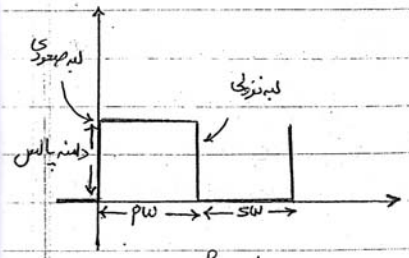
(۱)

«بنام خدا»

پالس ایده‌آل:



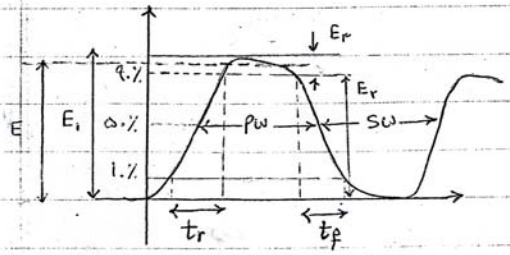
پهنای پالس = pulse width = pw

عرض فاصله = space width = sw

duty cycle = زمان کارکرد = $\frac{pw}{T} \times 100$

$f = \frac{1}{T}$

پالس غیرایده‌آل:



t_r = rise time = زمان صعودی

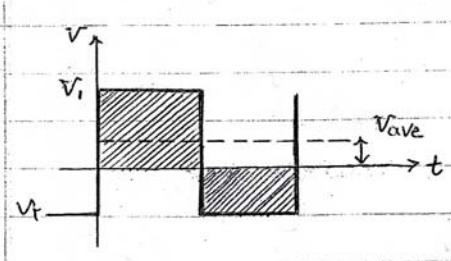
t_f = fall time = زمان نزولی

مقدار متوسط دامنه پالس مربع = $\frac{E_1 + E_2}{2} = E$

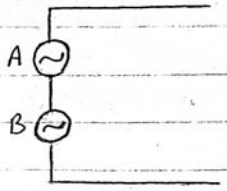
$T = pw + sw \Rightarrow \frac{1}{T} = f$

٪ افت = $\frac{E_1 - E_2}{E} \times 100 = \frac{E_3}{E} \times 100$

مقدار متوسط ولتاژ یک شکل موج



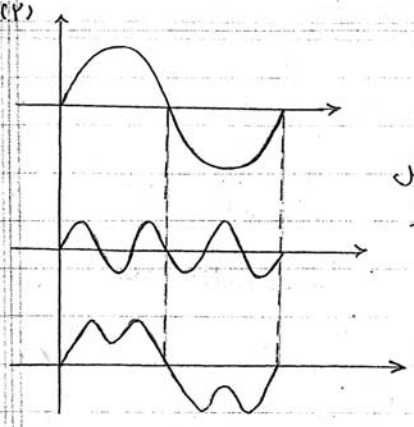
هارمونیک های موجود در یک شکل موج



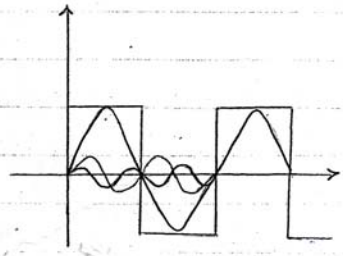
$f_B = 2f_A$

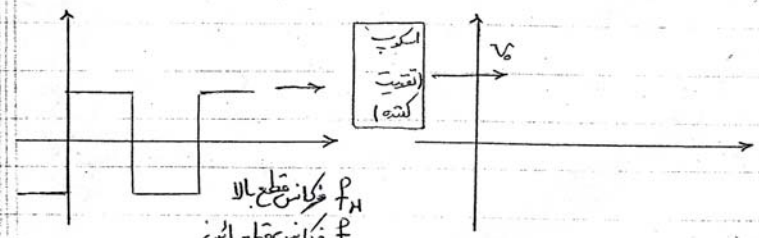
دامنه B < دامنه A

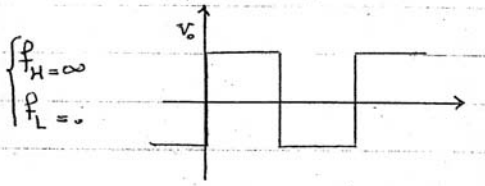
(۲)



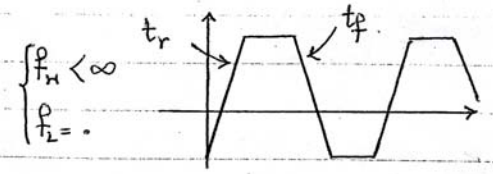
*نتیجه: هر موج مربعی (هر موج غیر سینوسی) از تعداد زیادی هارمونیک های سینوسی تشکیل شده است که فرکانس آنها مضرب صحیحی از فرکانس اصلی آن موج می باشد.







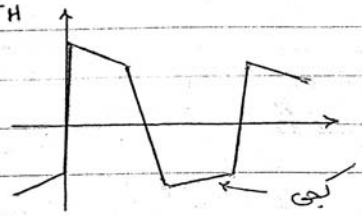
ایده آل



اعوجاج فرکانس بالا

۱۳۷ $t_r = t_f = \frac{0.35}{f_H}$

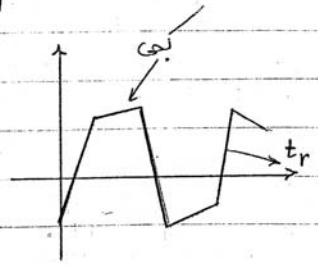
$\begin{cases} f_H = \infty \\ f_L > 0 \end{cases}$



اعوجاج فرکانس پائین

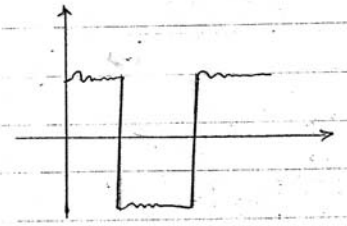
کجی نسبی $= \frac{\Pi f_L}{f}$ فرکانس موج ورودی

$\begin{cases} f_H < \infty \\ f_L > 0 \end{cases}$



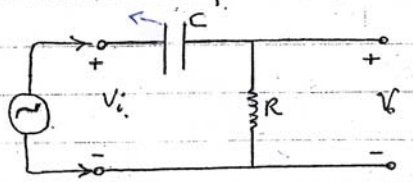
اعوجاج فرکانس بالا و پائین

تأکید بر تقویت در فرکانس های بالا



* اثر مدارهای RC - RL - RC RLC بروی سیگنال موج مربعی

۱) مدار RC یا لاگذر



$z = x + jy$

$|z| = \sqrt{x^2+y^2}$

$V_o = V_i \times \frac{R}{R - jX_c}$

$X_C = \frac{1}{\omega C}$

$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 - j\frac{X_c}{R}} = \frac{1}{1 - j\frac{1}{\omega RC}}$

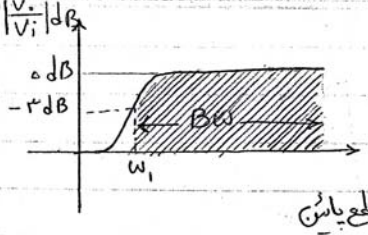
$\boxed{\omega_1 = \frac{1}{RC}}$

$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 - j\frac{\omega_1}{\omega}}$

$\left|\frac{V_o}{V_i}\right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{\omega_1}{\omega})^2}}$

$\varphi = \tan^{-1}\frac{\omega_1}{\omega}$

(۴) $dB = ۲۰ \log \left|\frac{V_o}{V_i}\right|$

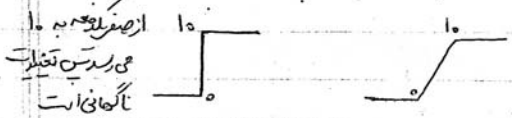


$\omega = \omega_1 \Rightarrow \left|\frac{V_o}{V_i}\right| = \frac{1}{\sqrt{۲}} = ۰.۷۱$

$\omega_1 = ۲\pi f_1 = \frac{1}{RC}$

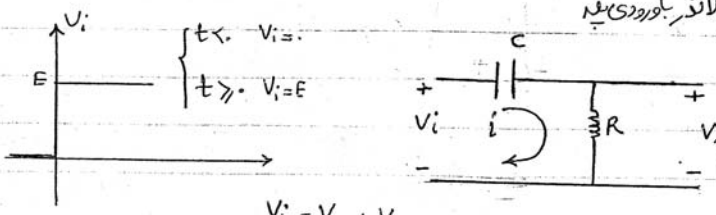
فرکانس قطع پایین $\boxed{f_1 = \frac{1}{۲\pi RC}}$

* خازن تغییرات سریع (ناگهانی) را از خود عبور داده و به خروجی می رساند



از صفر یکباره به ۱۰ می رسد تغییرات ناگهانی است

مدار RC بالاگذر یا ورودی پله



$V_i = V_c + V_o$

$V_i = \frac{1}{C}\int i\,dt + V_o$

$E = \frac{1}{C}\int i\,dt + V_o \qquad ۰ = \frac{1}{C}\left[\frac{V_o}{R}\right] + \frac{dV_o}{dt}$

$\boxed{\frac{V_o}{RC} + \frac{dV_o}{dt} = ۰}$ $t > ۰$

$V_o(t) = K e^{\frac{-t}{RC}}$

$t = ۰^+ \Rightarrow V_o(t = ۰^+) = K e^{-۰} = E$

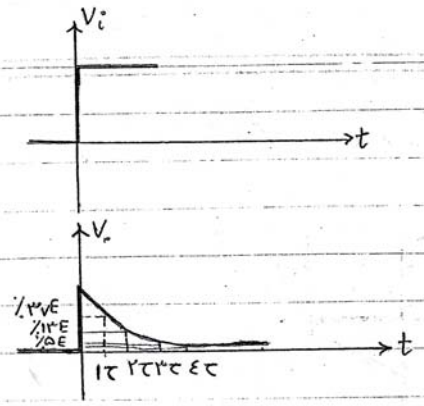
$\boxed{K = E}$

$V_o(t) = E e^{\frac{-t}{RC}}$

$\tau = RC$ ثابت زمانی

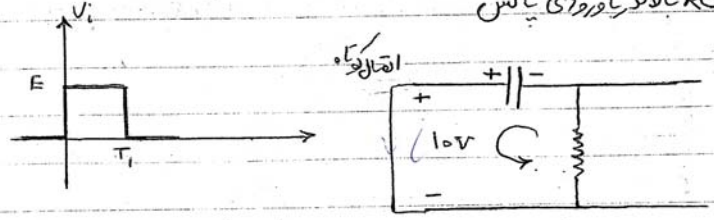
$\boxed{V_o(t) = E e^{\frac{-t}{\tau}}}$

