

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

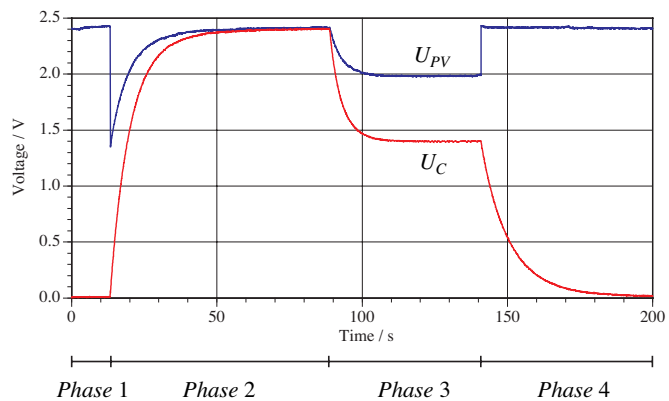
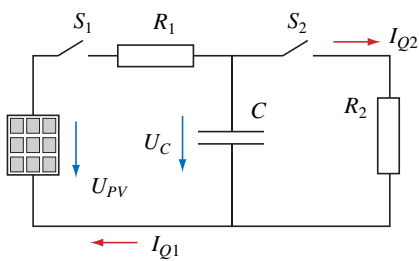
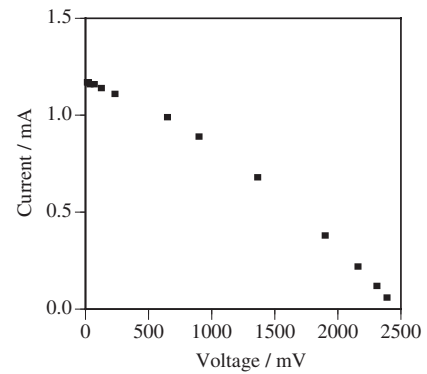
Antworten müssen begründet und nachvollziehbar sein.

### PV Panel und Kondensator

Ein Kondensator wird mit einem kleinen Photovoltaik-Panel aufgeladen und über einen Lastwiderstand ( $R_2$ ) entladen (siehe Diagramm der Schaltung). In der Schaltung hat es in jeder Schleife einen Schalter ( $S_1$  und  $S_2$ ). Mit der Schaltung wurde ein Experiment (in vier Phasen) durchgeführt, bei dem die Spannungen über dem PV-Panel und dem Kondensator als Funktionen der Zeit über eine Spanne von 200 s gemessen wurden (siehe Diagramm unten).

Bei den gleichen Strahlungsbedingungen wurde die Stromstärke-Spannungs-Charakteristik des Panels ausgemessen (nebenstehendes Diagramm).

Der Widerstand des Elementes  $R_1$  im Ladestromkreis beträgt  $2000 \Omega$ , derjenige des Lastwiderstandes  $R_2$  ist  $4700 \Omega$ .



- a. Betrachten Sie die gemessenen Daten für  $U_{PV}$  und  $U_C$ , und bestimmen Sie die Schalterstellungen für  $S_1$  und  $S_2$  für die dritte und vierte Phase. Erklären Sie kurz, was in diesen beiden Phasen passiert. [1 P]

	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
<b>Schalter 1</b>	Offen	Zu		
<b>Schalter 2</b>	Offen	Offen		

