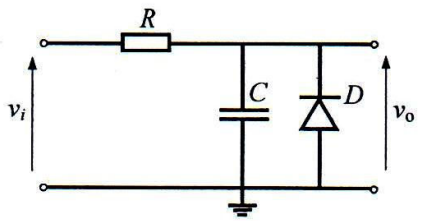
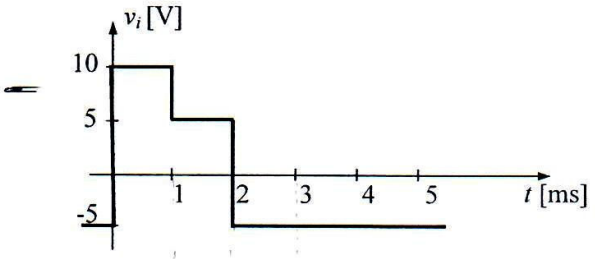
Нелинеарно обликување на сигнали

1. На влезот на колото прикажано на сликата е доведен напонот $v_i(t)$. Да се определи и скицира излезниот напон $v_o(t)$.
Познато е: $R = 1\ \text{k}\Omega$ $C = 1{,}443\ \mu\text{F}$ Диодата е идеална.

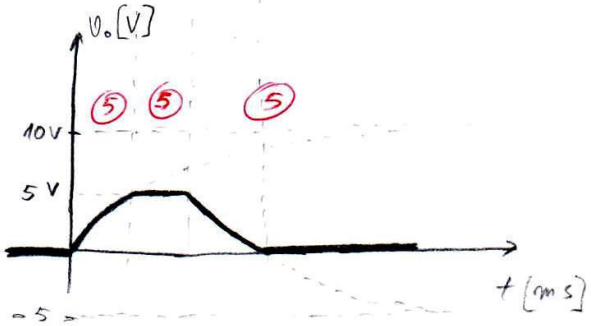




поради $D \to ON$,

$v_o(0-) = v_o(0+) = 0\ \text{V}$

$\tau = R \cdot C = 1{,}443\ \text{ms}$ (2)



$0 \le t \le 1\ \text{ms}$

$v_o(0) = 0\ \text{V}$

$v_o(\infty) = 10\ \text{V}$

$v_o(t) = 10 - 10e^{-\frac{t}{\tau}}$

$v_o(1\text{ms}) = 5\ \text{V}$

$1\text{ms} < t \le 2\text{ms}$

$v_o(0) = 5\ \text{V}$

$v_o(\infty) = 5\ \text{V}$

$v_o(t) = 5\ \text{V}$

$2\text{ms} \le t \le \infty$

$t'' = t - 2$

$v_o(0) = 5\ \text{V}$

$v_o(\infty) = -5\ \text{V}$

$v_o(t'') = -5 + 10e^{-\frac{t''}{\tau}}$

кога $v_o(t'') = 0 \Rightarrow D \to ON$

$v_o(t'') = -5 + 10e^{-\frac{t''}{\tau}} = 0$

$\Rightarrow t'' = 1\ \text{ms}$

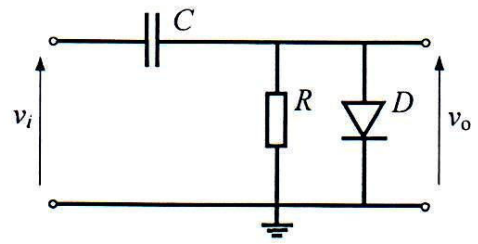
$\Rightarrow t = t'' + 2 = 3\ \text{ms}$

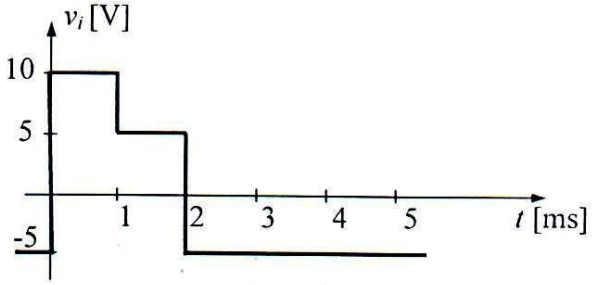
↑ пресек со оската t

за $t > 3\text{ms} \Rightarrow v_o = 0$

секој интервал (5) — (2) поч. и крај; (2) р-ка од t; (1) цртеж

1. На влезот на колото прикажано на сликата е доведен напонот $v_i(t)$. Да се определи и скицира излезниот напон $v_o(t)$.
Познато е: $R = 1\ \text{k}\Omega$ $C = 1{,}092\ \mu\text{F}$ Диодата е идеална.



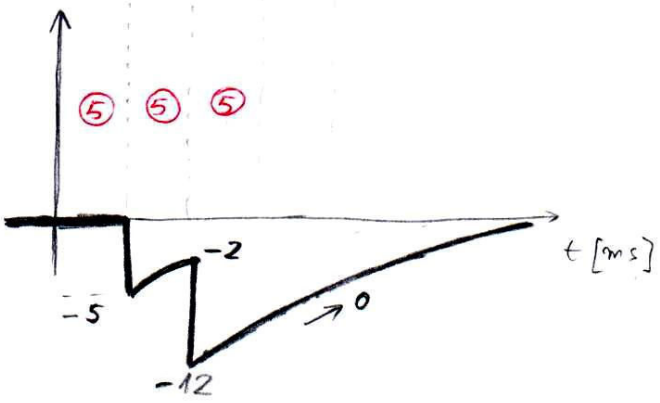


$\tau = R \cdot C = 1{,}092\ ms$ (2)