(ه)



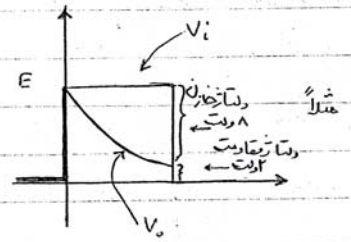
t	V_o
۱τ	۳۷٪E
۲τ	۱۳٪E
۳τ	۵٪E
۴τ	۲٪E
۵τ	۱٪E

مدار RC بالاگذر با ورودی پالس

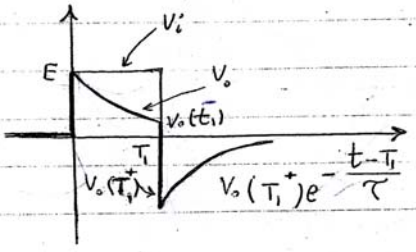


$t < 0 \Rightarrow V_o = 0$

$0 \leq t \leq T_1 \Rightarrow V_o = E e^{-\frac{t}{\tau}}$

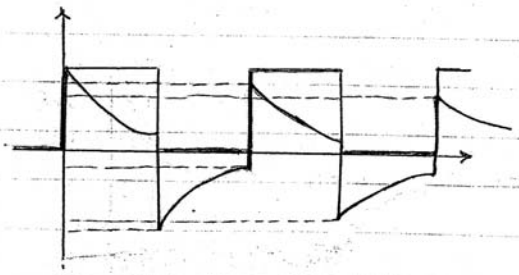


$t = T_1^- \Rightarrow V_o(t = T_1^-) = E e^{-\frac{T_1}{\tau}}$

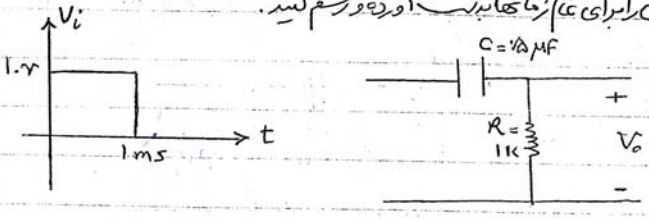


(۶) $t = T_1^+ \Rightarrow V_o(T_1^+) = V_o(T_1^-) - E$

$t \geq T_1^+ \Rightarrow V_o(t) = V_o(T_1^+)\, e^{-\frac{t-T_1}{\tau}}$



مثال: شکل موج خروجی را برای ثابت زمانهای داده شده رسم کنید.



$t < 0 \Rightarrow V_o(t) = 0$

$0 \leq t \leq 1ms \Rightarrow V_o(t) = Ee^{-\frac{t}{\tau}}$

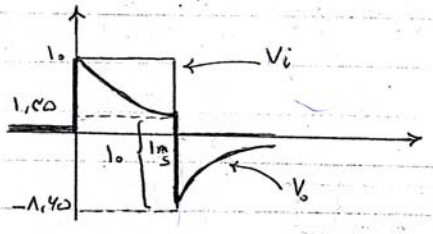
$\tau = RC = 0.5ms \qquad E = 10V$

$0 \leq t \leq 1ms \Rightarrow V_o(t) = 10e^{-\frac{t}{0.5ms}}$

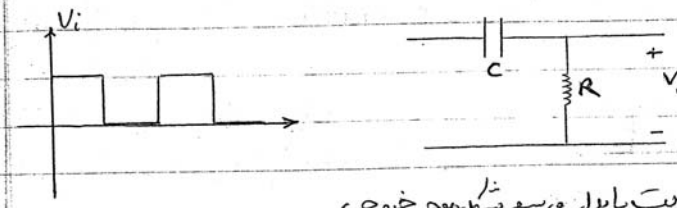
$t = 1^-ms \qquad V_o(1^-ms) = 10e^{-\frac{1ms}{0.5ms}} \qquad V_o(1^-ms) = 1.35V$

$t = 1^+ms \qquad V_o(1^+ms) = V_o(1ms^-) - E = 1.35 - 10 = -8.65V$

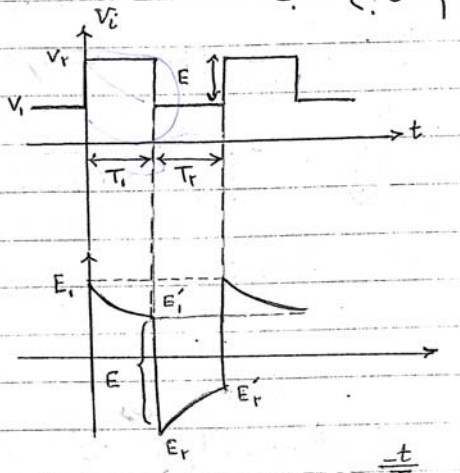
$t \geq 1ms \qquad V_o(t) = V_o(1ms^+)\, e^{-\frac{t-1m}{0.5m}}$



* مدار RC بالاگذر با ورودی موج مربعی *



بررسی مدار در حالت پایدار و رسم شکل موج خروجی



معلومات: E, T_1, T_2

مجهولات: E_1, E_2, E'_1, E'_2

$$0 \le t \le T_1 \qquad V_o(t) = E_1 e^{\frac{-t}{\tau}}$$

$$t = T_1^- \qquad E'_1 = E_1 e^{\frac{-T_1}{\tau}}$$

$$t = T_1^+ \qquad E_2 = E'_1 - E$$

$$T_1 \le t \le T_1 + T_2 \qquad V_o(t) = E_2 e^{-\frac{t - T_1}{\tau}}$$

$$t = T_1 + T_2^- \qquad E'_2 = E_2 e^{-\frac{T_2}{\tau}}$$

$$t = T_1 + T_2^+ \qquad E_1 = E'_2 + E$$

حالت خاص: ورودی یک موج مربعی متقارن

$$T_1 = T_2 = \frac{T}{2}$$

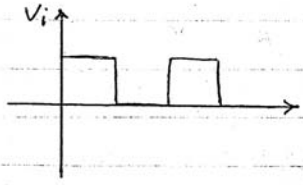
$$E_1 = -E_2 \quad , \quad E'_1 = -E'_2$$

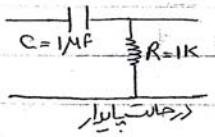
$$E_1 = -E_2 = \frac{E}{1 + e^{\frac{-T}{2RC}}}$$

$$E'_1 = -E'_2 = \frac{E}{1 + e^{\frac{+T}{2RC}}}$$

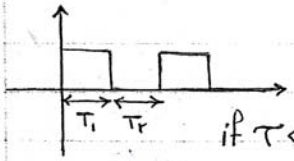
تمرین: موج مربعی متقارن

الف) $f=1KHZ$ ب) $f=5KHZ$ ج) $f=1MHZ$

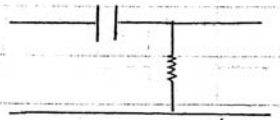




* * *

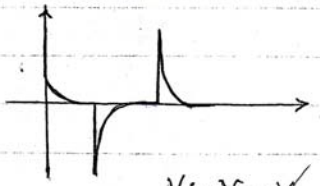


if $\tau \ll T_1$ $\tau = RC$



مشتق گیر

کلمه:



سریع شارژ می‌شود و سریع دشارژ می‌شود.

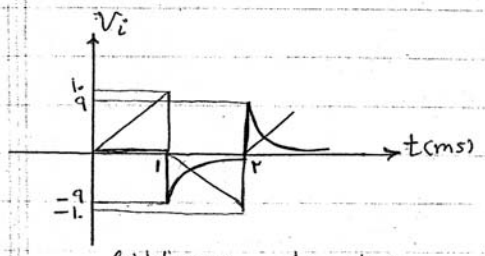
$V_i = V_C + V_o$ ← صفر

$i = \frac{V_o}{R}$

$V_i = \frac{1}{C}\int i\,dt$ $V_i = \frac{1}{C}\int \frac{V_o(t)}{R}dt$

$V_o(t) = RC\frac{dV_i}{dt}$

مثال: $\tau = 0.1ms$



$0.1ms \ll 1ms$ (بنابراین ۵۰ درصد)

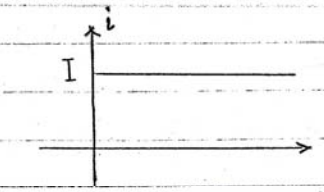
مدار در حالت مشتق گیر است

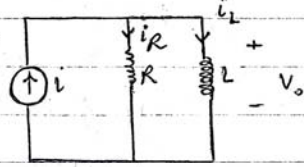
$0 < t < 1ms$

$V_o(t) = (0.1ms)\left[\frac{10V}{1ms}\right] = 1V$

$1ms < t \leq 2ms$ $V_o(t) = (0.1ms)\left[\frac{-10}{1ms}\right] = -1$

مدار RL گذر بالا





$\tau = \frac{L}{R}$

$i_L(0^+) = 0$

$i_L(\infty) = I$

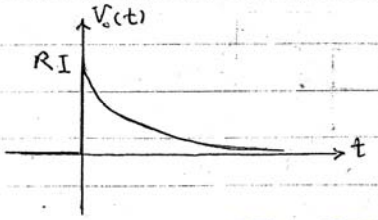
$$I_L(t) = i_L(\infty) - [i_L(\infty) - i_L(0^+)]\, e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\boxed{i_L(t) = I - [I - 0]\, e^{-\frac{t}{\tau}} \qquad t \geq 0}$$

$$V_o(t) = V_L(t) = L\frac{di}{dt}$$

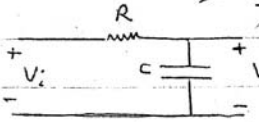
$$V_o(t) = (L)(-I)\left(-\frac{1}{\tau}\right) e^{-\frac{t}{\tau}} \qquad \frac{L}{R}$$

$$\boxed{V_o(t) = RI\, e^{-\frac{t}{\tau}} \qquad t \geq 0}$$



مدار پایین گذر RC

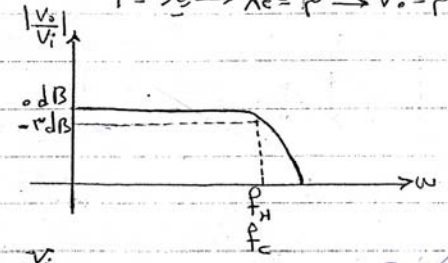
$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$



