

Aufgaben zum Fach Technische Informatik

1. Semester / Wintersemester 1998/99

Aufgabe 1.5.1. - Schaltverhalten eines RC-Tiefpasses

Gegeben ist folgende Schaltung:

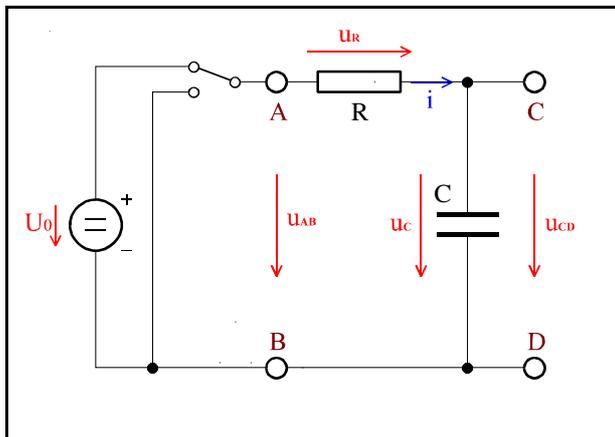


Abb. 1

$$U_0 = 4V$$

$$R = 1,5k\Omega$$

$$C = 100nF$$

$$f_1 = 100Hz$$

$$f_2 = 1kHz$$

$$f_3 = 10kHz$$

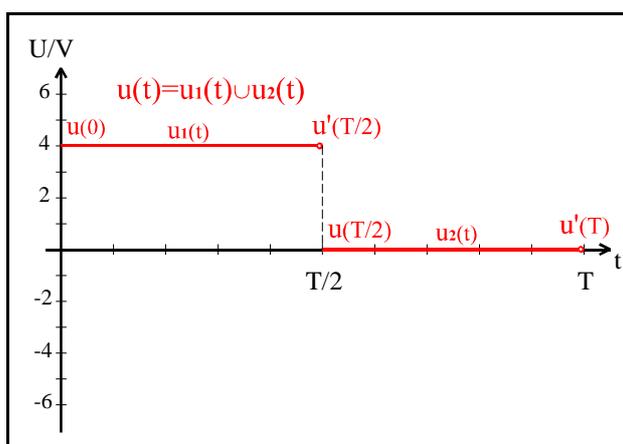


Abb. 2

$$u_1(t) = 4V \quad \text{für } t \in [0, T/2]$$

$$u_2(t) = 0V \quad \text{für } t \in [T/2, T]$$

Der Inhalt der Aufgabe ist die Untersuchung des Schaltverhaltens eines RC-Tiefpasses mittels eines Rechteckgenerators. Ein Rechteckgenerator kann durch eine Gleichspannungsquelle und einen Schalter simuliert werden.

Aufgaben:

Bestimmen Sie die Spannung über den Kondensator $u_c(t)$, über den Widerstand $u_R(t)$ und den Strom $i(t)$ für die Schrittweiten von $0,1 \cdot T$ von 0 bis T . Die Berechnungen erfolgen nur für die erste Periode.

1. Bestimmen Sie die Periodendauern T_1 für f_1 , T_2 für f_2 , T_3 für f_3 .
2. Bestimmen Sie die Spannungen über den Kondensator und den Widerstand sowie den Strom für die verschiedenen Frequenzen für die Ein- und Ausschaltphase.
 - 2.1 Bestimmen Sie die Spannungen $u_{C1}(t)$, $u_{R1}(t)$ und den Strom $i_1(t)$ für die Frequenz f_1 .
 - 2.2 Bestimmen Sie die Spannungen $u_{C2}(t)$, $u_{R2}(t)$ und den Strom $i_2(t)$ für die Frequenz f_2 .
 - 2.3 Bestimmen Sie die Spannungen $u_{C3}(t)$, $u_{R3}(t)$ und den Strom $i_3(t)$ für die Frequenz f_3 .
3. Zeichnen Sie unter Zuhilfenahme der Werte die Kurven für den Zeitverlauf.

Die Spannung $u(t)=u'(T/2)$ ist die Spannung im allerletzten Zeitpunkt vor dem Umschalten des Schalters. Die Spannung $u(t)=u(T/2)$ ist dagegen die Spannung sofort nach dem Umschalten des Schalters (ε -Umgebung). In beiden Fällen kann mit der Zeit $t=T/2$ gearbeitet werden, da diese Zeiten sehr nahe beieinander liegen.

Analog ist es mit $u(t)=u'(T)$.

Beachten Sie bitte, daß bei der vorliegenden Schaltung die Spannung über dem Widerstand und dem Kondensator stetisch verläuft d.h., daß die Spannung u_c für $u(t)=u'(T/2)$ [kurz vor dem Umschalten des Schalters] und für $u(t)=u(T/2)$ [nach dem Umschalten des Schalters] gleich ist, der Strom aber an der Stelle $t=T/2$ einen Sprung vollführt da der Eingang kurzgeschlossen wird und der Kondensator sich entlädt. Das bedeutet, daß der Strom für $u(t)=u'(T/2)$ [kurz vor dem Umschalten des Schalters] und für $u(t)=u(T/2)$ [nach dem Umschalten des Schalters] berechnet werden muß.

Beim Umschalten ist die zum Zeitpunkt des Umschaltens am Kondensator anliegende Spannung für U_0 zu verwenden. Bei höheren Frequenzen kann es vorkommen, daß nach der Zeit $T/2$ der Kondensator noch nicht voll aufgeladen ist. Die Zeit ist für den Zeitpunkt des Umschaltens $=0$ bzw. t ist als $t_a=t-T/2$ zu substituieren. Es gelten dann die Formeln für das Abschalten. Bei Schwierigkeiten schauen Sie bitte die Vorlesungsscripte TI1T5 - S.86 - S.91.

Beispiel für $f_3 = 10\text{kHz}$

$f_3 = 10\text{kHz} - T_3 = 100\mu\text{s}$			
t	$u_{C3}(t)$	$u_{R3}(t)$	$i_3(t)$
$10\mu\text{s}$			
$20\mu\text{s}$			
$30\mu\text{s}$			
$40\mu\text{s}$			
$(u') (50\mu\text{s})$			
$(u) t_a=50\mu\text{s}-50\mu\text{s}=0\mu\text{s}$			
$t_a=60\mu\text{s}-50\mu\text{s}=10\mu\text{s}$			
$t_a=70\mu\text{s}-50\mu\text{s}=20\mu\text{s}$			
$t_a=80\mu\text{s}-50\mu\text{s}=30\mu\text{s}$			
$t_a=90\mu\text{s}-50\mu\text{s}=40\mu\text{s}$			
$t_a=100\mu\text{s}-50\mu\text{s}=50\mu\text{s}$			