$v_o(0_-) = 0\ V$

$v_o(0_+) = v_o(0_-) + \Delta v_i$

$v_o(0_+) = 15\ V$ ... # (не може D → ON $v_o(0_+) = 0$)



$0 \le t \le 1\ ms$

$v_o(0_+) = 0$ } $v_o(t) = 0$
$v_o(\infty) = 0$

$1 < t \le 2\ ms$

$t' = t - 1$

$v_o(0_+) = v_o(0_-) + \Delta v_i = -5\ V$

$v_o(\infty) = 0$

$v_o(t') = -5 \cdot e^{-\frac{t'}{\tau}}$

$v_o(t = 2ms) = -5e^{-\frac{1}{\tau}} = -2V$

$2\ ms \le t \le \infty$

$t'' = t - 2$

$v_o(0_+) = v_o(0_-) + \Delta v_i$

$v_o(0_+) = -2V - 10V = -12V$

$v_o(\infty) = 0$

$v_o(t'') = -12\,e^{-\frac{t''}{\tau}}$

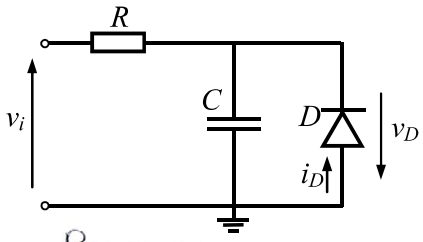
За секој интервал (5) — (2) поч. и краен услов; (2) р-ка од t; (1) цртеж

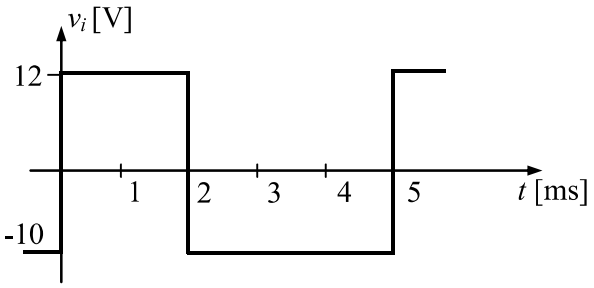
1. На влезот на колото прикажано на сликата е доведен правоаголен периодичен напон $v_i(t)$. Да се определат и скицираат:

а) напонот на диодата D, $v_D(t)$.

б) струјата низ диодата D, $i_D(t)$.

Познато е: $R = 2\ \text{k}\Omega$ $C = 1\ \mu\text{F}$ Диодата е идеална.





Решение:

$\tau = R \cdot C = 2\text{ms}$ → нема 5τ! Некаде во текот на поз. полуп стигнеме до V_1

Во текот на негативната полуперијода: $v_o = -10 - \left[-10 - V_1\right] e^{-\frac{3}{2}}$

Дури и ако $V_1 = 12\ \text{V}$; $v_o(3\text{ms}) = -10 + 22\, e^{-\frac{3}{2}} = -5{,}091\ \text{V}$

Значи напонот v_o сигурно ја пресекува оската, и диодата вклучува.

Можеме да тврдиме дека во $t=0$; $v_o = \emptyset$!

$0 \le t \le 2\text{ms}$

$v_o = 12 - \left[12 - 0\right] e^{-\frac{t}{\tau}}$

$v_o(t = 2\text{ms}) = 7{,}59\ \text{V} = V_1$

$2 \le t \le t_1 \qquad t' = \tau - 2$

$v_o = -10 - \left[-10 - V_1\right] e^{-\frac{t'}{\tau}}$

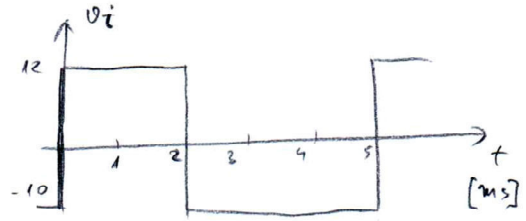
$v_o(t_1') = \emptyset \Rightarrow t_1' = \tau \ln \frac{17{,}59}{10}$

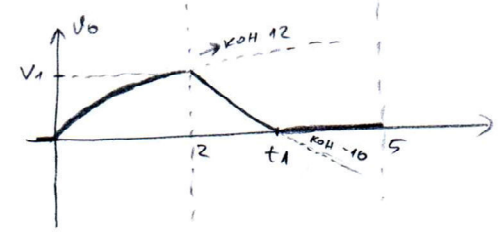
$t_1' = 1{,}129\text{ms} \Rightarrow t_1 = 3{,}129\text{ms}$

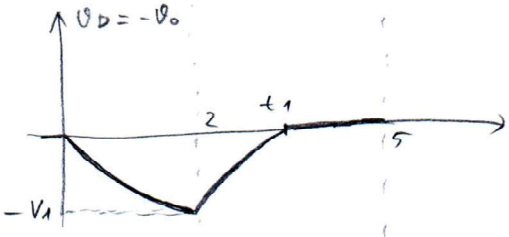
$t_1 \le t \le 5\text{ms} \qquad v_o = \emptyset$ (DON)

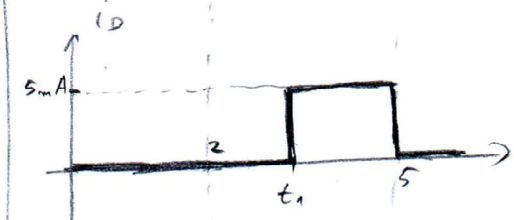
Струја тече низ диодата само додека таа е ON, значи за $t_1 \le t \le 5\text{ms}$.