اگر ورودی سینوسی با دامنه ثابت باشد →

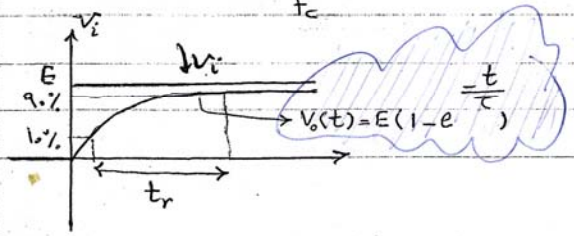
f = کم → X_C = زیاد → خروجی V_o = زیاد

f = زیاد → X_C = کم → V_o = کم



$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

مدار پایین گذر RC با ورودی پله



$$V_o(t) = E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

(۱۰)

$t < 0 \Rightarrow V_o(t) = 0$

$t > 0 \quad V_o(0^+) = 0$

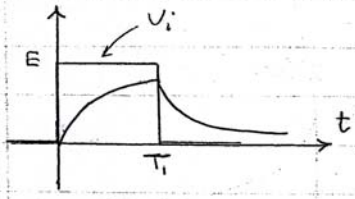
$V_o(\infty) = E$

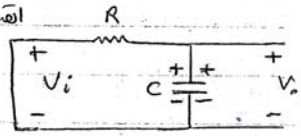
$V_o(t) = V_c(t) = V_o(\infty) - [V_o(\infty) - V_o(0)]\, e^{\frac{-t}{\tau}}$

$* V_o(t) = E(1 - e^{\frac{-t}{\tau}}) \quad t > 0 \; *$

$t_r = 2.2RC$ ثابت کنید که: *

مدار پائین گذر RC با ورودی پالس



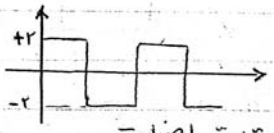


$t < 0 \quad V_o(t) = 0$

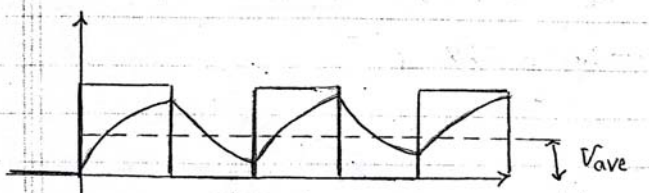
$0 < t < T_1 \quad V_o(t) = E(1 - e^{\frac{-t}{\tau}})$

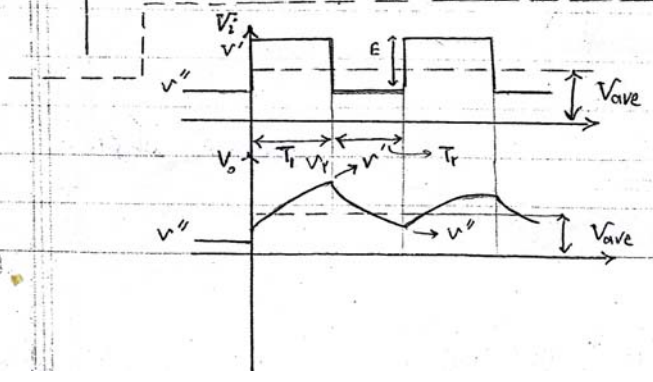
$t = T_1 \quad V_o(T_1) = E(1 - e^{\frac{-T_1}{\tau}})$

$t > T_1 \quad V_o(t) = V_o(T_1)\, e^{-\frac{t - T_1}{\tau}}$



مقدار متوسط ضعف است.





(11)

$$0 \leq t \leq T_1 \qquad V_o(t) = V' - [V' - V_1]e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\boxed{t = T_1 \qquad V_2 = V' - [V' - V_1]e^{-\frac{T_1}{\tau}}}$$

$$T_1 \leq t \leq T_1 + T_2 \qquad V_o(t) = V'' - [V'' - V_2]e^{-\frac{t - T_1}{\tau}}$$

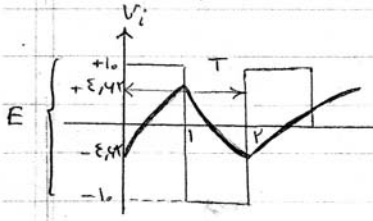
$$t = T_1 + T_2 \qquad \boxed{V_1 = V'' - [V'' - V_2]e^{-\frac{T_2}{\tau}}}$$

حالت خاص: یک موج مربعی متقارن با مقدار متوسط صفر

$$V' = -V'' \qquad T_1 = T_2 = \frac{T}{2} \Rightarrow V_2 = -V_1$$

$$\boxed{V_2 = -V_1 = \frac{E}{2} \times \frac{e^{\frac{T}{4RC}} - 1}{e^{\frac{T}{4RC}} + 1}} \quad *$$

مثال:

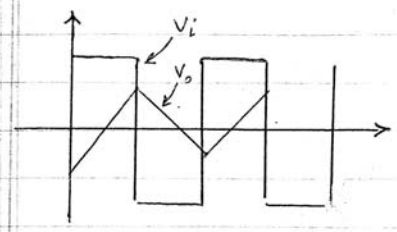


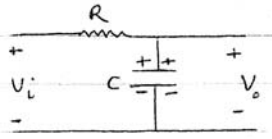
$$f_c = \frac{1}{2\pi}\ MHz$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi}\ MHz \Rightarrow \boxed{RC = 1\mu s}$$

$$V_2 = -V_1 = \frac{20}{2} \times \frac{e^{\frac{2\mu s}{2 \times 1\mu s}} - 1}{e^{\frac{2\mu s}{2 \times 1\mu s}} + 1} = 4{,}92 \text{ ولت}$$

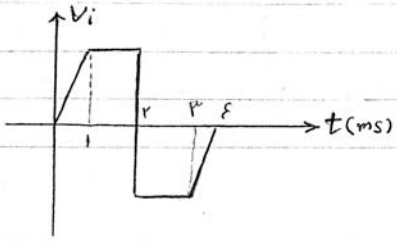
if $\tau >> T_1$





به ازای ورودی مربعی خروجی مثلثی داریم

$$i = \frac{V_i}{R} \qquad V_o = \frac{1}{C}\int i\,dt \qquad V_o(t) = \frac{1}{RC}\int V_i(t)\,dt$$

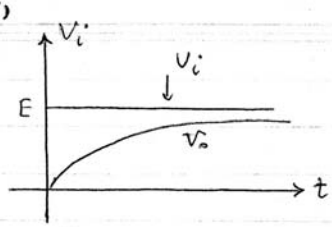


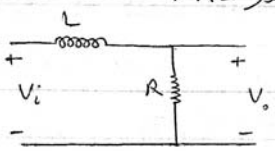
تمرین:

$\tau = 10ms$

شکل موج خروجی V_o را؟

* مدارهای گذر RL *





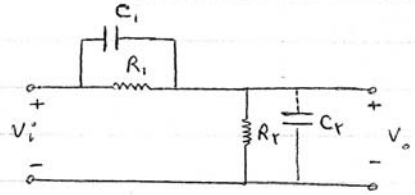
$$i_L(0) = 0 \qquad i_L(\infty) = \frac{E}{R}$$

$$i_L(t) = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad t \geq 0$$

$$V_o = V_R = i_L(t) \times R = E\left(e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad t \geq 0$$

مدارهای تضعیف کننده :

تضعیف کننده مقاومتی

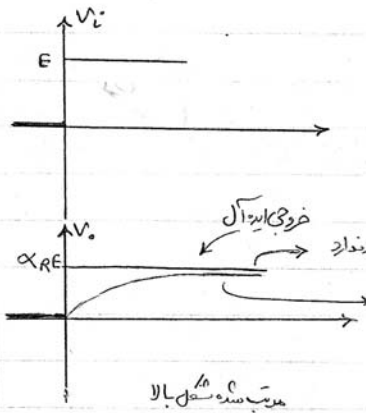


$$V_o = V_i \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} \rightarrow \alpha_R$$

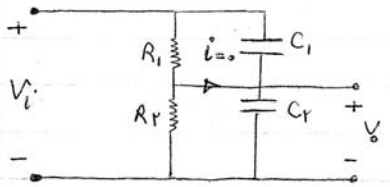
ضریب تضعیف $\alpha_R < 1$

$$V_o = \alpha_R \cdot V_i$$

$$V_o = \alpha_R \cdot E$$



مدار تضعیف کننده شامل خازن



$$R_1 \times X_{C_2} = R_2 \times X_{C_1}$$

$$R_1 \times \frac{1}{\omega C_2} = R_2 \times \frac{1}{\omega C_1}$$

$$\boxed{R_1 C_1 = R_2 C_2}$$

جبران ایده آل

خروجی به صورت ایده آل تغییر خواهد کرد

(۱۳) $V_o(t) = ?$ $t > 0$ α_C

$$V_o(0) = E \times \frac{C_1}{C_1 + C_2} = E \times \alpha_C$$

$$V_o(\infty) = E \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} = E \times \alpha_R$$

$$V_o(t) = V_o(\infty) - [V_o(\infty) - V_o(0)]\, e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$\tau = ?$ $\Rightarrow$ $\tau = R_{eq} \cdot C_{eq}$

$$\tau = (R_1 \| R_2) \cdot (C_1 + C_2)$$

$C_1 \| C_2$

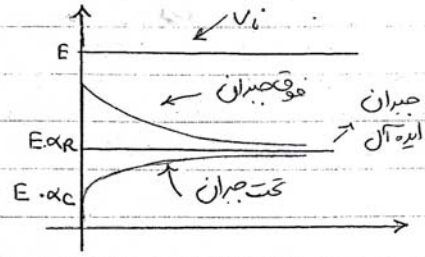
$$V_o(t) = E\left[\alpha_R - (\alpha_R - \alpha_C)\, e^{-\frac{t}{\tau}}\right] \quad t \geq 0$$