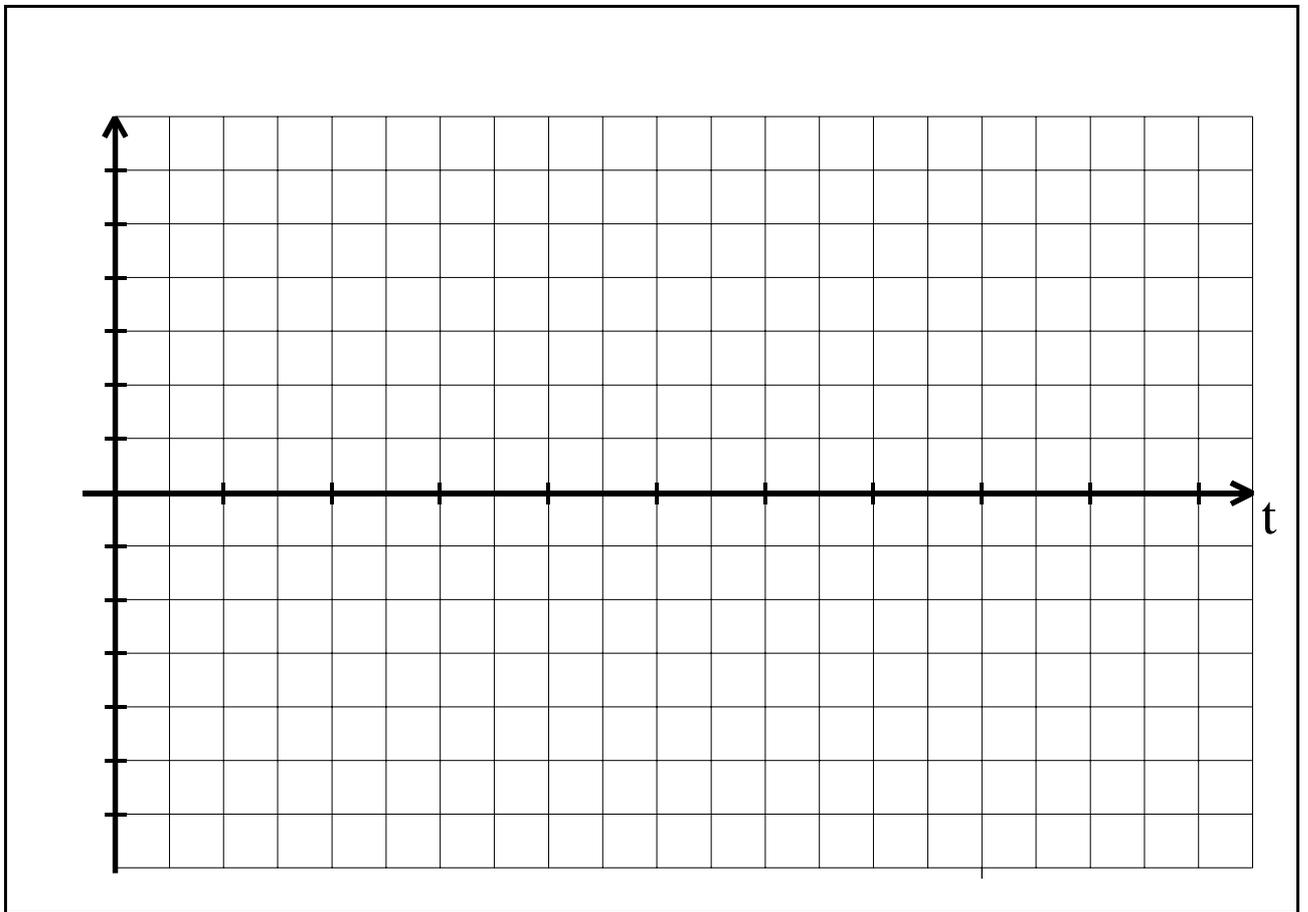


Abb. 3

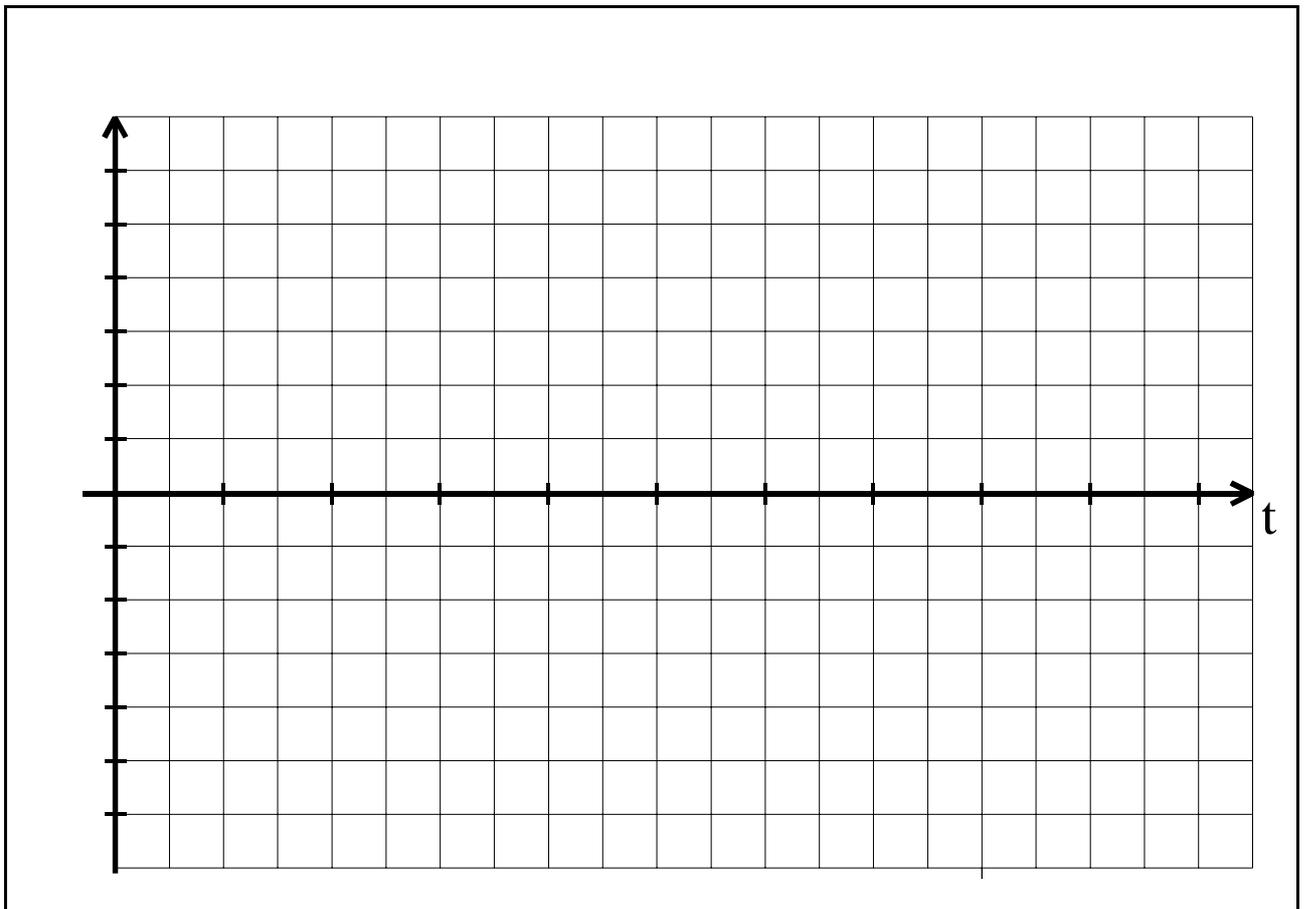


Abb. 4

Lösungen:

Lösung: Aufgabe 1.5.1.

1. Bestimmen Sie die Periodendauern T_1 für f_1 , T_2 für f_2 , T_3 für f_3 .

$$T_1 = 1/f_1$$

$$= 1/100 \text{ Hz} = 0,01 \text{ s} = 10 \text{ ms}$$

$$T_2 = 1/f_2$$

$$= 1/1 \text{ kHz} = 0,001 \text{ s} = 1 \text{ ms}$$

$$T_3 = 1/f_3$$

$$= 1/10 \text{ kHz} = 0,0001 \text{ s} = 100 \text{ }\mu\text{s}$$

2. Bestimmen Sie die Spannungen über den Kondensator und den Widerstand sowie den Strom für die verschiedenen Frequenzen für die Ein- und Ausschaltphase.

