *from the beginning*? What is the volume V^* in this steady-state? [1 P.]

e. Assume steady-state for the volume of water as in problem d. Furthermore, assume that $c_{in}(t)$ is constant. Calculate the amount of substance n^* in the basin for the steady state of the contaminant. [3 P.]

f. Assume values of $c_0 = c(t = 0) = 0.010$ mol/m^3, $c_{in} = 0.020$ mol/m^3 (constant), $I_{V,in}(t) = I_{V,out}(t) = 1.0$ m^3/s (constant), $V = 1000$ m^3, and $k = 0$. Sketch $c(t)$ starting from its initial value going to steady-state having a concentration c^*. Leave the time axis unscaled. However, show correct numerical values for the initial and final concentrations on the vertical axis. In the diagram, we should see the essential properties of the curve (Signs of slopes and possibly curvatures). [2 P.]

continued…

g. Assume the same situation as in problem f. Assume now that k is very large ($k \to \infty$). Again sketch $c(t)$ as a function of time. [2 P.]

SOLUTIONS

1. Building site pit

a. Law of balance

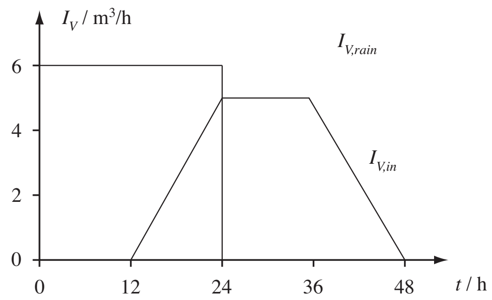
$$\Delta V = V_{e,rain} + V_{e,in} - V_{e,drain} - V_{e,evap}$$

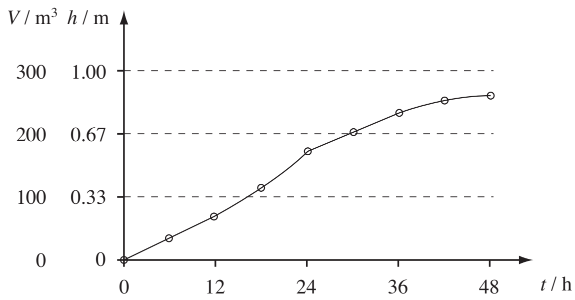
b.

$$I_{V,rain} = A\, j_V = 300 \cdot 0.020\,\mathrm{m}^3/\mathrm{h} = 6.0\,\mathrm{m}^3/\mathrm{h}$$

$$V(t) = \int_0^t \left(I_{V,rain} + I_{V,in}\right) dt$$

$$h(t) = V(t)/A$$





c.

$$\left(V_{e,drain} + V_{e,evap}\right) = \left(V_{e,rain} + V_{e,in}\right) - \Delta V$$

$$\Delta V = A \Delta h = 300 \cdot 0.60\,\mathrm{m}^3 = 180\,\mathrm{m}^3$$

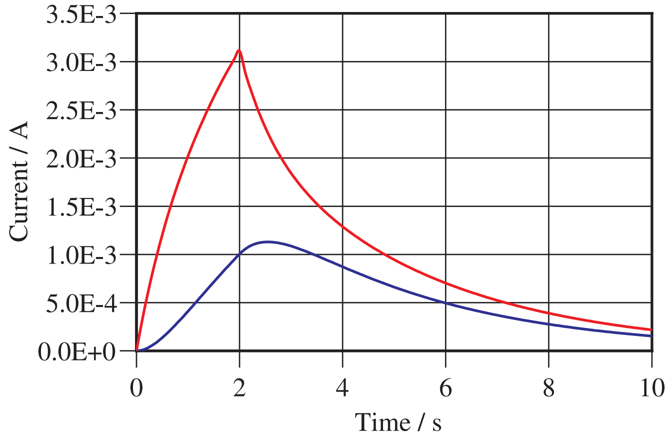
$$\left(V_{e,drain} + V_{e,evap}\right) = 264\,\mathrm{m}^3 - 180\,\mathrm{m}^3 = 84\,\mathrm{m}^3$$