انواع جبران:

۱) جبران ایده‌آل $\Rightarrow R_1C_1 = R_2C_2$ $\quad V_o(0) = V_o(\infty)$

۲) فوق جبران $\Rightarrow R_1C_1 > R_2C_2$ $\quad V_o(0) > V_o(\infty)$

۳) تحت جبران $\Rightarrow R_1C_1 < R_2C_2$ $\quad V_o(0) < V_o(\infty)$



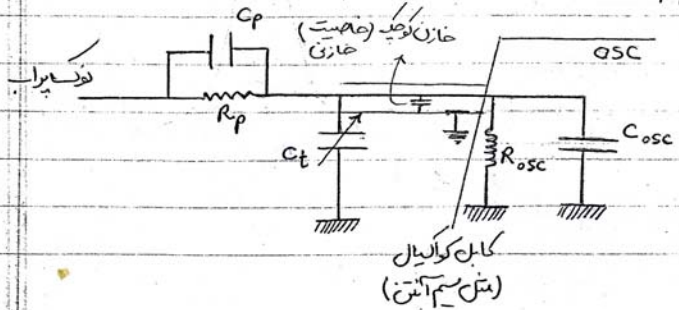
پراب اسکوپ

Probe

تضعیف کننده

ساده‌ترین مورد استفاده از مدار تضعیف کننده در probe اسکوپ است

* مدار معادل Probe *



(۴۴)

$$R_p \cdot C_p = R_{osc}\,(C_t + C_K + C_{osc})$$ حالت کلی ایده آل

وقتی موج مربعی می دهیم

$\alpha = 0.1 \Rightarrow$ ریز $\times 10$ بزرگ

$$\alpha = \frac{R_{osc}}{R_{osc} + R_p}$$

عدم تنظیم probe

عدم تنظیم probe

تنظیم Probe

$R_i = R_p$

$R_c = osc$

$$\alpha = \frac{R_i}{R_i + R_c}$$

اگر ضریب تضعیف را روی این عدد بذاریم $\begin{cases} X10 \\ X1 \end{cases}$

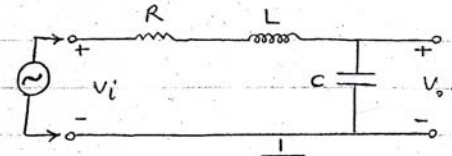
$C_p = ?$

$R_p = ?$

تمرین:

$\begin{cases} C_{osc} = 50pF \\ R_{osc} = 1M\Omega \\ C_K = 10pF \\ C_t = 10pF \end{cases}$

مدار RLC سری



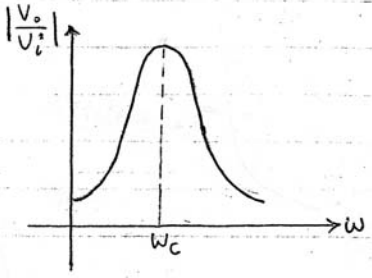
$$V_o = V_i \times \frac{\frac{1}{jwC}}{R + jwL + \frac{1}{jwC}}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{(1 - w^2LC) + jwRC}$$

$$\left|\frac{V_o}{V_i}\right| = \frac{1}{\sqrt{(1 - w^2LC)^2 + (wRC)^2}}$$

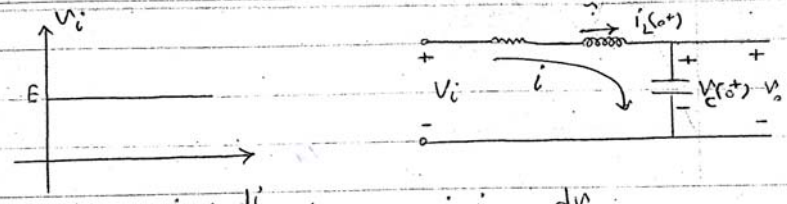
$$w_c = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{2L^2}}$$

طریق رسم آوردن به $w_c = ?$ (به عنوان تمرین)



(ص۱)

مدار RLC سری با ورودی پله



$$V_i = R\cdot i + L\frac{di}{dt} + V_o \qquad i = i_C = C\frac{dV_o}{dt}$$

$$\boxed{E = RC\frac{dV_o}{dt} + LC\frac{d^2V_o}{dt^2} + V_o \qquad t\geq 0}$$

ضریب میرایی $\alpha = \frac{R}{2L}$ $\qquad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

فرکانس رزونانس مدار RLC $\qquad s_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$ $\qquad \boxed{\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}}$

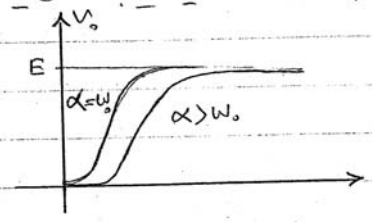
$$V_o(t) = V_{oh}(t) + \boxed{V_{of}(t)} \rightarrow E$$

$V_{oh}(t)$: پاسخ حالت گذرا — $V_{of}(t)$: پاسخ حالت ماندگار (دائم)

۱) $\alpha > \omega_0$ (فوق میرایی)

$$V_o(t) = E + A_1 e^{s_1 t} + A_2 e^{s_2 t} \qquad t\geq 0$$

A_1 و A_2 از روی شرایط اولیه بدست می‌آیند

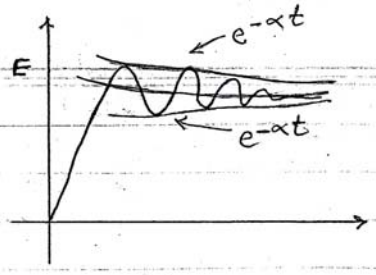


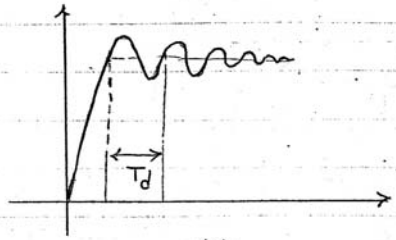
۲) $\alpha = \omega_0$ (میرایی بحرانی)

$$V_o(t) = E + (A_1 + A_2 t)e^{-\alpha t} \qquad t\geq 0$$

۳) $\alpha < \omega_0$ زیر میرایی (میرایی نوسانی)

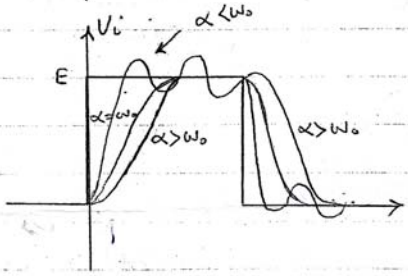
$$\boxed{V_o(t) = E\left[1 + e^{-\alpha t}\sin(\omega t - \varphi)\right] \qquad t\geq 0}$$

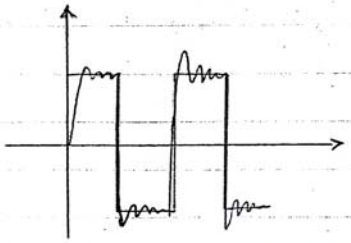




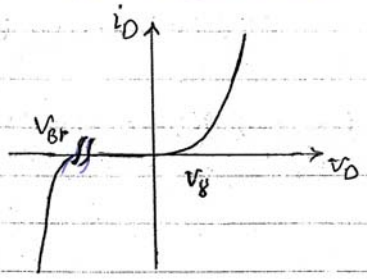
$f_d = \frac{1}{T_d}$ $\omega_d = 2\pi f_d$

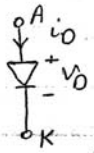
پاسخ مدار RLC



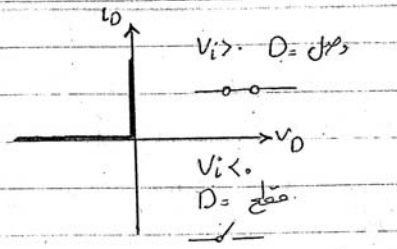


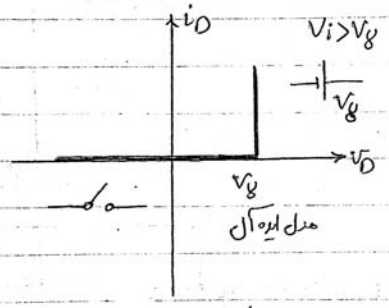
خصوصیات کلیدی (سوئیچینگ) دیود



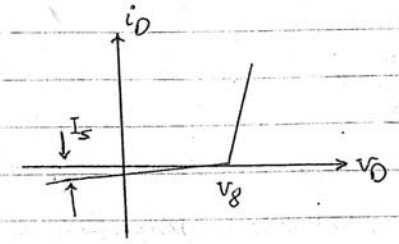


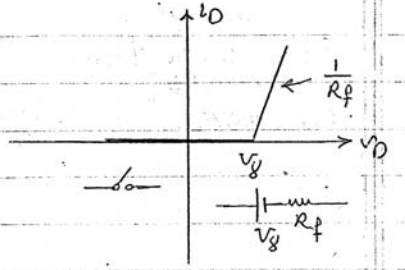
مدل سازی دیود: (روش خطی - پاره‌ای)