1. Einschaltphase

$$t_e = t \quad \text{für } t \in [0, T/2)$$

$$i(t_e) = I_0 \cdot e^{-\frac{t_e}{\tau}} \quad \text{mit } \tau = R \cdot C \quad \text{und} \quad I_0 = \frac{U_0}{R}$$

$$u_C(t_e) = U_0 - i(t_e) \cdot R = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t_e}{\tau}} \right) \quad \text{mit } \tau = R \cdot C$$

$$u_R(t_e) = i(t_e) \cdot R = I_0 \cdot e^{-\frac{t_e}{\tau}} \cdot R = U_0 - u_C(t_e) \quad \text{mit } \tau = R \cdot C \quad \text{und} \quad I_0 = \frac{U_0}{R}$$

2. Ausschaltphase

$$t_a = t - T/2 \quad \text{für } t \in [T/2, T)$$

$$i(t_a) = -I_{0C} \cdot e^{-\frac{t_a}{\tau}} \quad \text{mit } \tau = R \cdot C \quad \text{und} \quad I_{0C} = \frac{U_{0C}}{R}$$

$$u_C(t_a) = -i(t_a) \cdot R = U_{0C} \cdot e^{-\frac{t_a}{\tau}} \quad \text{mit } \tau = R \cdot C$$

$$u_R(t_a) = -u_C(t_a) = i(t_a) \cdot R = -U_{0C} \cdot e^{-\frac{t_a}{\tau}} \quad \text{mit } \tau = R \cdot C$$

2.1 Bestimmen Sie die Spannungen $u_{C1}(t)$, $u_{R1}(t)$ und den Strom $i_1(t)$ für die Frequenz f_1 .

2.1.1 Einschaltvorgang

$$\tau = R \cdot C = 1,5 \text{ k}\Omega \cdot 100 \text{ nF} = 150 \text{ }\mu\text{s}$$

$$i(t_e) = I_0 \cdot \exp(-t_e/\tau)$$

$$u_C(t_e) = U_0 - i(t_e) \cdot R$$

$$u_R(t_e) = U_0 - u_C(t_e)$$

$$T = 1/f = 1/100 \text{ Hz} = 10 \text{ ms}$$

$$I_0 = U_0/R = 4\text{V}/1,5 \text{ k}\Omega = 2,66667 \text{ mA}$$

2.1.2 Ausschaltvorgang

$$\tau = R \cdot C = 1,5 \text{ k}\Omega \cdot 100 \text{ nF} = 150 \text{ }\mu\text{s}$$

$$i(t_a) = - I_{0C} \cdot \exp(-t_a/\tau)$$

$$u_C(t_a) = - i(t_a) \cdot R$$

$$u_R(t_a) = - u_C(t_a)$$

$$T = 1/f = 1/100 \text{ Hz} = 10 \text{ ms}$$

$$U_{0C} = 4\text{V}$$

$$I_{0C} = U_{0C}/R = 4\text{V}/1,5 \text{ k}\Omega = 2,66667 \text{ mA}$$

$f_3 = 100 \text{ Hz} - T_3 = 10 \text{ ms}$			
t	$u_{C1}(t)$	$u_{R1}(t)$	$i_1(t)$
$t_e = 0 \text{ ms}$	0 V	4V	2,66667 mA
$t_e = 1 \text{ ms}$	3,99491 V	5,0905 4 mV	3,39369 μA
$t_e = 2 \text{ ms}$	$\approx 3,9999 \text{ V}$	6,47839 μV	4,31892 nA
$t_e = 3 \text{ ms}$	$\approx 4 \text{ V}$	8,24461 nV	5,49641 pA
$t_e = 4 \text{ ms}$	$\approx 4 \text{ V}$	10,4924 pV	6,99492 fA
(u') (5 ms)	$\approx 4\text{V}$	13,353 fV	8,90197 aA
(u) $t_a=5 \text{ ms}-5 \text{ ms}= 0 \text{ ms}$	4 V	-4V	-2,66667 mA
$t_a=6 \text{ ms}-5 \text{ ms}= 1 \text{ ms}$	5,0905 4 mV	-5,0905 4 mV	-3,39369 μA
$t_a=7 \text{ ms}-5 \text{ ms}= 2 \text{ ms}$	6,47839 μV	-6,47839 μV	-4,31892 nA
$t_a=8 \text{ ms}-5 \text{ ms}= 3 \text{ ms}$	8,24461 nV	-8,24461 nV	-5,49641 pA
$t_a=9 \text{ ms}-5 \text{ ms}= 4 \text{ ms}$	10,4924 pV	- 10,4924 pV	-6,99492 fA
$t_a=10 \text{ ms}-5 \text{ ms}= 5 \text{ ms}$	13,353 fV	-13,353 fV	-8,90197 aA

2.2 Bestimmen Sie die Spannungen $u_{C2}(t)$, $u_{R2}(t)$ und den Strom $i_2(t)$ für die Frequenz f_2 .

2.2.1 Einschaltvorgang

$$\tau = R \cdot C = 1,5 \text{ k}\Omega \cdot 100 \text{ nF} = 150 \text{ }\mu\text{s}$$

$$i(t_e) = I_0 \cdot \exp(-t_e/\tau)$$

$$u_C(t_e) = U_0 - i(t_e) \cdot R$$

$$u_R(t_e) = U_0 - u_C(t_e)$$

$$T = 1/f = 1/1 \text{ kHz} = 1 \text{ ms}$$

$$I_0 = U_0/R = 4\text{V}/1,5 \text{ k}\Omega = 2,66667 \text{ mA}$$

2.2.2 Ausschaltvorgang

$$\tau = R \cdot C = 1,5 \text{ k}\Omega \cdot 100 \text{ nF} = 150 \text{ }\mu\text{s}$$

$$i(t_a) = -I_{0C} \cdot \exp(-t_a/\tau)$$

$$u_C(t_a) = -i(t_a) \cdot R$$

$$u_R(t_a) = -u_C(t_a)$$

$$T = 1/f = 1/1 \text{ kHz} = 1 \text{ ms}$$

$$U_{0C} = \mathbf{3,8573V}$$

$$I_{0C} = U_{0C}/R = 3,8573\text{V}/1,5 \text{ k}\Omega = \mathbf{2,57153 \text{ mA}}$$

$f_3 = 1 \text{ kHz} - T_3 = 1 \text{ ms}$			
t	$u_{C3}(t)$	$u_{R3}(t)$	$i_3(t)$
$t_e = 0 \text{ }\mu\text{s}$	0 V	4V	2,66667 mA
$t_e = 100 \text{ }\mu\text{s}$	1,94633 V	2,05367 V	1,36911 mA
$t_e = 200 \text{ }\mu\text{s}$	2,94561 V	1,05439 V	702,926 μA
$t_e = 300 \text{ }\mu\text{s}$	3,45866 V	541,341 mV	360,894 μA
$t_e = 400 \text{ }\mu\text{s}$	3,72207V	277,934 mV	185,289 μA
(u') (500 μs)	3,8573V	142,696 mV	9,51306 nA
(u) $t_a=500\mu\text{s}-500\mu\text{s}= 0 \text{ }\mu\text{s}$	3,8573V	-2,57153 mA	-2,57153 mA
$t_a=600\mu\text{s}-500\mu\text{s}= 100 \text{ }\mu\text{s}$	1,98041 V	-1,98041 V	-1,32027 mA
$t_a=700\mu\text{s}-500\mu\text{s}= 200 \text{ }\mu\text{s}$	1,01677 V	-1,01677 V	-677,85 μA
$t_a=800\mu\text{s}-500\mu\text{s}= 300 \text{ }\mu\text{s}$	522,029 mV	-522,029 mV	-348,02 μA
$t_a=900\mu\text{s}-500\mu\text{s}= 400 \text{ }\mu\text{s}$	268,019 mV	-268,019 mV	-178,679 μA
$t_a=1000\mu\text{s}-500\mu\text{s}= 500 \text{ }\mu\text{s}$	137,605 mV	- 137,605 mV	-9,1737 nA