2. Electric Circuit

a. Voltages across and currents through the resistors:

$$U_{R12} = U_{C1} - U_{C2} \quad \Rightarrow \quad I_{Q12} = \frac{U_{R12}}{R_{12}} = \frac{U_{C1} - U_{C2}}{R_{12}}$$

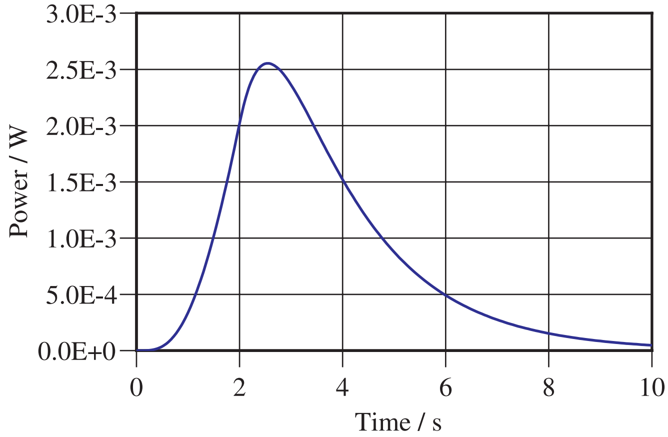
$$U_{R3} = U_{C2} \quad \Rightarrow \quad I_{Q3} = \frac{U_{C2}}{R_3}$$



b.

$$\mathcal{P}_{R12} = U_{R12} I_{Q12}$$

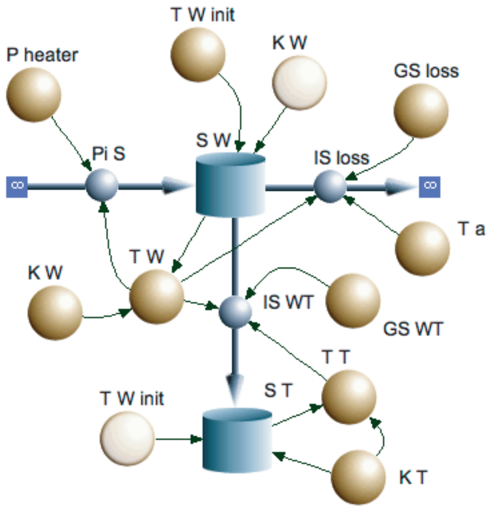
$$W_{el,R12}(0 \to 4\text{s}) = \int_{t=0}^{t=4\text{s}} \mathcal{P}_{R12}\, dt$$



Numerical integration from t = 0 s to t = 4 s: Wel,R12 ≈ $5.5 \cdot 10^{-3}$ J

3. Water and thermometer

a.



$$T_a = 293$$
$$I_{S,loss} = G_S\left(T_W - T_a\right)$$
$$\Pi_S = \frac{1}{T_W}\mathcal{P}_{heater}$$

b.

$$\dot{S} = K_W \dot{T}_W$$
$$\dot{S}(0) = \Pi_S(0) - I_{S,loss}(0)$$
$$\Pi_S(0) = \frac{1}{T_W(0)}\mathcal{P}_{heater}$$
$$\dot{T}_W = \frac{\dot{S}}{K_W} = \frac{\Pi_S(0)}{K_W} = \frac{\mathcal{P}_{heater}}{K_W T_W(0)}$$
$$= \frac{10}{0.13 \cdot 293}\frac{\text{K}}{\text{s}} = 0.263\frac{\text{K}}{\text{s}}$$