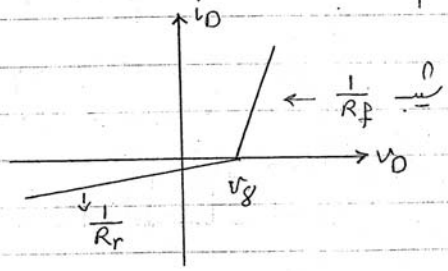


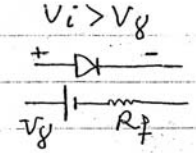


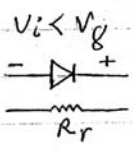
مدل ایده‌آل



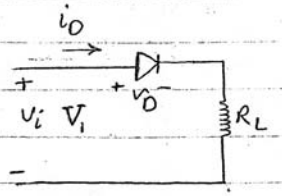


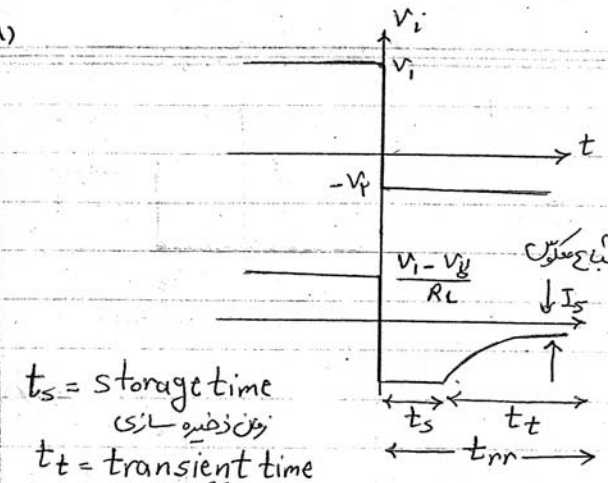






خطع وصل دیود:



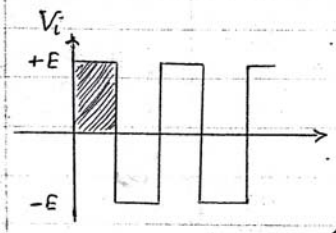


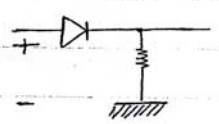
t_s = storage time
زمان ذخیره سازی

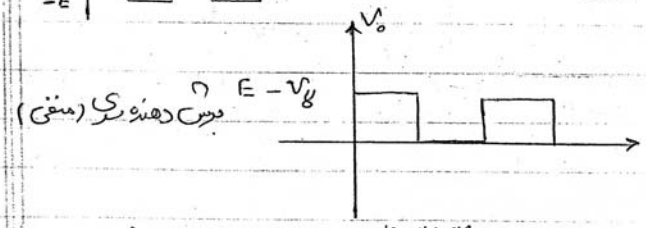
t_t = transient time
زمان گذرا

t_{rr} = Reverse Recovery time زمان بازیابی معکوس

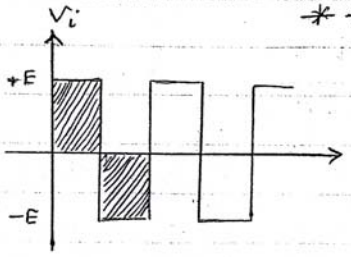
مدارهای برش دهنده (محدود کننده) دیودی

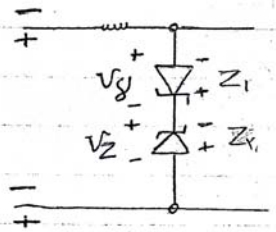


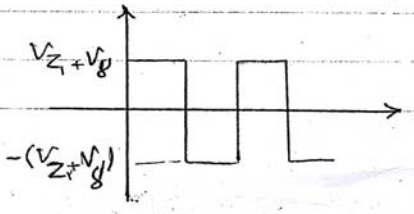




برش دهنده ی (منفی)

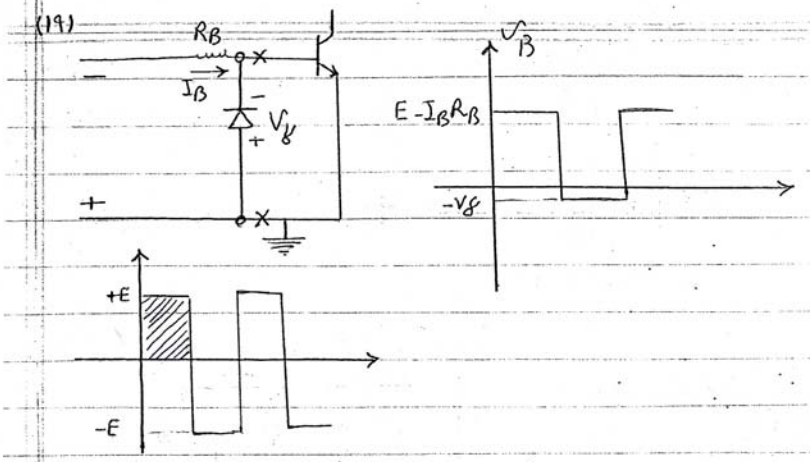




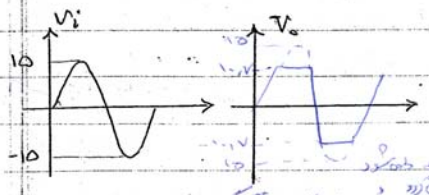


برش دهنده موازی (دوطرفه)

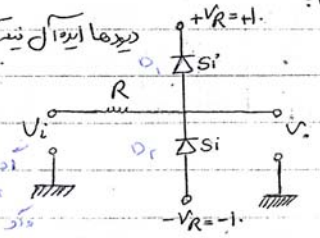
(19)



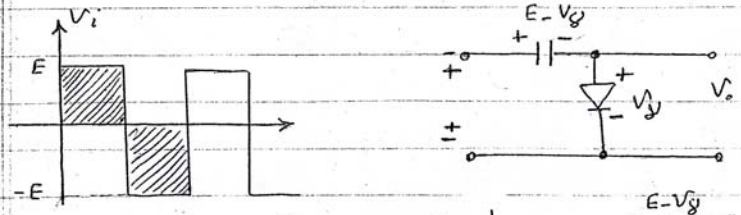
تمرین:



دیودها ایده‌آل نیستند



مدارهای کلمپ (مقدار کننده)



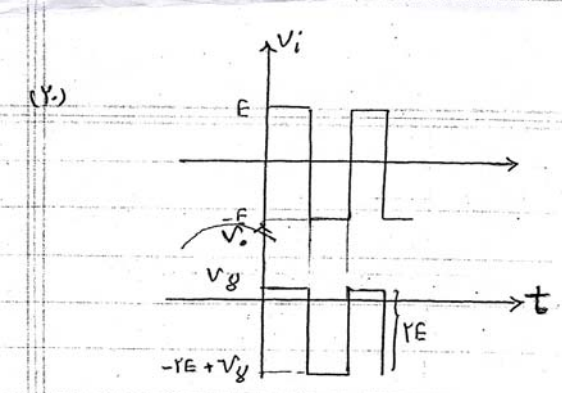
$V_i = + \Rightarrow D = ON \Rightarrow C = charge \longrightarrow$

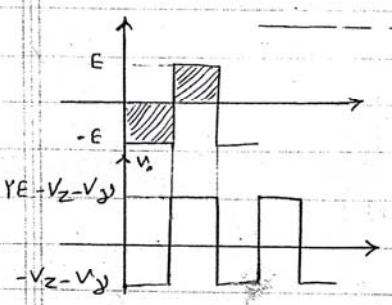
$\Rightarrow V_o = +V_\gamma$

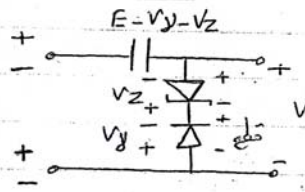
$V_i = - \Rightarrow D = off \Rightarrow V_o = -(E - V_\gamma) = -E$ (ورودی) $+ V_\gamma$ (خازن)

$V_o = -2E + V_\gamma$

(۲۰)



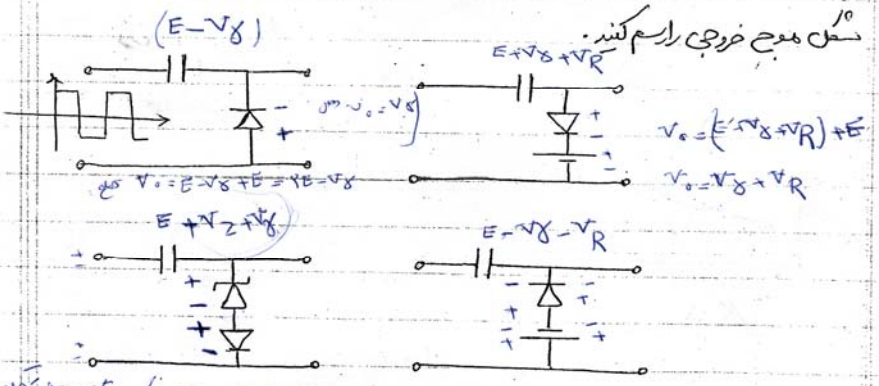




$V_o = E - V_Z - V_\gamma + E = 2E - V_Z - V_\gamma$

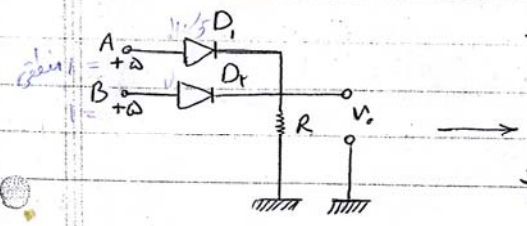
(تمرین)

۱۵/ شکل موج خروجی را رسم کنید.