2.3 Bestimmen Sie die Spannungen $u_{C3}(t)$, $u_{R3}(t)$ und den Strom $i_3(t)$ für die Frequenz f_3 .

2.3.1 Einschaltvorgang

$$\tau = R \cdot C = 1,5 \text{ k}\Omega \cdot 100 \text{ nF} = 150 \text{ }\mu\text{s}$$

$$i(t_e) = I_0 \cdot \exp(-t_e/\tau)$$

$$u_C(t_e) = U_0 - i(t_e) \cdot R$$

$$u_R(t_e) = U_0 - u_C(t_e)$$

$$T = 1/f = 1/10 \text{ kHz} = 100 \text{ }\mu\text{s}$$

$$I_0 = U_0/R = 4\text{V}/1,5 \text{ k}\Omega = 2,66667 \text{ mA}$$

$$i_{3e}(0\mu\text{s}) = 2,66667 \text{ mA} \cdot \exp(-(0/150 \mu\text{s})) = 2,66667 \text{ mA} \cdot \exp(0) = 2,66667 \text{ mA}$$

$$u_{C3e}(0\mu\text{s}) = 4\text{V} - 2,66667 \text{ mA} \cdot 1,5\text{k}\Omega = 4 \text{ V} - 4,00000 \text{ V} = 0 \text{ V}$$

$$u_{R3e}(0\mu\text{s}) = 4\text{V} - 0\text{V} = 4\text{V}$$

$$i_{3e}(10\mu\text{s}) = 2,66667 \text{ mA} \cdot \exp(-(10/150 \mu\text{s})) = 2,66666 \text{ mA} \cdot \exp(-0,066667) = 2,66666 \text{ mA} \cdot 0,935507 = 2,49469 \text{ mA}$$

$$u_{C3e}(10\mu\text{s}) = 4\text{V} - 2,49469 \text{ mA} \cdot 1,5\text{k}\Omega = 4\text{V} - 3,742028 \text{ V} = 0,257972 \text{ V}$$

$$u_{R3e}(10\mu\text{s}) = 4\text{V} - 0,25797 \text{ V} = 3,74203 \text{ V}$$

$$i_{3e}(20\mu\text{s}) = 2,66667 \text{ mA} \cdot \exp(-(20/150 \mu\text{s})) = 2,66666 \text{ mA} \cdot \exp(-0,133333) = 2,66666 \text{ mA} \cdot 0,875173 = 2,33380 \text{ mA}$$

$$u_{C3e}(20\mu\text{s}) = 4\text{V} - 2,33380 \text{ mA} \cdot 1,5\text{k}\Omega = 4\text{V} - 3,50069 \text{ V} = 0,49931 \text{ V}$$

$$u_{R3e}(20\mu\text{s}) = 4\text{V} - 0,49931 \text{ V} = 3,50069 \text{ V}$$

$$i_{3e}(30\mu\text{s}) = 2,66667 \text{ mA} \cdot \exp(-(30/150 \mu\text{s})) = 2,66666 \text{ mA} \cdot \exp(-0,2) = 2,66666 \text{ mA} \cdot 0,81873 = 2,18328 \text{ mA}$$

$$u_{C3e}(30\mu\text{s}) = 4\text{V} - 2,18328 \text{ mA} \cdot 1,5\text{k}\Omega = 4\text{V} - 3,27492 \text{ V} = 0,72508\text{V}$$

$$u_{R3e}(30\mu\text{s}) = 4\text{V} - 0,72508\text{V} = 3,274923 \text{ V}$$

$$i_{3e}(40\mu\text{s}) = 2,66667 \text{ mA} \cdot \exp(-(40/150 \mu\text{s})) = 2,66666 \text{ mA} \cdot \exp(-0,266666) = 2,66666 \text{ mA} \cdot 0,76593 = 2,04248 \text{ mA}$$

$$u_{C3e}(40\mu\text{s}) = 4\text{V} - 2,04248 \text{ mA} \cdot 1,5\text{k}\Omega = 4\text{V} - 3,06371 \text{ V} = 0,93629\text{V}$$

$$u_{R3e}(40\mu\text{s}) = 4\text{V} - 0,93629\text{V} = 3,06371 \text{ V}$$

$$i_{3e}(50\mu\text{s}) = 2,66667 \text{ mA} \cdot \exp(-(50/150 \mu\text{s})) = 2,66666 \text{ mA} \cdot \exp(-0,333333) = 2,66666 \text{ mA} \cdot 0,71653 = 1,91750 \text{ mA}$$

$$u_{C3e}(50\mu\text{s}) = 4\text{V} - 1,91750 \text{ mA} \cdot 1,5\text{k}\Omega = 4\text{V} - 2,86613 \text{ V} = \mathbf{1,13387\text{V}}$$

$$u_{R3e}(50\mu\text{s}) = 4\text{V} - 1,13387\text{V} = 2,86613\text{V}$$

2.3.2 Ausschaltvorgang

$$\tau = R \cdot C = 1,5 \text{ k}\Omega \cdot 100 \text{ nF} = 150 \text{ }\mu\text{s}$$

$$i(t_a) = -I_{0C} \cdot \exp(-t_a/\tau)$$

$$u_C(t_a) = -i(t_a) \cdot R$$

$$u_R(t_a) = -u_C(t_a)$$

$$T = 1/f = 1/10 \text{ kHz} = 100 \text{ }\mu\text{s}$$

$$U_{0C} = \mathbf{1,13387\text{V}}$$

$$I_{OC} = U_{OC}/R = 1,13387V/1,5 \text{ k}\Omega = \mathbf{0,75591 \text{ mA}}$$

$$i_{3a}(0\mu s) = -0,75591 \text{ mA} \cdot \exp(-(0/150 \mu s)) = -0,75591 \text{ mA} \cdot \exp(0) = -0,75591 \text{ mA} \cdot 1 = -0,75591 \text{ mA}$$

$$u_{C3a}(0\mu s) = 0,75591 \text{ mA} \cdot 1,5 \text{ k}\Omega = 1,13387 \text{ V}$$

$$u_{R3a}(0\mu s) = -1,13387 \text{ V}$$

$$i_{3a}(10\mu s) = -0,75591 \text{ mA} \cdot \exp(-(10/150 \mu s)) = -0,75591 \text{ mA} \cdot \exp(-0,066667) = -0,75591 \text{ mA} \cdot 0,935507 = -0,70716 \text{ mA}$$

$$u_{C3a}(10\mu s) = 0,70716 \text{ mA} \cdot 1,5 \text{ k}\Omega = 1,06074 \text{ V}$$

$$u_{R3a}(10\mu s) = -1,06074 \text{ V}$$

$$i_{3a}(20\mu s) = -0,75591 \text{ mA} \cdot \exp(-(20/150 \mu s)) = -0,75591 \text{ mA} \cdot \exp(-0,133333) = -0,75591 \text{ mA} \cdot 0,87517 = -0,66155 \text{ mA}$$

$$u_{C3a}(20\mu s) = 0,66155 \text{ mA} \cdot 1,5 \text{ k}\Omega = 0,99233 \text{ V}$$

$$u_{R3a}(20\mu s) = -0,99233 \text{ V}$$

$$i_{3a}(30\mu s) = -0,75591 \text{ mA} \cdot \exp(-(30/150 \mu s)) = -0,75591 \text{ mA} \cdot \exp(-0,2) = -0,75591 \text{ mA} \cdot 0,81873 = -0,61888 \text{ mA}$$

$$u_{C3a}(30\mu s) = 0,61888 \text{ mA} \cdot 1,5 \text{ k}\Omega = 0,92833 \text{ V}$$

$$u_{R3a}(30\mu s) = -0,92833 \text{ V}$$

$$i_{3a}(40\mu s) = -0,75591 \text{ mA} \cdot \exp(-(40/150 \mu s)) = -0,75591 \text{ mA} \cdot \exp(-0,266666) = -0,75591 \text{ mA} \cdot 0,76593 = -0,57897 \text{ mA}$$

$$u_{C3a}(40\mu s) = 0,57897 \text{ mA} \cdot 1,5 \text{ k}\Omega = 0,86846 \text{ V}$$

$$u_{R3a}(40\mu s) = -0,86846 \text{ V}$$

$$i_{3a}(50\mu s) = -0,75591 \text{ mA} \cdot \exp(-(50/150 \mu s)) = -0,75591 \text{ mA} \cdot \exp(-0,333333) = -0,75591 \text{ mA} \cdot 0,71653 = -0,54163 \text{ mA}$$

$$u_{C3a}(50\mu s) = 0,54163 \text{ mA} \cdot 1,5 \text{ k}\Omega = 0,81245 \text{ V}$$