$i_D = \frac{-v_i}{R} = \frac{10\text{V}}{2\text{k}\Omega} = 5\ \text{mA}$







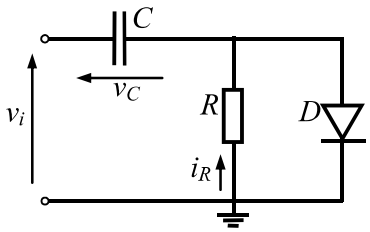


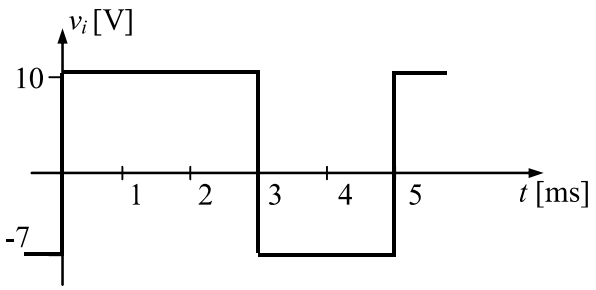
1. На влезот на колото прикажано на сликата е доведен правоаголен периодичен напон $v_i(t)$. Да се определат и скицираат:

а) напонот на кондензаторот C, $v_C(t)$.

б) струјата низ отпорникот R, $i_R(t)$.

Познато е: $R = 1\ \text{k}\Omega$ $C = 1\ \mu\text{F}$ Диодата е идеална.





Решение:

При позитивниот скок на $v_i \Rightarrow$ DON $\Rightarrow \tau = 0 \Rightarrow v_o(0_+) = v_o(\infty)$

Значи во $t = 0_+ \Rightarrow v_o(0_+) = \emptyset$

$0 \le t \le 3\,ms$

$v_o(t) = \emptyset$ (DON)

$i_R(t) = \emptyset$

$v_c(t) = v_i - v_o = 10\,V$

$3\,ms \le t \le 5\,ms$ $t' = t - 3$

$v_o(0_-) = 0$ | $v_o(\infty) = \emptyset$

$\Delta v_i = -17\,V$ | $\tau = 1\,ms$

$v_o(0_+) = -17\,V$

$v_o(t') = -17\,e^{-\frac{t'}{\tau}}$

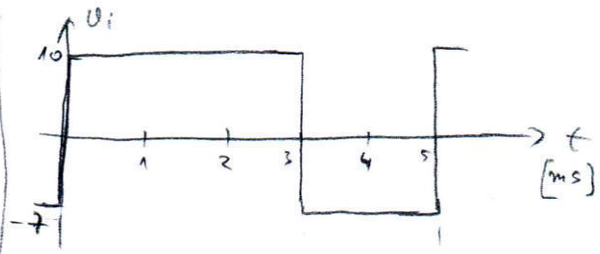
$v_o(t' = 2ms) = -2{,}3\,V$

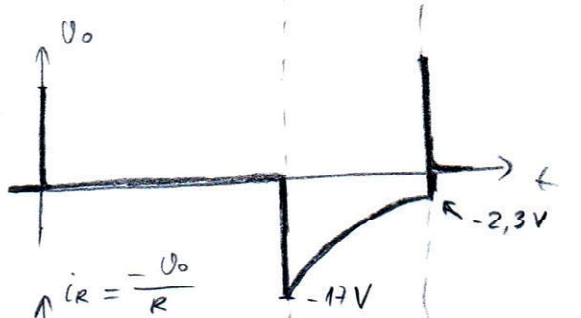
$i_R(t') = 17\,mA\ e^{-\frac{t'}{\tau}}$

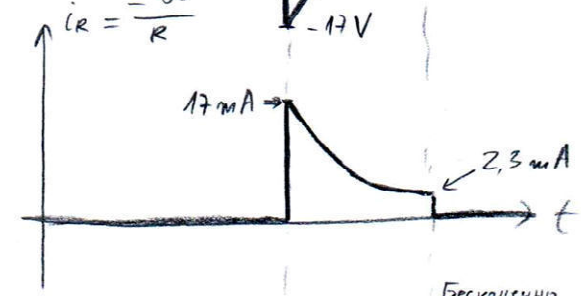
$v_c(t') = -7\,V + 17\,V \cdot e^{-\frac{t'}{\tau}}$

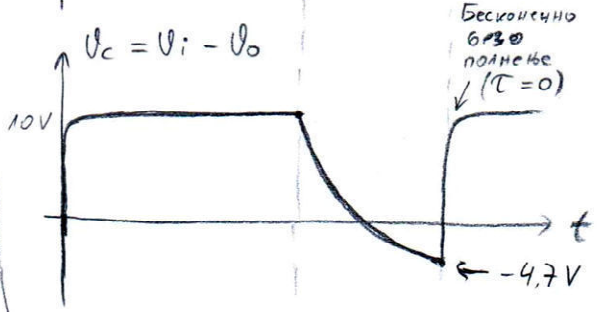
$v_c(t' = 2ms) = -4{,}7\,V$

Во $t = 5\,ms$ повторно имаме позитивен скок, $\tau = 0$, и бесконечно брзо полнење на C.