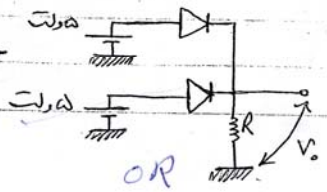


حالت قطع $V_o = (E+V_Z+V_\gamma)+E$

حالت وصل $V_o = +V_Z+V_\gamma$

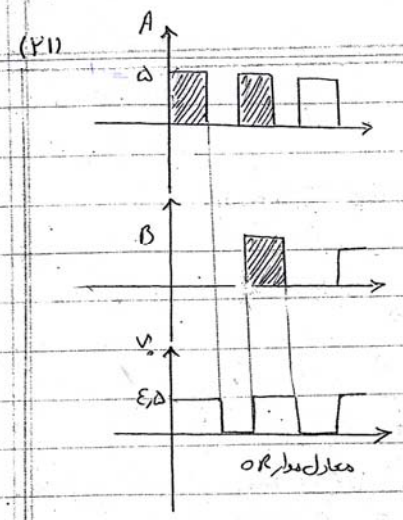


* استفاده از دیود در مدارهای منطقی *



OR

(۲۱)

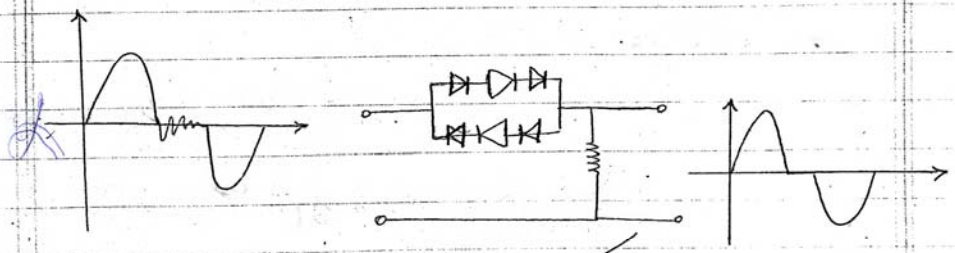


A	B	F
۰	۰	۰
۰	۱	۱
۱	۰	۱
۱	۱	۱

OR

A	B	F
۰	۰	۰
۰	۱	۰
۱	۰	۰
۱	۱	۱

AND

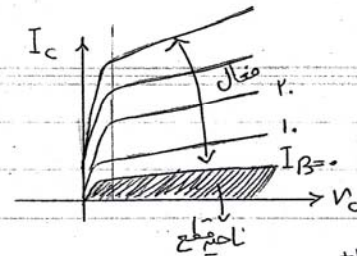


استفاده از ترانزیستور به عنوان کلید :

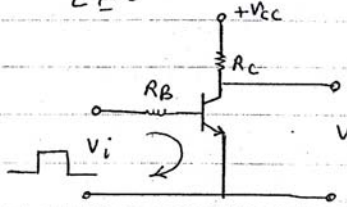
نواحی کار	بایاس B-E	بایاس B-C	I_B	I_C	$P_D=V_{CE}I_C$	کاربرد	V_{CE}
قطع	معکوس	معکوس	صفر	صفر	صفر	دیجیتال	V_{CC}
فعال	موافق	مخالف	>0	βI_B	$\beta I_B(V_{CC}-R_I)$	آنالوگ	$V_{CC}-R_IC$
اشباع	موافق	موافق	$I_{B_{sat}} > \frac{I_{C_{sat}}}{\beta_{min}}$	$I_{C_{sat}}$	ناچیز	دیجیتال	۰/۲ V

تکنیک پالس

(۲۲)



$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C$



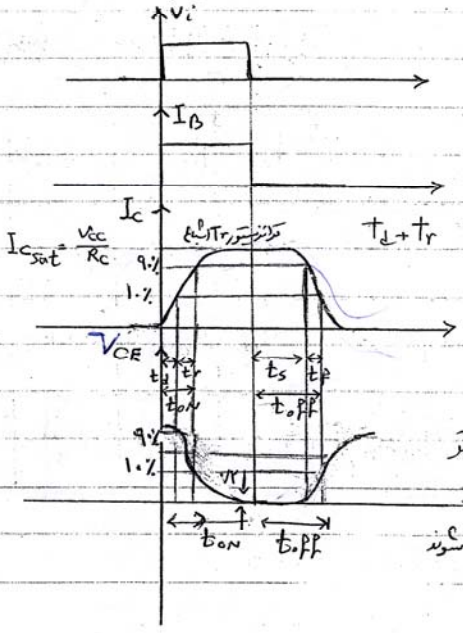
مثال: $V_i = 5V$, $R_B = 1.0K$, $V_{CC} = 10V$, $\beta_{min} = 10$

$R_C = ?$ $V_{CE\,sat} \simeq 0$

$$I_{C_{sat}} = \frac{V_{CC} - V_{CE_{sat}}}{R_C} = \frac{10 - 0}{R_C} = \frac{10}{R_C}$$

$$V_i = R_B I_{B\,sat} + V_{BE} \qquad I_{B_{sat}} = \frac{V_i - V_{BE}}{R_B} = \frac{5 - 0.7}{1.0K} = 0.43mA$$

$$I_{B_{sat}} > \frac{I_{C_{sat}}}{\beta_{min}} \qquad 0.43\,mA \gg \frac{\frac{10}{R_C}}{10} \Rightarrow \boxed{R_C \geq 232}$$



$t_d + t_r$

delay time = زمان تأخیر

t_{ON} = زمان روشن شدن ترانزیستور

t_s = storage time

زمان ذخیره سازی

t_{OFF} = زمان خاموش شدن ترانزیستور Tr

$t_{OFF} = t_s + t_f$

هرچه این t ها کمتر باشد ترانزیستور کندتر روشن و خاموش می شود و هرچه t ها کمتر باشد سریعتر روشن و خاموش می شود

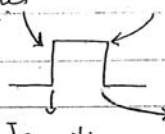
(۲۳)

V_i

BE - - $\Rightarrow$ ⊓ $\Rightarrow$ $t_d \uparrow \Rightarrow t_{ON} \uparrow$

t_d کم کنیم $\Rightarrow t_r \Rightarrow t_s \uparrow \Rightarrow t_{off} \uparrow$

بین امیتر خاصیت خازنی هم دارد



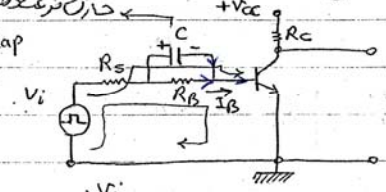
اشباع

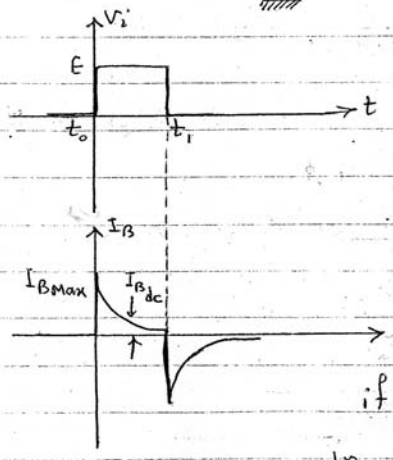
$V_{BE}=-$

I_B = زیاد ← t_r = وصل

خازن تسریع‌کننده (سریع کننده)

Speed up Cap





$t=t_0 \Rightarrow C$ = short →

$I_{B\,Max}=\dfrac{V_i - V_{BE}}{R_S} \Rightarrow t_r$ = وصل

$\tau = R_S C \quad I_{B\,dc}=\dfrac{V_i - V_{BE}}{R_S + R_B}$

if $I_{B\,Max} \gg I_{B\,dc}$

← انتظار راه‌اندازی زمانهای وصل و قطع وجود دارد

$t=t_1 \Rightarrow V_i = 0 \Rightarrow$

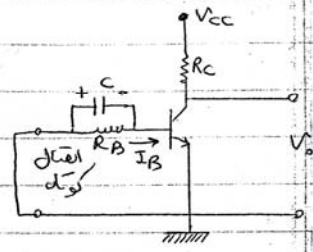
$V_{BE}=- \Rightarrow t_r$ = قطع

$\Rightarrow C$ = discharge $\Rightarrow V_{BE}=$ ↓

$\tau = R_B \cdot C$

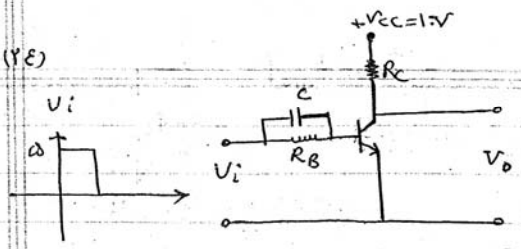
$t_{ON} = \%1 R_S \cdot C$

$t_{re} = 2{,}2 R_B \cdot C$ زمان ترمیم



$$f_{Max}=\frac{1}{2t_{re}}=\frac{1}{2\times 2{,}2 R_B \cdot C}$$

(۲۴)



مثال: $R_S = 9\Omega$

$R_B = 5.4K$

$t_{ON} = 70ns$

$V_i = 5V$

$C = ?$

$f_{Max} = ?$

$t_{ON} = 1.1 R_S \cdot C$

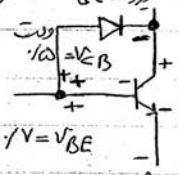
$C = \frac{70ns}{1.1 \times 9\Omega} = 1.1nF$ $\quad f_{Max} = \frac{1}{2 \times 2.3 R_B \cdot C} = \frac{1}{8.4 \times 5.4K \times 1.1n} =$ حدود

$I_{B_{Max}} = \frac{V_i - V_{BE}}{R_S} = \frac{5 - 0.7}{9} = \frac{4.3}{9} = 1.1mA$

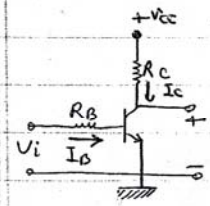
$I_{B_{dc}} = \frac{V_i - V_{BE}}{R_S + R_B} = \frac{5 - 0.7}{9 + 5.4} = \frac{4.3}{14.4} = 0.3mA$

$I_{B_{Max}} \gg I_{B_{dc}}$ ← افت ولتاژ دیود D_1 [۰.۲V - ۰.۷]

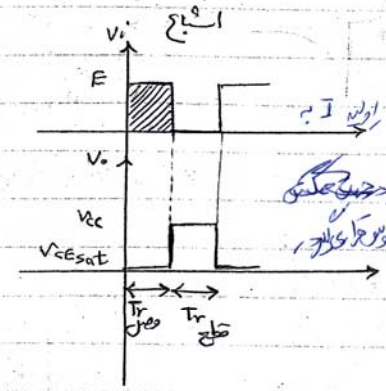
دیود D_1 برای اسرعت قطع و وصل زیاد



یک روش برای کاهش زمان روشن و خاموش شدن ترانزیستور استفاده از دیود شاتکی است.