$$u_{R3a}(50\mu s) = -0,81245 \text{ V}$$

$f_3 = 10\text{kHz} - T_3 = 100\mu s$			
t	$u_{C3}(t)$	$u_{R3}(t)$	$i_3(t)$
$t_e = 0 \mu s$	0 V	4V	2,66667 mA
$t_e = 10 \mu s$	0,257972 V	3,74203 V	2,49469 mA
$t_e = 20 \mu s$	0,49931 V	3,50069 V	2,33380 mA
$t_e = 30 \mu s$	0,72508V	3,274923 V	2,18328 mA
$t_e = 40 \mu s$	0,93629V	3,06371 V	2,04248 mA
(u') (50 μs)	1,13387V	2,86613V	1,91750 mA
(u) $t_a=50\mu s-50\mu s= 0 \mu s$	1,13387 V	- 1,13387 V	-0,75591 mA
$t_a=60\mu s-50\mu s= 10 \mu s$	1,06074 V	- 1,06074 V	- 0,70716 mA
$t_a=70\mu s-50\mu s= 20 \mu s$	0,99233 V	- 0,99233 V	- 0,66155 mA
$t_a=80\mu s-50\mu s= 30 \mu s$	0,92833 V	- 0,86846 V	- 0,61888 mA
$t_a=90\mu s-50\mu s= 40 \mu s$	0,86846 V	- 0,86846 V	- 0,57897 mA
$t_a=100\mu s-50\mu s= 50 \mu s$	0,81245 V	- 0,81245 V	- 0,54163 mA