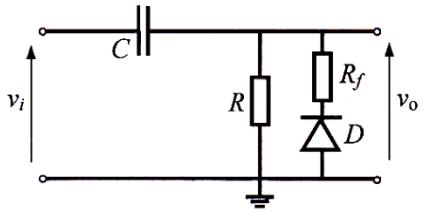




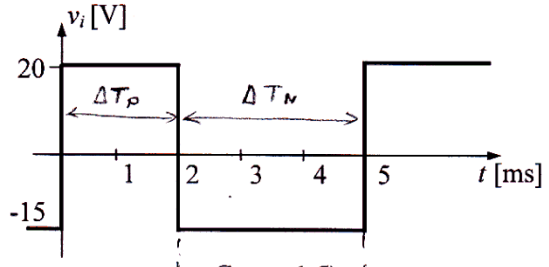
1. На влезот на колото прикажано на сликата 1 а) е доведен правоаголен периодичен напон $v_i(t)$, прикажан на сликата 1 б). Да се определи и скицира излезниот напон $v_o(t)$.

Познато е: $R = 2200\ \Omega$ $R_f = 220\ \Omega$ $C = 2\ \mu F$ Диодата е идеална.

25 поени вкупно



Слика 1 а)



Слика 1 б)

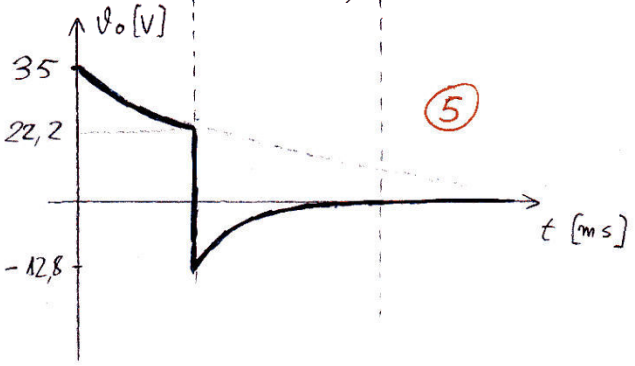
Решение:

– При $v_o > 0 \Rightarrow D \rightarrow OFF$

(2) $\Rightarrow \tau_1 = RC = 4{,}4$ ms

– При $v_o < 0 \Rightarrow D \rightarrow ON$

(2) $\Rightarrow \tau_2 = (R \| R_f) \cdot C = 0{,}4$ ms



(5)

Од сликата 1 б): $\Delta T_P = 2$ ms $\Delta T_N = 3$ ms

Бидејќи $\Delta T_N > 5 \cdot \tau_2$, преодниот процес во тој интервал сигурно завршува, и излезниот напон стигнува до својата конечна вредност, која во ова коло е 0 V. Значи, во $t = 0$, анализата ја започнуваме со $v_o(0_-) = 0$ V

За $0 \le t \le 2$ ms $\quad \Delta V_i = 35$ V

$v_o(0_-) = 0$

$v_o(0_+) = v_o(0_-) + \Delta V_i = 35$ V

$v_o(\infty) = 0$

$\Rightarrow v_o(t) = 0 - [0 - 35]\, e^{-\frac{t}{\tau_1}}$

$\Rightarrow v_o(t) = 35\, e^{-\frac{t}{\tau_1}}$

$v_o(t = 2\text{ms}) = 22{,}2$ V

(8)

За $2\text{ms} \le t \le 5$ ms $\quad t' = t - 2\text{ms}$ $\quad \Delta V_i = -35$ V

$v_o(t' = 0_-) = 22{,}2$ V

$v_o(t' = 0_+) = v_o(t' = 0_-) + \Delta V_i = -12{,}8$ V

$v_o(\infty) = 0$

$v_o(t') = 0 - [0 + 12{,}8]\, e^{-\frac{t'}{\tau_2}}$

$v_o(t') = -12{,}8\, e^{-\frac{t'}{\tau_2}}$

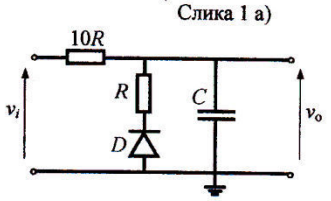
(8)

$\Rightarrow v_o(t) = -12{,}8\, e^{-\frac{t - 2\text{ms}}{\tau_2}}$ $\quad \Rightarrow v_o(5\text{ms}) = -7\text{ mV} \approx 0$ V

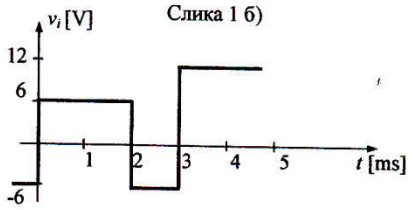
1. На влезот на колото прикажано на сликата е доведен напонот $v_i(t)$. Да се определи и скицира излезниот напон $v_o(t)$.

Познато е: $R = 200\ \Omega$ $C = 1\ \mu F$ Диодата е идеална.

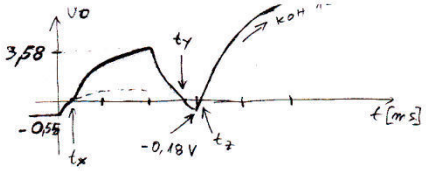
Слика 1 а)



Слика 1 б)



Решение:



За $t < 0$; $U_I = -6\ V$; $D \to ON$

С е напонет на $U_o = U_I \cdot \frac{R}{R+10R}$

$U_o = \frac{1}{11} U_I = -0{,}55\ V$

За $0 \le t \le 2\ ms$ $\quad t_x$ $\quad U_I = 6\ V$ $\quad D \to$ сеуште ON

$U_o(0_+) = U_o(0_-) = -0{,}55\ V$

$U_o(\infty) = U_I \cdot \frac{R}{R+10R} = \frac{1}{11} U_I = 0{,}55\ V$ $\quad \tau = C \cdot (R \| 10R) = 182\ \mu s$