مدار معکوس کننده



$V_i = + \Rightarrow Tr =$ اشباع $\Rightarrow V_o = V_{CEsat} =$ ولت ۰.۲

$V_i = 0 \Rightarrow Tr =$ قطع $\Rightarrow V_o = V_{cc}$

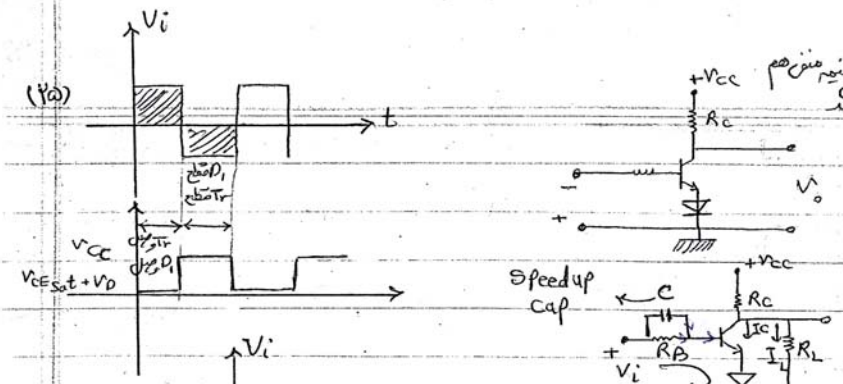
t_s زمان ذخیره

t_f زمان پایین آمدن

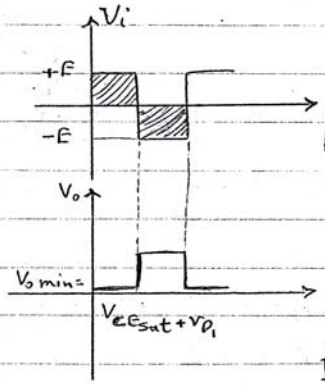
t_r زمان صعود

t_d زمان تاخیر

t_{rr} زمان بازیابی معکوس



اگر ورودی دنبه منفی هم داشته باشد



$R_L >> R_C$

$I_C >> I_L$

$V_{o\,max} = V_{CC} \times \frac{R_L}{R_L + R_C}$

$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CEsat} - V_{D_1}}{I_C}$

$I_B = \frac{I_{C\,sat}}{\beta_{min}}$

$R_B = \frac{V_i - V_{BE} - V_{D_1}}{I_B}$

مثال: $R_L = 1 \sim K$ ، $\beta_{min} = ۲۰$ ، $V_i = \pm 10\ V$ ، $V_{CC} = 14\ V$

$R_B = ?$ ، $R_C = ?$ ، $f_{max} = ?$ ، $C = ?$

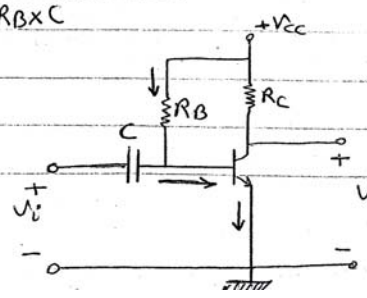
$R_C \ll R_L$ $\quad R_C = \frac{1}{10} R_L = 1.0\ K\Omega$

$I_{C\,sat} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat} - V_D}{R_C} = \frac{14 - ۰/۲ - ۰/۷}{1.0K} = 1,۵۱\ mA$

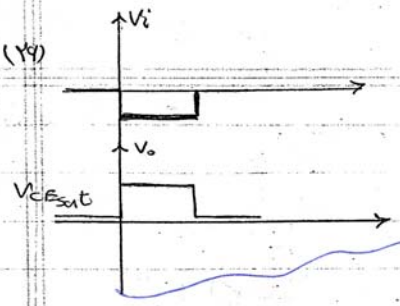
$I_\beta = \frac{I_C}{\beta_{Min}} = \frac{1,۵m}{۲۰} = ۰/۰۵\ mA$

$R_B = \frac{V_i - V_{BE} - V_{D_1}}{I_B} = \frac{+10 - ۰/۷ - ۰/۷}{۰/۰۵ mA} = \text{---}\ K\Omega$

$f_{max} = \frac{1}{۲ \times ۲,۲ \times R_B \times C} = \text{---}$

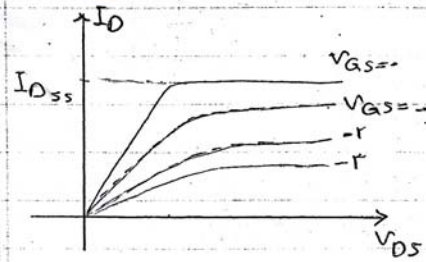


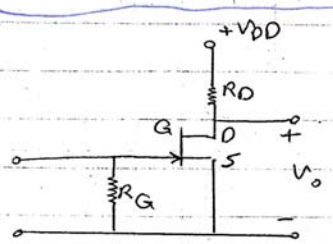
(٢٩)



$V_i = 0 \Rightarrow Tr = $ أسبع $\Rightarrow V_o = V_{CE_{sat}}$

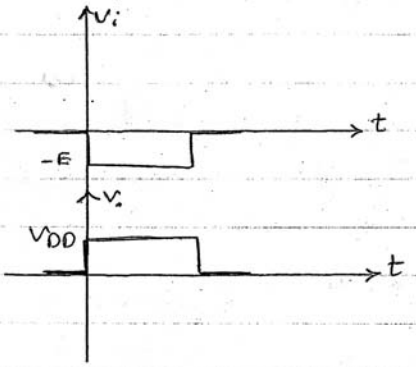
$V_i = -E \Rightarrow Tr = $ مقطع $\Rightarrow V_o = V_{cc}$

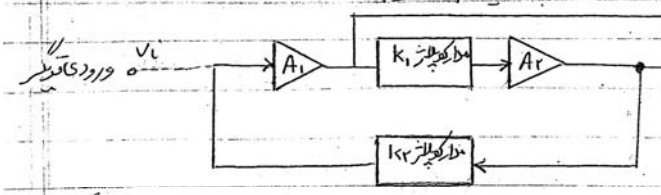




$V_i = 0 \Rightarrow V_{GS} = 0 \Rightarrow I_D = Max \Rightarrow V_o =$ توصيل

$V_i = - \Rightarrow V_{GS} = - \Rightarrow I_D = 0 \Rightarrow V_o = V_{DD}$





مدار کوپلاژ: ۱) مستقیم ۲) مقاومتی ۳) خازنی ۴) مقاومتی خازنی

شرط لازم و کافی برای بوجود آمدن نوسان در مدارهای شکل مقابل یعنی مولتی ویبراتورها عمل کند:
۱) $A_1 \times A_2 \times K_1 \times K_2 > 1$ بهره حلقه
۲) شرط فاز: اختلاف فاز ایجاد شده توسط A_1 و A_2 به وسیله K_1 و K_2 جبران شود (در مدار فیدبک مثبت داشتیم)

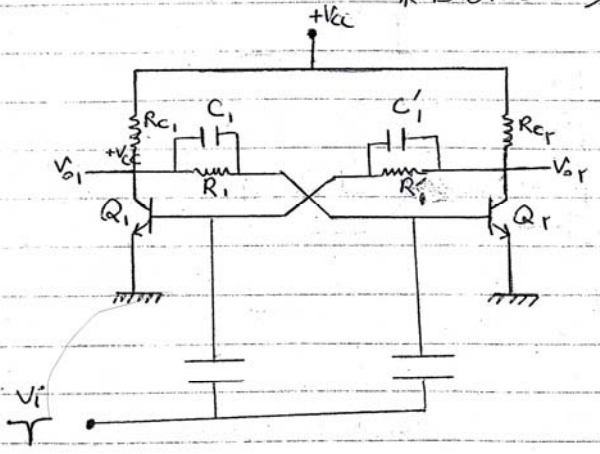
انواع مولتی ویبراتور: به طور کلی یک تقویت کننده چند طبقه با فیدبک مثبت و قوی که دارای ۲ یا چند حالت ناپایدار باشد را مولتی ویبراتور می نامند.

۱) مولتی ویبراتور (Bistable) بی استابل - دو حالته: مدار کوپلاژ تریگر بین ۲ تقویت کننده ← مقاومتی
دارای ۲ حالت پایدار است با تحریک (تریگر) ورودی آن به حالت پایدار دیگر تغییر کند.

۲) مولتی ویبراتور (Monostable) مونو استابل - یک حالته:
دارای یک حالت پایدار است، با تحریک ورودی آن به حالت نیمه پایداری رود و پس از مدت زمانی دوباره به حالت پایدار اولیه برمی گردد. کوپلاژ بین تقویت کننده، از نوع RC و یا

۳) مولتی ویبراتور (Astable) آستابل - غیرپایدار:
هیچ حالت پایداری ندارد و خروجی آن دائماً بین Low و High تغییر می کند.