- b. Wie gross ist die elektrische Stromstärke im Ladestromkreis zum Anfang der Phase 2? Benutzen Sie zur Bestimmung zwei verschiedene Wege: (b1) Charakteristik des PV Panels, (b2) Spannung über dem Widerstand  $R_1$ . [1 P.]
- c. Wie gross ist die Leistung des PV Panels zum Zeitpunkt  $t = 20$  s? Wieviel der vom Panel zur Verfügung gestellten Energie geht in diesem Moment wohin? [1.5 P.]
- d. Wie gross würde die Spannung des Panels am Anfang der Phase 2, wenn der Widerstand  $R_1$  auf  $3000 \Omega$  geändert würde? Bemerkung: Sie kriegen eine nichtlineare Beziehung, die sie grafisch lösen können. Erklären Sie Ihr Vorgehen. [1.5 P.]
- e. Wie gross würde die Spannung des Panels am Anfang der Phase 2, wenn die Kapazität des Kondensators verdoppelt würde? ( $R_1$  ist wieder  $2000 \Omega$ ). [1 P.]
- f. Lesen Sie die Spannung des PV Panels während der stationären Phase in Phase 3 aus den Daten. Berechnen Sie nun die Spannung des Kondensators für diesen Bereich und vergleichen Sie Ihr Resultat mit den Messungen. [1 P.]
- g. Bestimmen Sie aus den Daten die Zeitkonstante der Entladung des Kondensators in Phase 4 so genau wie möglich. [1 P.]
- h. Bestimmen Sie die Kapazität des Kondensators. [1 P.]

## Solutions

### PV panel and capacitor

a.

	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
Schalter 1	Offen	Zu	Zu	Offen
Schalter 2	Offen	Offen	Zu	Zu

Phase 3: PV panel continues to deliver electric charge and charge flows through load resistor. First, the capacitor delivers some of the charge for the load until the voltage of the capacitor has dropped enough for steady-state (charge then flows directly from the PV panel to the load).

Phase 4: PV panel is disconnected. Capacitor discharges completely through load resistor.

b. (b1)  $U_{PV} = 1.4 \text{ V}$  (from diagram).  $I_{Q\_PV} = 0.75 \text{ mA}$  (from PV characteristic diagram).

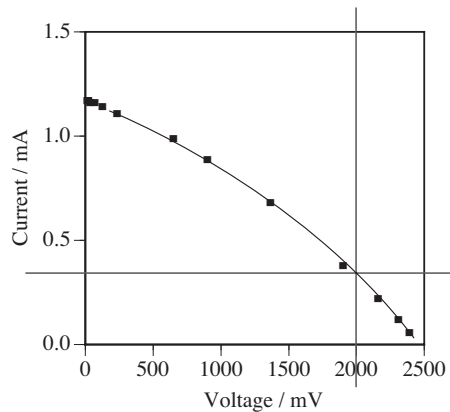
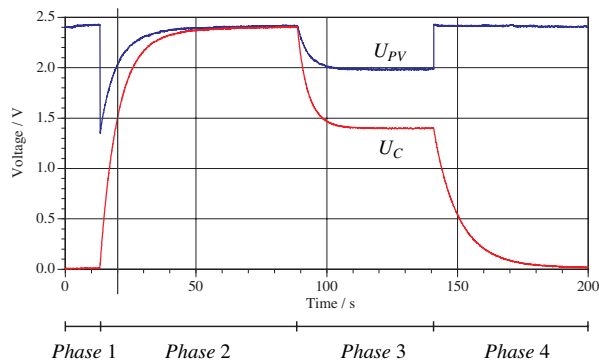
(b2)

$$U_{R1} = U_{PV} - U_C = 1.4 \text{ V} - 0 \text{ V} = 1.4 \text{ V}$$

$$I_{Q1} = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{1.4}{2000} \text{ A} = 0.70 \text{ mA}$$

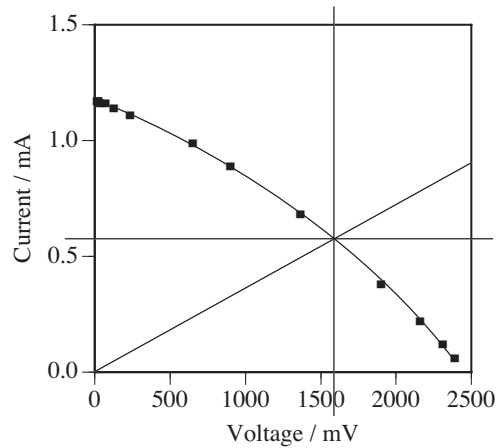
The results are slightly different because of errors in reading off the values from the graphs.

c. From graph:  $U_{PV}(t = 20\text{s}) = 2.05 \text{ V}$ . From characteristic for  $2.05 \text{ V}$ :  $I_{Q\_PV} = 0.33 \text{ mA}$ .  $P_{PV} = U_{PV} \cdot I_{Q\_PV} = 0.67 \text{ mW}$ .