$U_o(t) = 0{,}55\ V - [0{,}55\ V - (-0{,}55\ V)]\, e^{-\frac{t}{\tau}} = 0{,}55\ V - 1{,}1\ V \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$

Диодата водч се додека $U_o < 0$, односно до t_x

$U_o(t_x) = 0 = 0{,}55 - 1{,}1\, e^{-\frac{t_x}{\tau}} \Rightarrow t_x = \tau \ln \frac{1{,}1}{0{,}55} = 126\ \mu s$

За $t_x \le t \le 2\ ms$ $\quad U_I = 6\ V$ $\quad D \to OFF$ $\quad t' = t - t_x$

$U_o(0_+') = U_o(0_-') = 0\ V$

$U_o(\infty) = U_I = 6\ V$ $\quad \tau = C \cdot 10R = 2\ ms$

$U_o(t') = 6 - [6 - 0]\, e^{-\frac{t'}{\tau}} = 6 - 6e^{-\frac{t'}{\tau}}$

$U_o(t = 2\ ms) = U_o(t' = 1{,}8\ ms) = 3{,}58\ V$

За $2\ ms \le t \le 3\ ms$ $\quad t_y$ $\quad U_I = -6\ V$ $\quad D \to OFF$ $\quad t'' = t - 2\ ms$

$U_o(0_+'') = 3{,}58\ V$; $U_o(\infty) = -6\ V$; $\tau = 2\ ms \Rightarrow U_o(t'') = -6 + 9{,}58\, e^{-\frac{t''}{\tau}}$

$U_o(t_y'') = 0 = -6 + 9{,}58\, e^{-\frac{t_y''}{\tau}} \Rightarrow t_y'' = 0{,}93\ ms \Rightarrow t_y = 2{,}93\ ms$

За $t_y \le t \le 3\ ms$ $\quad U_I = -6\ V$ $\quad D \to ON$ $\quad t''' = t - t_y$

$U_o(0_+''') = 0$ $\quad \tau = 182\ \mu s$ $\quad U_o(t''') = -0{,}55\ V + 0{,}55\ V\, e^{-\frac{t'''}{\tau}}$

$U_o(\infty) = -0{,}55\ V$ $\quad U_o(t'' = 0{,}07\ ms) = U_o(t = 3\ ms) = -0{,}18\ V$

За $3\ ms \le t \le t_z$ $\quad t'''' = t - 3\ ms$ $\quad D \to ON$ $\quad U_I = 12\ V$

$U_o(0_+'''') = -0{,}18\ V$ $\quad \tau = 182\ \mu s$

$U_o(\infty) = \frac{R}{R+10R} 12\ V \approx 1{,}1\ V$ $\quad U_o(t'''') = 1{,}1 - 1{,}28\, e^{-\frac{t''''}{\tau}}$

$U_o(t_z'''') = 0 = 1{,}1 - 1{,}28\, e^{-\frac{t_z''''}{\tau}} \Rightarrow t_z'''' = \tau \ln \frac{1{,}28}{1{,}1} = 27\ \mu s$

$t_z \simeq 3\ ms$ ← U_o многу брзо се зголемува до нула, и потоа $D \to OFF$

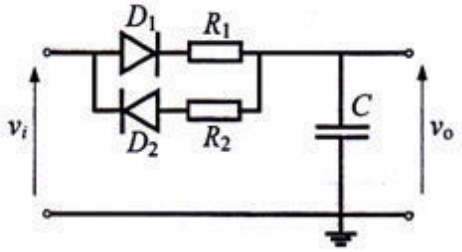
За $t_z \le t \le \infty$ $\quad t^v = t - t_z$ $\quad D \to OFF$ $\quad U_I = 12\ V$

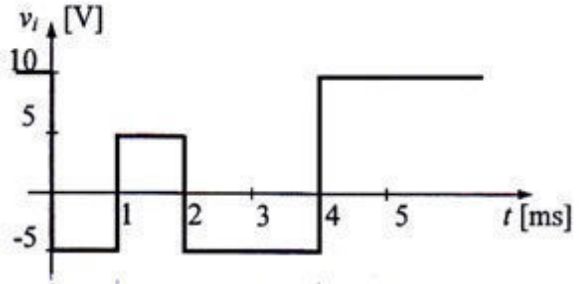
$U(0_+^v) = 0\ V$ $\quad U(t^v) = 12 - 12\, e^{-\frac{t^v}{\tau}}$

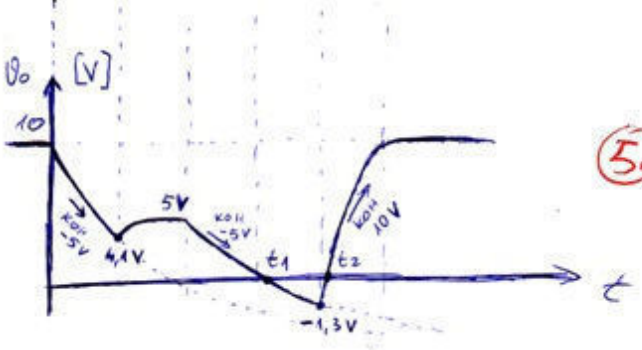
$U(\infty) = 12\ V$

$\tau = 2\ ms$

1. На влезот на колото прикажано на сликата е доведен напонот $v_i(t)$. Да се скицира излезниот напон $v_o(t)$. Колку пати и во кои моменти излезниот сигнал ќе биде еднаков на нула?
Познато е: $R_1 = 200\ \Omega$ $R_2 = 2\ k\Omega$ $C = 1\ \mu F$ Диодите се идеални.