3. Zeichnen Sie unter Zuhilfenahme der Werte die Kurven für den Zeitverlauf.

3.1. Eingangsspannung (schwarz) Spannung über dem Kondensator (rot)

3.1.1. Frequenz $f_1 = 100 \text{ Hz}$ - $T = 10 \text{ ms}$ - 1Teilstrich entspricht 1V bzw. 1ms



3.1.2. Frequenz $f_1 = 1 \text{ kHz}$ - $T = 1 \text{ ms}$ - 1Teilstrich entspricht 1V bzw. 100 μs

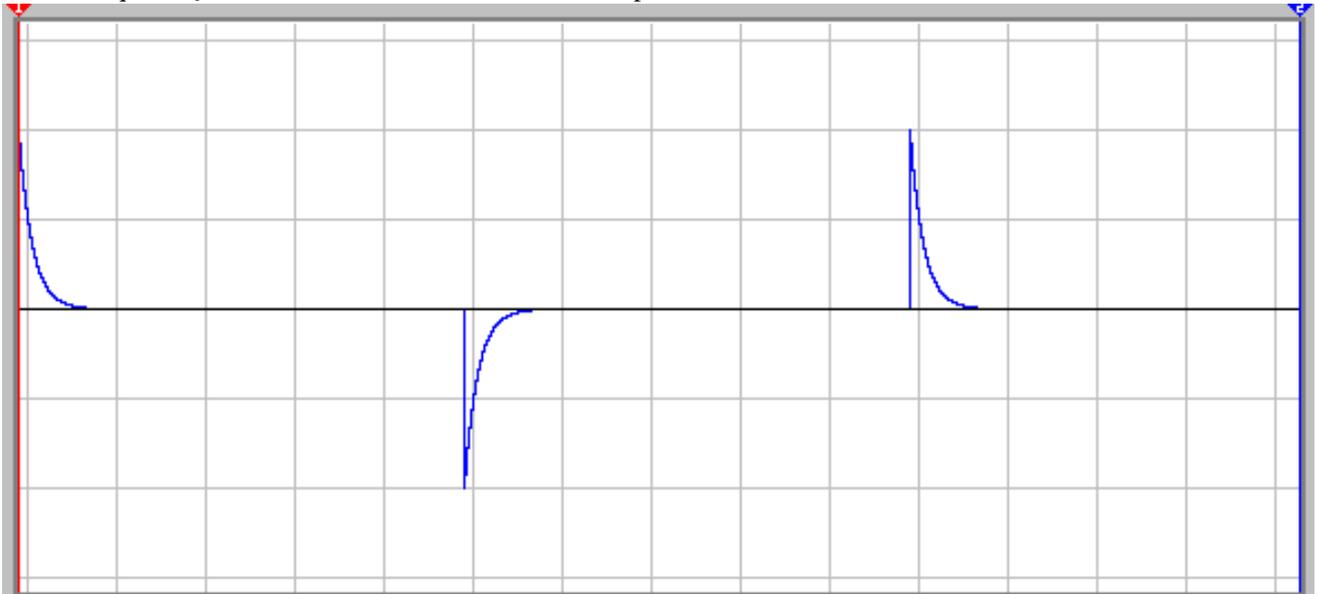


3.1.3. Frequenz $f_1 = 10 \text{ kHz}$ - $T = 10 \mu\text{s}$ - 1Teilstrich entspricht 1V bzw. 10 μs

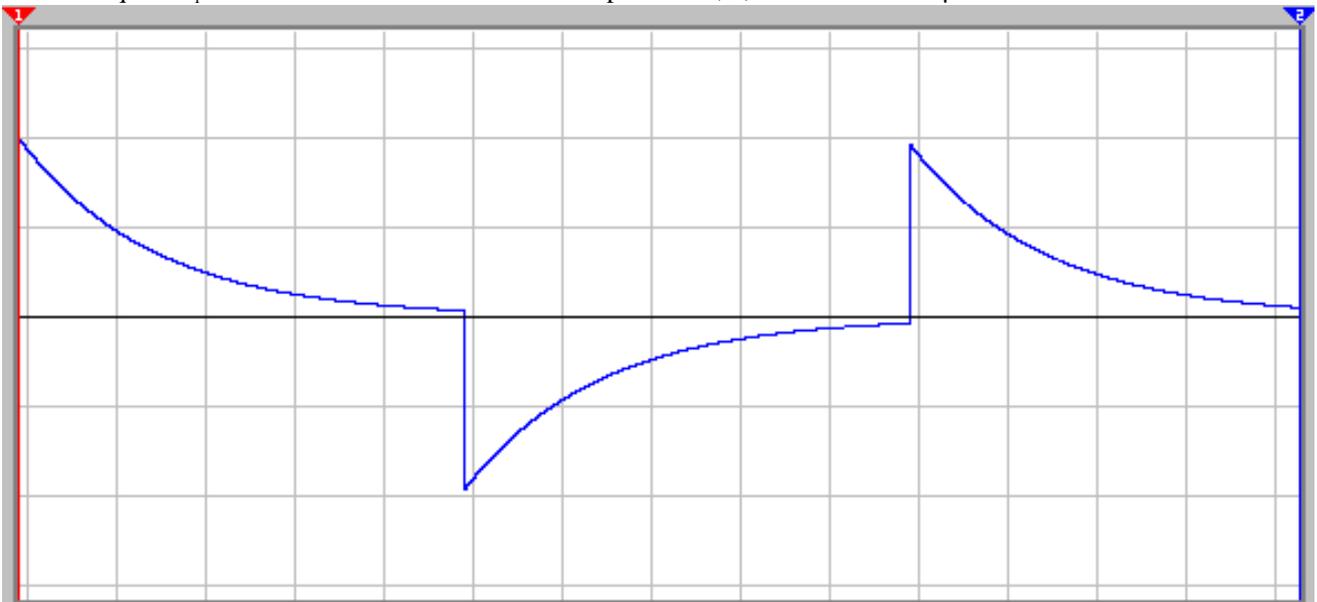


3.2. Spannung über den Widerstad (blau) - Strom durch den Widerstand die gleiche Form, nur andere Amplitude

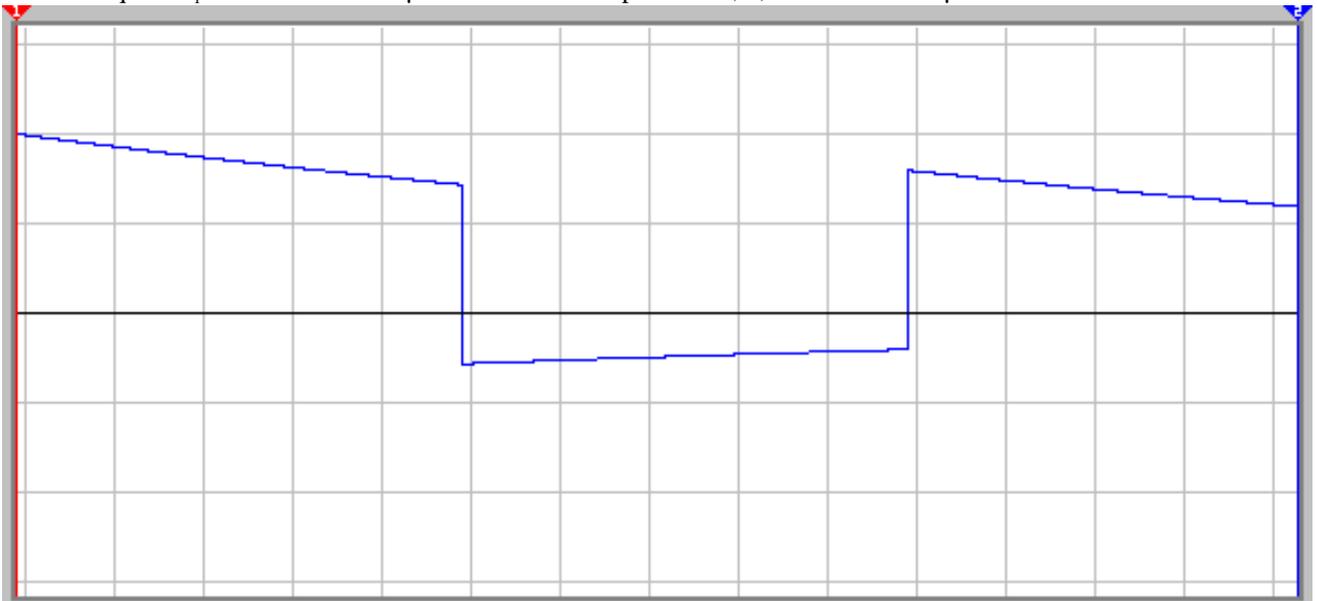
3.2.1. Frequenz $f_1 = 100 \text{ Hz}$ - $T = 10 \text{ ms}$ - 1Teilstrich entspricht 2 V; 1,33 mA bzw. 1ms



3.2.2. Frequenz $f_1 = 1 \text{ kHz}$ - $T = 1 \text{ ms}$ - 1Teilstrich entspricht 2 V; 1,33 mA bzw. 100 μs



3.2.3. Frequenz $f_1 = 10 \text{ kHz}$ - $T = 10 \mu\text{s}$ - 1Teilstrich entspricht 2 V; 1,33 mA bzw. 10 μs

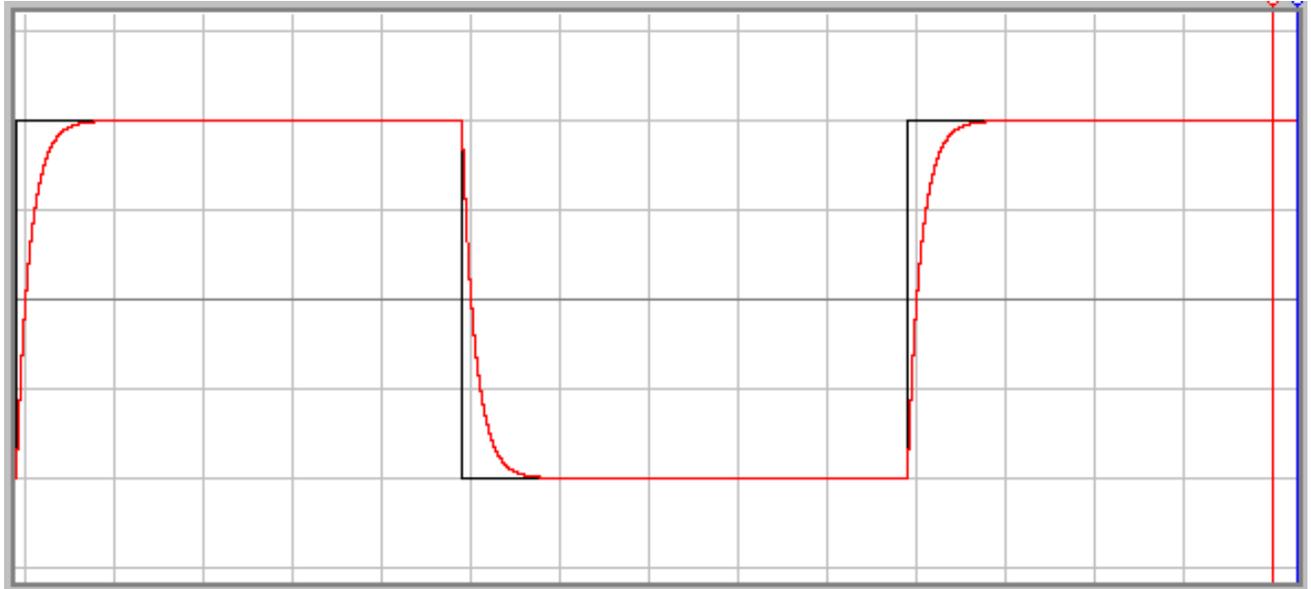


3.3. Vergleich von Strom und Spannung in Abhängigkeit von der Zeit

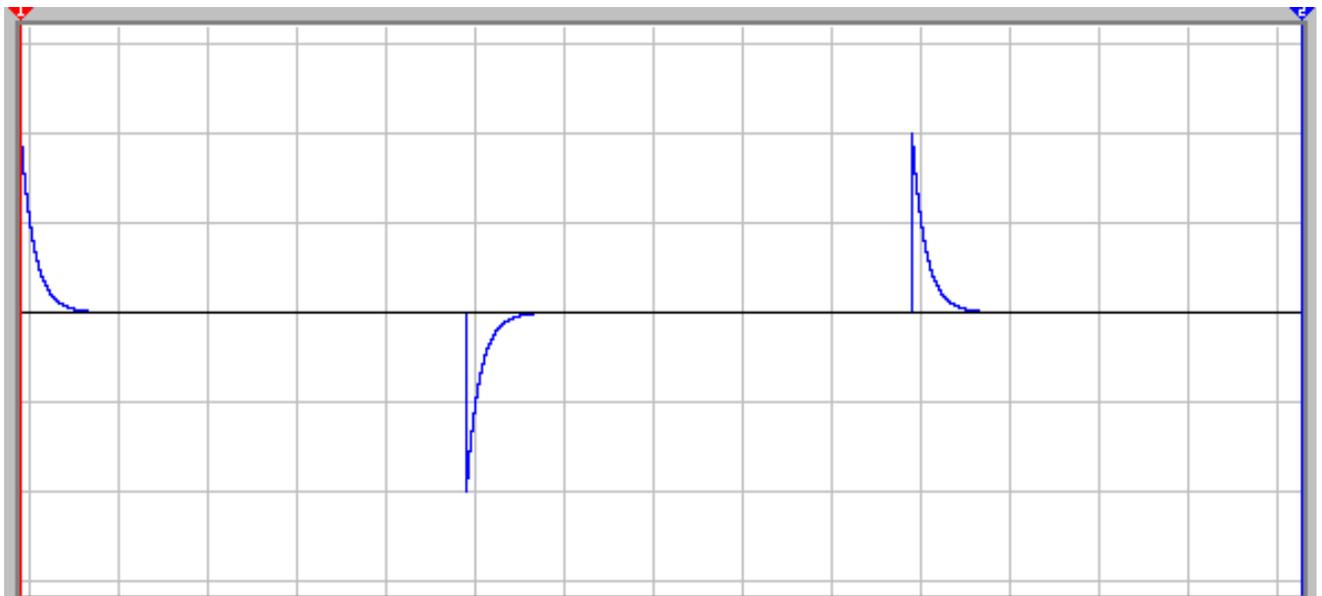
3.3.1. Frequenz = 100 Hz

Eingangsspannung (schwarz) Spannung über dem Kondensator (rot), Spannung über den Widerstad (blau) - Strom durch den Widerstand die gleiche Form, nur andere Amplitude