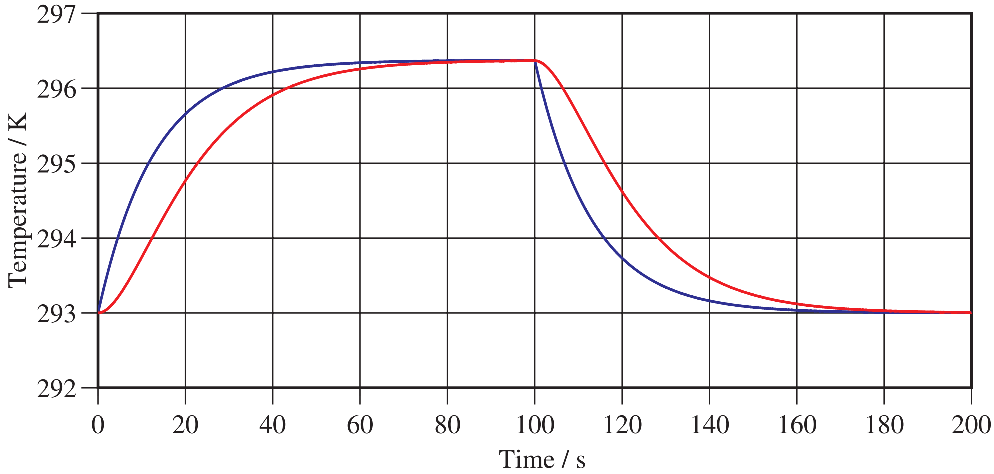
c.

$$\dot{S}_{steady\,state} = 0 \quad \Rightarrow \quad 0 = \Pi_S(100\text{s}) - I_{S,loss}(100\text{s})$$
$$G_{S,loss}\left(T_W(100\text{s}) - T_a\right) = \frac{1}{T_W(100\text{s})}\mathcal{P}_{heater}$$
$$T_W(100\text{s}) \approx T_T(100\text{s}) = 296.4\text{K}$$
$$G_{S,loss} = \frac{\mathcal{P}_{heater}}{T_W(100\text{s})\left(T_W(100\text{s}) - T_a\right)} = \frac{10}{296.4 \cdot (296.4 - 293)}\frac{\text{W}}{\text{K}^2} = 0.010\frac{\text{W}}{\text{K}^2}$$

d.

$$\tau_{W,C} = R_{S,loss}K_W = \frac{1}{G_{S,loss}}K_W = \frac{0.13}{0.010}\text{s} = 13\text{s}$$

e. f.



e. Construct the curve for TW on the basis of the time constant (or the initial rate of change of TW) and the steady state value of TT = TW.

f. Water and thermometer starting at T = 296.4 K and cooling in the environment at Ta. The functions for 100 s < t < 200 must be symmetrical to the ones between 0 s and 100 s. (Like in charging and discharging of a capacitor across the same resistor.)

4. Water treatment plant

a.

$$\dot{V}(t) = I_{V,in}(t) - I_{V,out}(t)$$

b.

$$\dot{n}(t) = I_{n,in}(t) - I_{n,out}(t) - \Pi_{n,Abbau}(t)$$

c.

$$I_{n,in} = c_{in}\, I_{V,in}$$

$$I_{n,out} = c\, I_{V,out} = \frac{n}{V} I_{V,out}$$

$$\Pi_{n,Abbau} = kn$$

$$\Rightarrow \quad \dot{n}(t) = c_{in}(t)\, I_{V,in}(t) - \frac{n(t)}{V(t)} I_{V,out}(t) - kn(t)$$

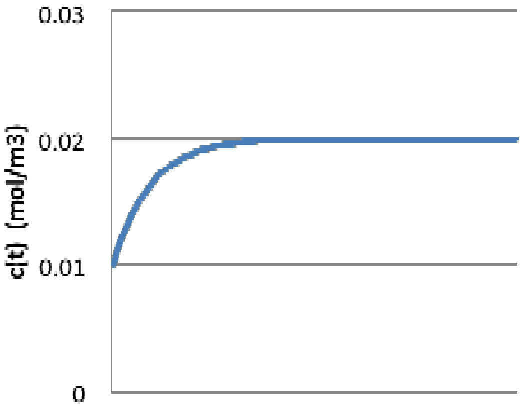
d.

$$\textit{If} \quad I_{V,in}(t) = I_{V,out}(t) \quad \textit{then} \quad V^{*} = V(t=0) = V_0$$

e.

$$n^* = \frac{c_{in} I_{V,in}}{\frac{I_{V,out}}{V^*} - k}$$

f.



g.