Решение:

$-\infty \le t \le 0$

$v_I = 10\ V$

$v_o = 10\ V$

$0 \le t \le 1\ ms$

$v_I = -5\ V$

$v_o(0_+) = v_o(0-) = 10\ V$

$v_o(\infty) = -5\ V$

$v_I < v_o \Rightarrow D_2 \to ON \Rightarrow \tau_1 = R_2 \cdot C = 2\ ms$

$v_o(t) = -5 - [-5-10]e^{-\frac{t}{\tau_1}} = -5 + 15e^{-\frac{t}{\tau_1}} = \left\{ \begin{matrix} 3д \\ t = 1ms \end{matrix} \right\} = 4,1\ V$ (5п)

$1ms \le t \le 2ms$ $t' = t - 1ms$ $v_o(0-) = 4,1\ V$

$v_I = 5\ V \Rightarrow v_I > v_o \Rightarrow D_1 \to ON \Rightarrow \tau_2 = R_1 \cdot C = 0,2\ ms$

$v_o(t') = 5 - [5-4,1]e^{-\frac{t'}{\tau_2}} = 5 - 0,9e^{-\frac{t'}{\tau_2}} = \left\{ \begin{matrix} 3д \\ t' = 1ms \end{matrix} \right\} = 5\ V$ (5п)

$2ms \le t \le 4ms$ $t'' = t - 2ms$ $v_o(0_-) = 5\ V$ $v_o(\infty) = -5V$

$v_I = -5\ V \Rightarrow v_I < v_o \Rightarrow D_2 \to ON \Rightarrow \tau_3 = R_2 \cdot C = 2ms$

$v_o(t'') = -5 - [-5-5]e^{-\frac{t''}{\tau_3}} = -5 + 10e^{-\frac{t''}{\tau_3}} = \left\{ \begin{matrix} 3д \\ t'' = 2ms \end{matrix} \right\} = -1,3\ V$

$v_o(t_1'') = 0 = -5 + 10e^{-\frac{t_1''}{\tau_3}} \Rightarrow t_1'' = -\tau_3 \ln\frac{1}{2} = 1,4\ ms \Rightarrow t_1 = t_1'' + 2ms = 3,4\ ms$ (5п)

$4\ ms \le t \le \infty$ $t''' = t - 4ms$ $v_o(0_-) = -1,3\ V$ $v_o(\infty) = 10V$

$v_I = 10V \Rightarrow v_I > v_o \Rightarrow D_1 \to ON \Rightarrow \tau_4 = R_1 \cdot C = 0,2\ ms$

$v_o(t''') = 10 - [10+1,3]e^{-\frac{t'''}{\tau_4}} = 10 - 11,3e^{-\frac{t'''}{\tau_4}} = \ldots$ ќе стигне до 10 V после $5\tau_4 = 1\ ms$

$v_o(t_2''') = 0 = 10 - 11,3e^{-\frac{t_2'''}{\tau_4}} \Rightarrow t_2''' = -\tau_4 \cdot \ln\frac{10}{11,3} = 0,02ms \Rightarrow t_2 = 4,02ms$ (5п)

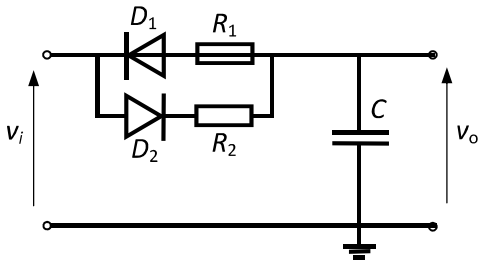
Излезниот напон 2 пати ќе биде нула, во моментите:

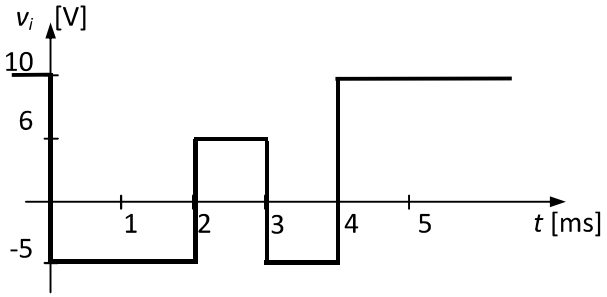
$t_1 = 3,4\ ms$

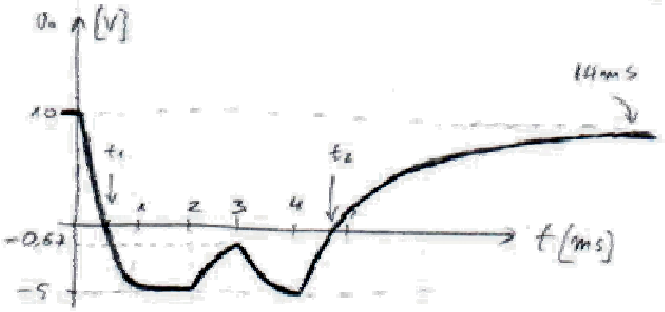
$t_2 = 4,02\ ms$

1. На влезот на колото прикажано на сликата е доведен напонот $v_i(t)$. Да се скицира излезниот напон $v_o(t)$. Колку пати и во кои моменти излезниот сигнал ќе биде еднаков на нула?

Познато е: $R_1 = 200\ \Omega$ $R_2 = 2\ k\Omega$ $C = 1\ \mu F$ Диодите се идеални.