Frequenz $f_1 = 100 \text{ Hz}$ - $T = 10 \text{ ms}$ - 1 Teilstrich entspricht 1V bzw. 1ms



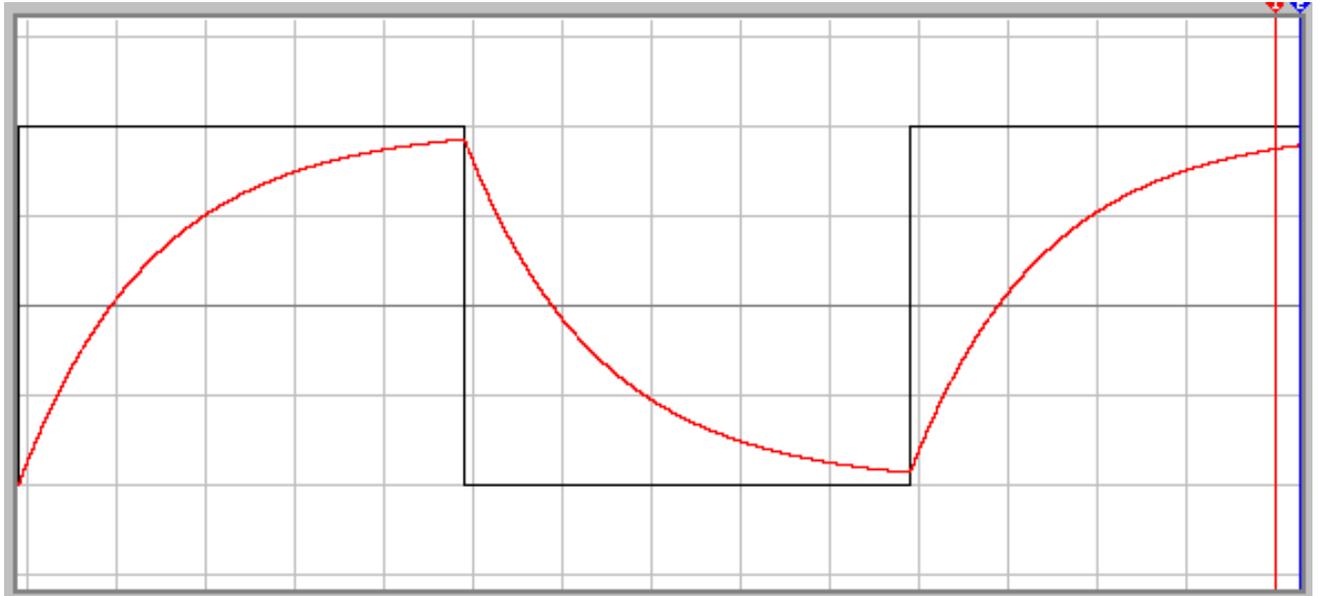
Frequenz $f_1 = 100 \text{ Hz}$ - $T = 10 \text{ ms}$ - 1 Teilstrich entspricht 2 V; 1,33 mA bzw. 1ms



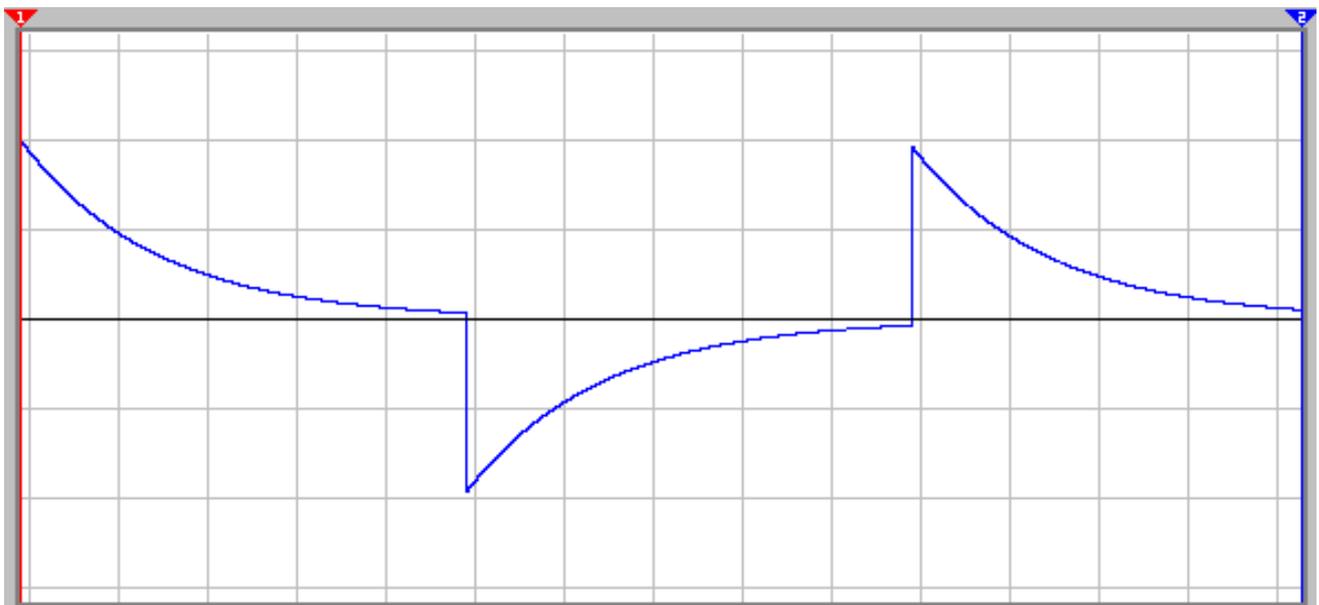
3.3.2. Frequenz = 1 kHz

Eingangsspannung (schwarz) Spannung über dem Kondensator (rot), Spannung über den Widerstad (blau) - Strom durch den Widerstand die gleiche Form, nur andere Amplitude

Frequenz $f_1 = 1 \text{ kHz}$ - $T = 1 \text{ ms}$ - 1 Teilstrich entspricht 1V bzw. 100 μs



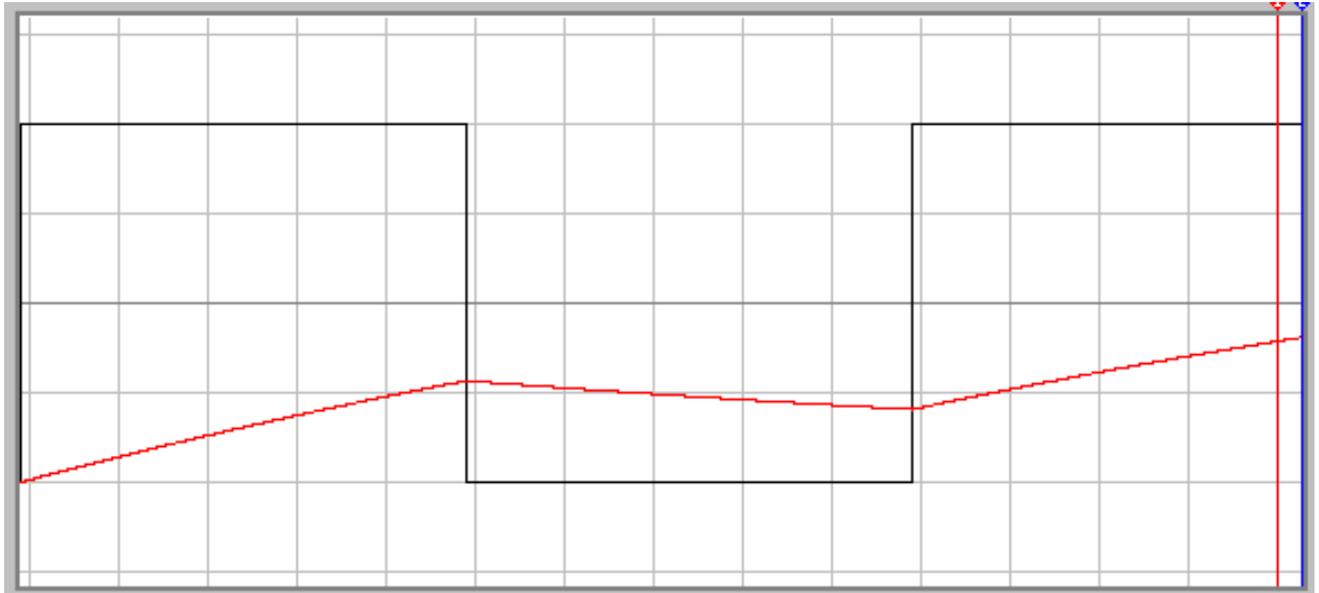
Frequenz $f_1 = 1 \text{ kHz}$ - $T = 1 \text{ ms}$ - 1 Teilstrich entspricht 2 V; 1,33 mA bzw. 100 μs