From graph:  $U_C(t = 20\text{s}) = 1.5 \text{ V}$ . Current of energy going into the capacitor:  $I_{W\_C} = U_C \cdot I_{Q\_PV} = 1.5 \text{ V} \cdot 0.33 \text{ mA} = 0.50 \text{ mW}$ . Therefore, energy is dissipated in the resistor at a rate of  $0.67 \text{ mW} - 0.50 \text{ mW} = 0.17 \text{ mW}$ .

d. Voltage and current at that moment are determined in two ways: (1) by the PV Characteristic curve and (2) by the characteristic of the resistor (current and voltage have to satisfy Ohm's law). The characteristic of the resistor is a linear function going through the origin with a slope corresponding to the resistance of  $3000 \Omega$ . One can find the actual values of voltage and current as the intersection of the two characteristic curves (see figure below). We find a voltage of roughly  $1.6 \text{ V}$  and a current of about  $0.55 \text{ mA}$ .



e. A change in the capacitance of the capacitor does not lead to a change of the voltage of the PV panel at this point. This is so since the capacitor is uncharged at the beginning, i.e., its voltage will be zero at the beginning irrespective of the capacitance. Put differently, voltages and current are determined only by the PV panel and by the resistor.

f.  $U_{PV} = 2.0 \text{ V}$ . During this steady-state phase, the currents in the two branches are equal (the charge of the capacitor does not change!). Therefore, the voltages across the two resistors are related by:

$$I_{Q1} = I_{Q2}$$

$$\frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{U_{R2}}{R_2} \Rightarrow U_{R2} = \frac{R_2}{R_1} U_{R1}$$

$U_{R1}$  is determined by the loop rule in the left loop,  $U_{R2}$  is equal to  $U_C$  (loop rule for the right loop). Therefore:

$$U_{R2} = U_C$$

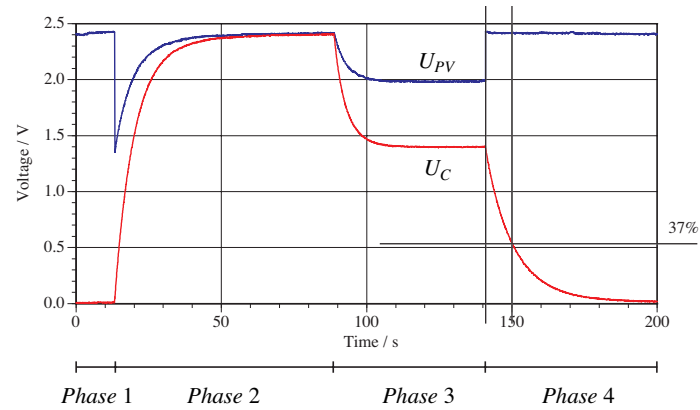
$$U_{R1} = U_{PV} - U_C$$

$$\Rightarrow U_C = \frac{R_2}{R_1} (U_{PV} - U_C) \Rightarrow \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_C = \frac{R_2}{R_1} U_{PV}$$

$$\Rightarrow U_C = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)^{-1} \frac{R_2}{R_1} U_{PV} = \left(1 + \frac{4700}{2000}\right)^{-1} \frac{4700}{2000} 2.0 \text{ V} = 1.4 \text{ V}$$

This agrees well with what we read from the diagram showing the data of the experiment.

g. The time constant is determined graphically: The voltage decreases to 37% of the initial 1.4 V in 9.0 s:



h. The capacitance of the capacitor can be determined with the help of the time constant of the right loop:

$$\tau = R_2 C$$

$$C = \frac{\tau}{R_2} = \frac{9.0}{4700} \text{ F} = 1.9 \cdot 10^{-3} \text{ F}$$