$v_i(0-) = 10\ V$

$v_o(0-) = 10\ V = v_o(0+)$

$v_i(0+) = -5\ V \qquad \Delta v_i = -15\ V$

D_1 ON $\Rightarrow \tau_1 = R_1 \cdot C = 0.2\ ms$

$0 \le t \le 2\ ms$ (5)

$v_i = -5V$ $\tau_1 = 0.2ms$ ← доволно мало за да завршат преодните

$v_o(0+) = 10V$ $5\tau_1 = 1ms$ ← во тој момент $v_o = -5V = v(\infty)$

$v_o(\infty) = -5V$

Моментот во кој $v_o = 0$; $v_o(t) = 0 = -5V - [-5V - 10V]e^{-\frac{t_1}{\tau_1}}$

$0 = -5V + 15Ve^{-\frac{t_1}{\tau_1}} \Rightarrow \boxed{t_1 = 0,22\ ms}$

$2ms \le t \le 3ms$ (5)

$t' = t - 2ms$

$v_o(0+) = -5V$

$v_o(\infty) = v_i = 6V$

D_2 ON $\Rightarrow \tau_2 = 2ms$

$v_o(t') = 6V - [6V + 5V]e^{-\frac{t'}{\tau_2}}$

$v_o\left(\begin{matrix} t' = 1ms \\ t = 3ms \end{matrix}\right) = 6 - 11e^{-\frac{1ms}{2ms}} = -0,67\ V$

v_o не стигнува до нулата!

$3ms \le t \le 4ms$ (5)

$t'' = t - 3ms$

$v_o(0+) = -0,67V$

$v_o(\infty) = -5V$

D_1 ON $\Rightarrow \tau_1 = 0,2ms$

$v_o(t'') = -5 - [-5 + 0,67]e^{-\frac{t''}{\tau_1}}$

$5\tau_1 = 1ms$ ← доволно за да завршат преодните

v_o стигнува до $-5\ V$

$4ms \le t \le \infty$ (5)

$t''' = t - 4ms$

$v_o(0+) = -5V$

$v_o(\infty) = 10V$

D_2 ON $\Rightarrow \tau_2 = 2ms$

$v_o(t''') = 10 - [10 + 5]e^{-\frac{t'''}{\tau_2}}$

$5 \cdot \tau_2 = 10ms$

v_o ќе стигне до $10V$ во $t = 14\ ms$

Моментот $v_o = 0$:

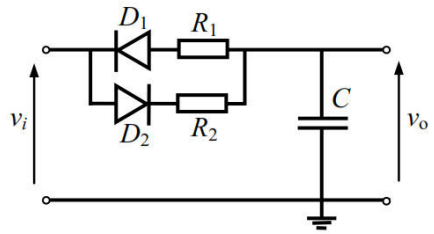
$v_o(t_2''') = 0 = 10 - 15e^{-\frac{t_2'''}{\tau_2}} \Rightarrow t_2''' = 0,81\ ms$

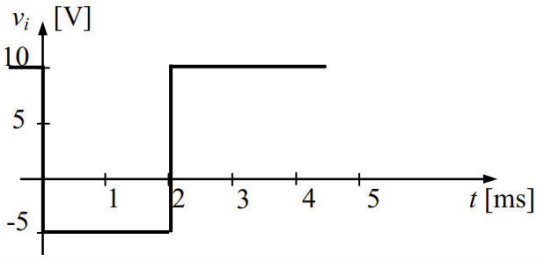
$\boxed{t_2 = 4,81\ ms}$

(5) за t_1 и t_2

Излезниот напон ќе биде 2 пати еднаков на нула!

1. На влезот на колото прикажано на сликата е доведен напонот $v_i(t)$. Да се определи колку време излезниот напон е негативен ($v_o < 0$) ?
Познато е: $R_1 = 2\ \text{k}\Omega$ $R_2 = 10\ \text{k}\Omega$ $C = 200\ \text{nF}$ Диодите се идеални.





Решение:

$0 \le t \le 2\ ms$ $\quad \vartheta_i = -5V \quad \vartheta_i < \vartheta_o \Rightarrow D_1\ ON \Rightarrow \tau_1 = R_1 \cdot C$

$\vartheta_o(0_-) = \vartheta_o(0_+) = 10V$

$\vartheta_o(\infty) = -5V$

$$\vartheta_o(t) = -5 - [-5-10]e^{-\frac{t}{R_1 C}} = -5 + 15\,e^{-\frac{t}{R_1 C}}$$

$$\vartheta_o(t_x) = 0 \Rightarrow t_x = R_1 \cdot C \ln 3 = 0{,}44\ ms$$

$2\ ms \le t \le \infty$ $\quad \vartheta_i = 10V \quad \vartheta_o < \vartheta_i \Rightarrow D_2\ ON \Rightarrow \tau_2 = R_2 C$

$\vartheta_o(0_-) = \vartheta_o(0_+) = -5\ V$ ⇐ затоа што $2\ ms = 5 \cdot \tau_1$ (преоднатата завршила)

$\vartheta_o(\infty) = 10\ V$ $\quad t' = t - 2\ ms$

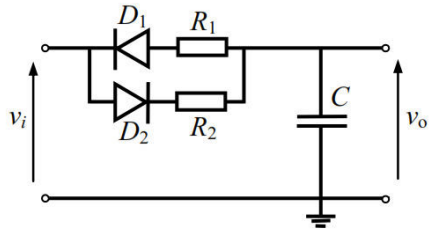
$$\vartheta_o(t') = 10 - [10-(-5)]e^{-\frac{t'}{R_2 C}} = 10 - 15\,e^{-\frac{t'}{R_2 C}}$$