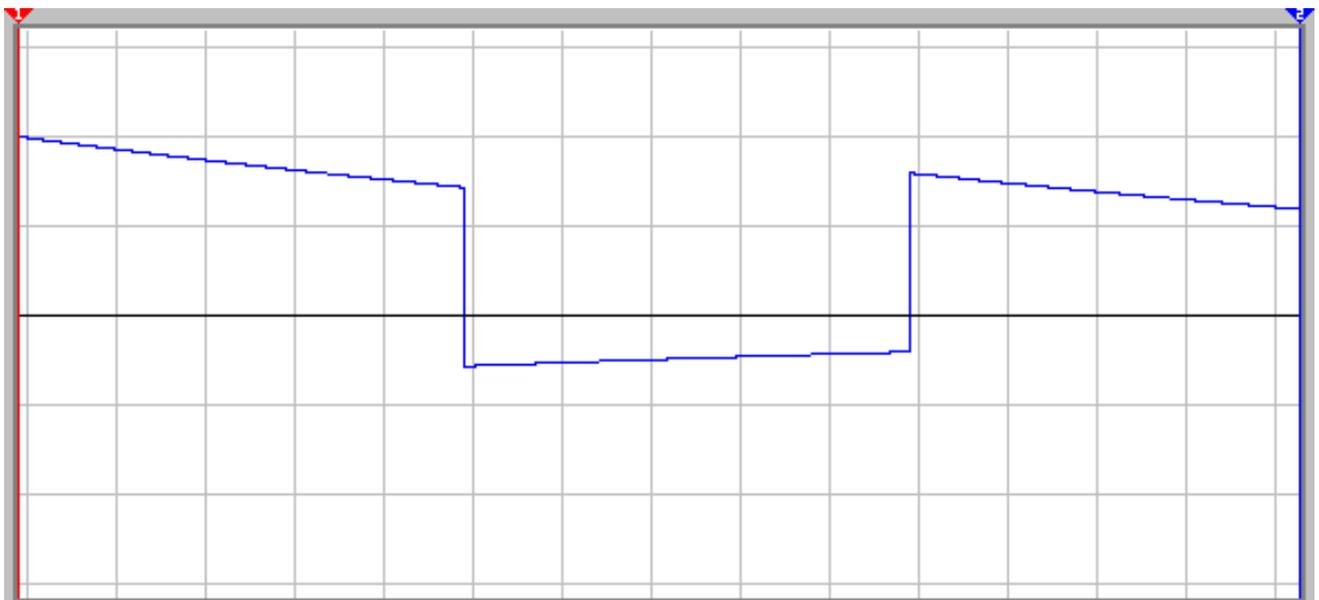
3.3.3. Frequenz = 10 kHz

Eingangsspannung (schwarz) Spannung über dem Kondensator (rot), Spannung über den Widerstad (blau) - Strom durch den Widerstand die gleiche Form, nur andere Amplitude

Frequenz $f_1 = 10 \text{ kHz}$ - $T = 10 \mu\text{s}$ - 1 Teilstrich entspricht 1V bzw. $10 \mu\text{s}$



Frequenz $f_1 = 10 \text{ kHz}$ - $T = 10 \mu\text{s}$ - 1 Teilstrich entspricht 2 V; 1,33 mA bzw. $10 \mu\text{s}$



3.4. Vergleich der Impulse über 7 Perioden

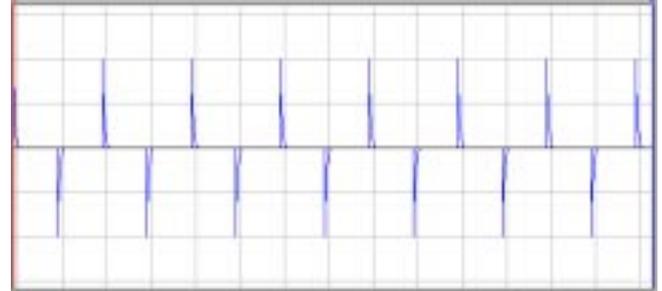
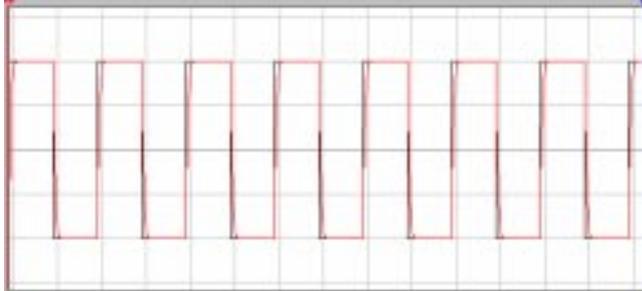
3.4.1. Frequenz = 100 Hz

Eingangsspannung (schwarz) Spannung über dem Kondensator (rot), Spannung über den Widerstand (blau) - Strom durch den Widerstand die gleiche Form, nur andere Amplitude

Frequenz $f_1 = 100 \text{ Hz}$ - $T = 10 \text{ ms}$

1 Teilstrich entspricht 1 V bzw. 5 ms

1 Teilstrich entspricht 2 V; 1,33 mA bzw. 5 ms



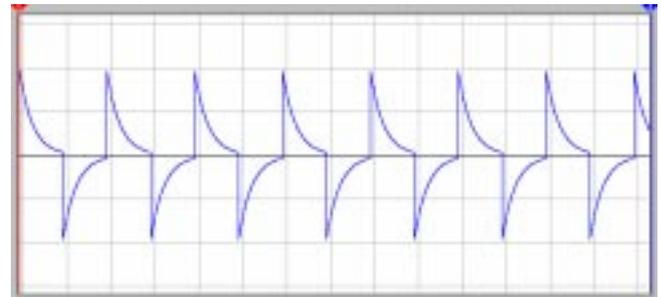
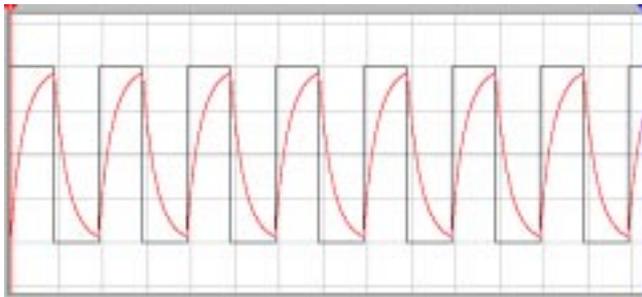
3.4.2. Frequenz = 1 kHz

Eingangsspannung (schwarz) Spannung über dem Kondensator (rot), Spannung über den Widerstand (blau) - Strom durch den Widerstand die gleiche Form, nur andere Amplitude

Frequenz $f_1 = 1 \text{ kHz}$ - $T = 1 \text{ ms}$

1 Teilstrich entspricht 1 V bzw. 500 μs

1 Teilstrich entspricht 2 V; 1,33 mA bzw. 500 μs



3.4.3. Frequenz = 10 kHz

Eingangsspannung (schwarz) Spannung über dem Kondensator (rot), Spannung über den Widerstand (blau) - Strom durch den Widerstand die gleiche Form, nur andere Amplitude

Frequenz $f_1 = 10 \text{ kHz}$ - $T = 10 \mu\text{s}$

1 Teilstrich entspricht 1 V bzw. 50 μs

1 Teilstrich entspricht 2 V; 1,33 mA bzw. 50 μs