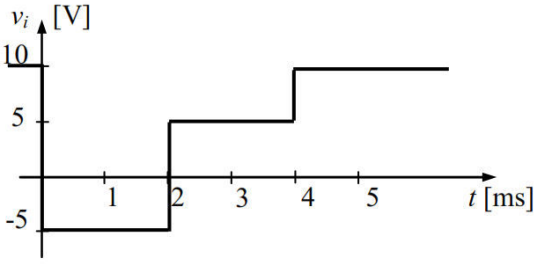
$$\vartheta_o(t_x') = 0 \Rightarrow t_x' = R_2 \cdot C \cdot \ln\frac{15}{10} = 0{,}811\ ms$$

$$t_x = t_x' + 2\ ms = 2{,}811\ ms$$

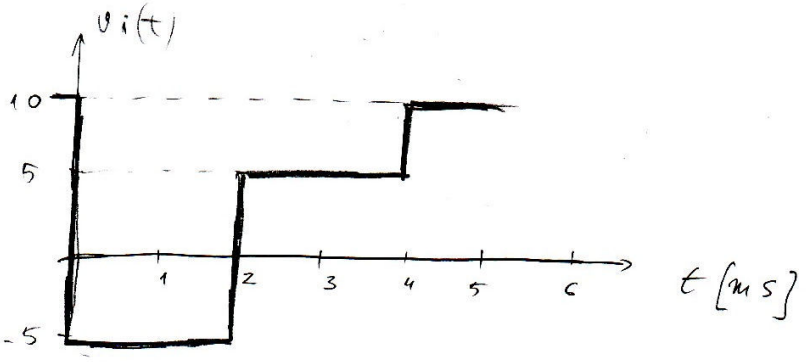
$$T\ (v_o < 0) = t_x - t_x = 2{,}81 - 0{,}44 = 2{,}37\ ms$$

1. На влезот на колото прикажано на сликата е доведен напонот $v_i(t)$. Да се скицира излезниот напон $v_o(t)$. Колку пати и во кои моменти излезниот сигнал ќе биде еднаков на нула?
Познато е: $R_1 = 1\ \text{k}\Omega$ $R_2 = 200\ \Omega$ $C = 1\ \mu\text{F}$ Диодите се идеални.





Решение:



Когда $v_i < v_o$

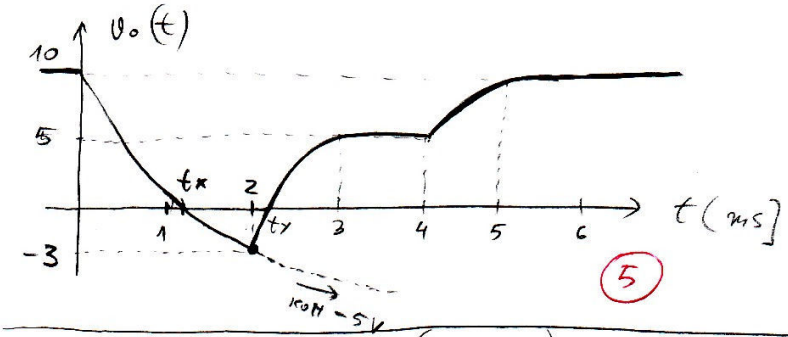
D_1 ON

$\tau_1 = R_1 \cdot C = 1\,ms$ (1)

Когда $v_i > v_o$

D_2 ON

$\tau_2 = R_2 C = 0{,}2\,ms$ (1)



(5)

$0 \le t \le 2\,ms$ $\quad (v_i \le v_o)$

$v_o(0_-) = v_o(0_+) = 10\,V$

$v_o(\infty) = -5\,V$

$\tau = \tau_1 = 1\,ms$

$\Rightarrow$

$v_o(t) = -5 - [-5-10]e^{-\frac{t}{\tau_1}} = -5 + 15\,e^{-\frac{t}{\tau_1}}$

$v_o(t = 2ms) \approx -3\,V$ (5)+(1)

$v_o(t = t_x) = \emptyset = -5 + 15\,e^{-\frac{t_x}{\tau_1}} \Rightarrow t_x = 1{,}1\,ms$

$2\,ms \le t \le 4\,ms$ $\quad (v_i \ge v_o)$ $\quad t' = t - 2\,ms$

$v_o(0_-') = v_o(0_+') = -3\,V$

$v_o(\infty) = 5\,V$

$\tau = \tau_2 = 0{,}2\,ms$

$\Rightarrow$

$v_o(t') = 5 - [5-(-3)]e^{-\frac{t'}{\tau_2}} = 5 - 8\,e^{-\frac{t'}{\tau_2}}$

$v_o\left(\begin{matrix} t' = 2ms \\ t = 4ms \end{matrix}\right) = 5\,V = v_o(\infty)$ $\quad \{$помним $> 5\tau_2\}$

(5)+(1)

$v_o(t = t_y) = \emptyset \Rightarrow t_y' = 94\,\mu s \Rightarrow t_y \approx 2{,}1\,ms$

$t \ge 4\,ms$ $\quad (v_i \ge v_o)$ $\quad t'' = t - 4\,ms$

$v_o(0_-'') = v_o(0_+'') = 5\,V$

$v_o(\infty) = 10\,V$

$\tau = \tau_2 = 0{,}2\,ms$

$\Rightarrow$

$v_o(t'') = 10 - [10-5]e^{-\frac{t''}{\tau_2}} = 10 - 5e^{-\frac{t''}{\tau_2}}$

v_o стигнува до 10V после $5\tau_2$, во $t = 5ms$

(5)

$v_o = \emptyset$ двапати $\rightarrow$ $t_x = 1{,}1\,ms$, $t_y = 2{,}1\,ms$ (1)

$\Sigma = 25$