* مولتی ویبراتور Bistable



پدیده "Regenerative"

اعمال انرژی کمی از طریق ورودی V_i (ترمینال) در تقویت کننده‌های A_1, A_2 تقویت شده و مجدداً به ورودی فیدبک می‌شوند چون سیگنال تقویت شده با سیگنال اولیه هم فاز است تقویت سیگنال ورودی تقویت کننده که مجموع سیگنال تحریک و سیگنال فیدبک شده است

بدون اینکه ادامه‌ی یابد این عمل تا زمانی ادامه خواهد یافت که تقویت کننده به شرایط حدی خود قطع و اشباع برسند به این ترتیب از افزایش دامنه خروجی جلوگیری شود به این نوع فیدبک معمولاً فیدبک مثبت یا بازسازنده یا پدیده Regenerative می‌گویند که اساس کار مولتی ویبراتورها می‌باشد

(۲۸) $R_{C_1} = R_{C_2}$ — خازهای تسریع‌دهنده C_1 و C_1'

$R_1 = R_1'$

$Q_1 \triangleq Q_2$

باعث کاهش زمانهای ton و toff می‌شوند

$V_{B_1} + V_E \Rightarrow V_{B_1} \uparrow \rightarrow V_{o_1} \downarrow \rightarrow V_{B_2} \downarrow \rightarrow V_{o_2} \uparrow$

V_E ↓ اپیتین

Regenerative تشدید

ورودی ← از بیس (امیتر مشترک)

خروجی ← کلکتور

از طریق R_1 و B_2 منتقل می‌شود بین ۲

$\Rightarrow$ { Q_1 = اشباع → $V_{o_1} \simeq 0$; Q_2 = قطع → $V_{o_2} \simeq V_{CC}$ }

حالت پایدار اول

ورودی تحریک $V_i = -V \Rightarrow V_{B_1} = \downarrow$ ، $V_{B_2} = \downarrow$

چون ورودی از نوع پالس منفی است این V_B را کاهش می‌دهد

$V_{B_1} \downarrow \rightarrow V_{B_1} \downarrow \rightarrow V_{o_1} \uparrow \rightarrow V_{B_2} \uparrow \rightarrow V_{o_2} \downarrow$

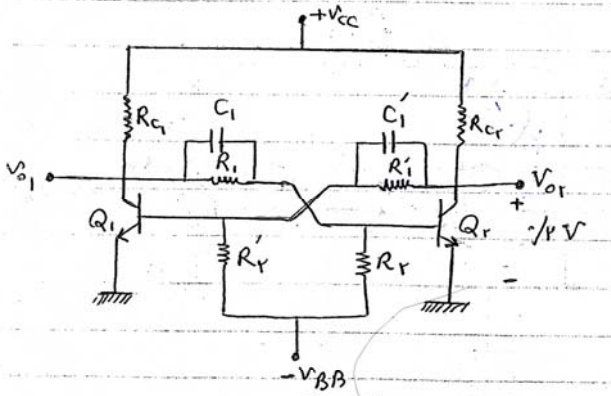
Reg تشدید

$\Rightarrow$ { Q_1 = قطع $\Rightarrow V_{o_1} = V_{CC}$; Q_2 = اشباع $\Rightarrow V_{o_2} \simeq 0.2V$ }

حالت پایدار دوم

{ $V_{B_2} \downarrow \rightarrow V_{C_2} \uparrow \rightarrow V_{o_2} \uparrow \rightarrow V_{B_1} \uparrow \rightarrow$; $\rightarrow V_{C_1} \downarrow \rightarrow V_{o_1} \downarrow$ }

$\Rightarrow$ { Q_1 = اشباع $V_{o_1} \simeq 0$; Q_2 = قطع $V_{o_2} \simeq V_{CC}$ }



موقتی دیسکرتوری استابل یا دو تعدیه

روش‌های تریگر کردن مولتی ویبراتور بی‌استابل :

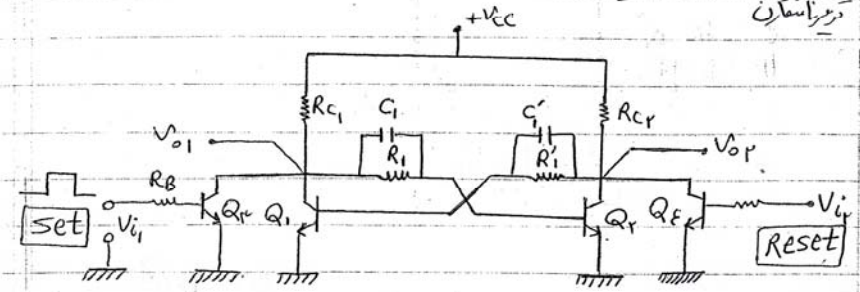
۱) تریگر نامتقارن : عمل تحریک برای هر ترانزیستور به طور جداگانه صورت گیرد.

۲) تریگر متقارن : عمل تحریک برای هر ۲ ترانزیستور به طور همزمان انجام می‌شود

الف) تریگر متقارن از طریق کلکتور

ب) تریگر متقارن از طریق بیس

تریگر نامتقارن

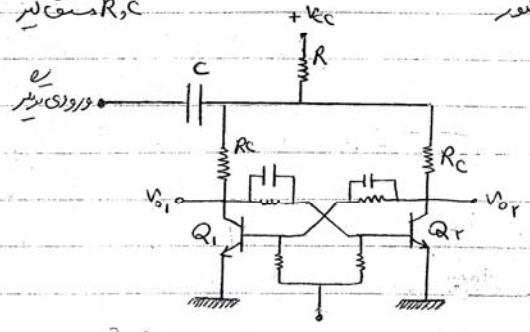


V_{i1} = ⎍ ⎍ ⇒ Q_3 = اشباع ⇒ $V_{o1} \simeq 0 \Rightarrow Q_2$ = قطع $\rightarrow V_{o2} = V_{cc}$

V_{i2} = ⎍ ⎍ ⇒ Q_4 = اشباع ⇒ $V_{o2} \simeq 0 \Rightarrow Q_1$ = قطع $\rightarrow V_{o1} = V_{cc}$

تریگر متقارن از طریق کلکتور

R,C مشتق‌گیر



فرض { Q_1 = اشباع $\rightarrow$ $V_{o1} \simeq 0$; Q_2 = قطع $\rightarrow$ $V_{o2} = V_{cc}$ }

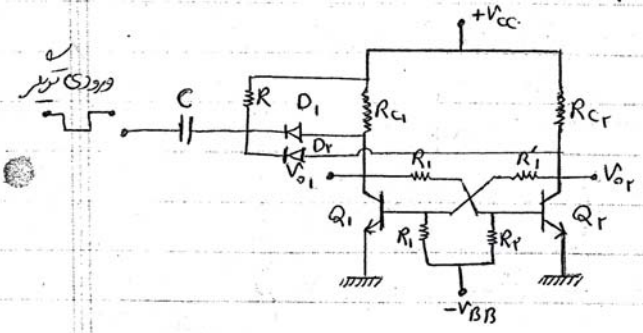
*

(۳۰) V_i ⌐ $\Rightarrow$ $V_{o1} = \downarrow$

$\rightarrow V_{o2} = \downarrow \rightarrow V_{B1} \downarrow \rightarrow V_{o1} \uparrow \rightarrow V_{B2} \uparrow \Rightarrow$ تشدید Reg

$\Rightarrow$ { Q_1 = قطع ، Q_2 = اشباع } ← $V_{o1} = V_{CC}$ ، $V_{o2} \simeq 0$ ← * نرض صفحه ۳۰

مولتی وبراتور بی استابل (دوحالته)



تریگر مولتی بی استابل { ۱) نامتقارن ، ۲) متقارن { ت-م-ازطریق کلکتور ، ت-م-ازطریق بیس }

* ت-م-ازطریق کلکتور *

فرض { Q_1 = اشباع $\rightarrow V_{o1} \simeq 0 \Rightarrow D_1$ = (بایس قطع) ، Q_2 = قطع $\rightarrow V_{o2} = V_{CC} \Rightarrow D_2$ = صفر (۰) }

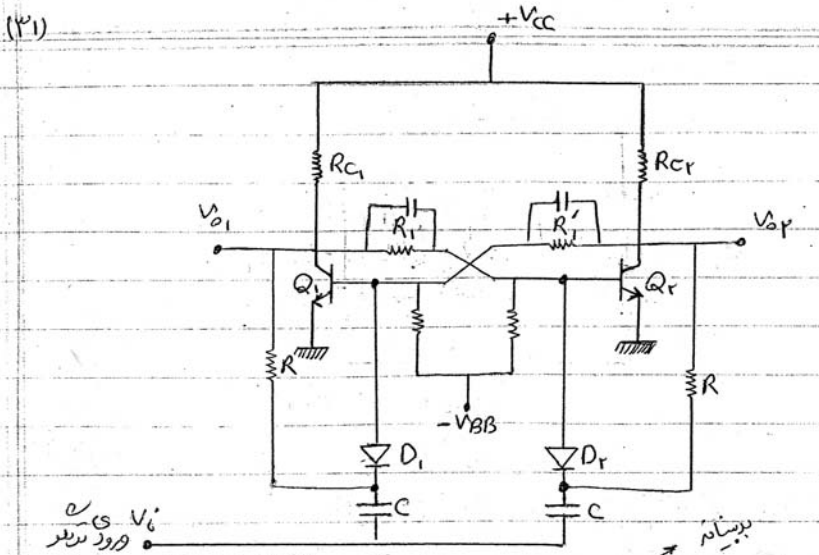
$\Rightarrow$ ⌐ $\Rightarrow$ ⌐ $\Rightarrow$ D_2 $\Rightarrow V_{o2} \downarrow \Rightarrow V_{B1} \downarrow \rightarrow V_{o1} \uparrow \rightarrow V_{B2} \uparrow$ تشدید Reg

$\Rightarrow$ { $V_{o2} \simeq 0 \rightarrow$ { Q_2 = اشباع } ، $V_{o1} \simeq V_{CC} \rightarrow$ { Q_1 = قطع } }

$\Rightarrow$ ⌐ $\Rightarrow$ مستقیم تریگر ، R و C مستقیم تریگر

* ت-م-ازطریق بیس *

(۳۱)



ورودی مدار V_i

فرض { Q_1 = اشباع $\rightarrow V_{o1} \simeq 0 \Rightarrow D_1 \rightleftharpoons$ بایاس معکوس (یا معاوق) — بررسی کنیم

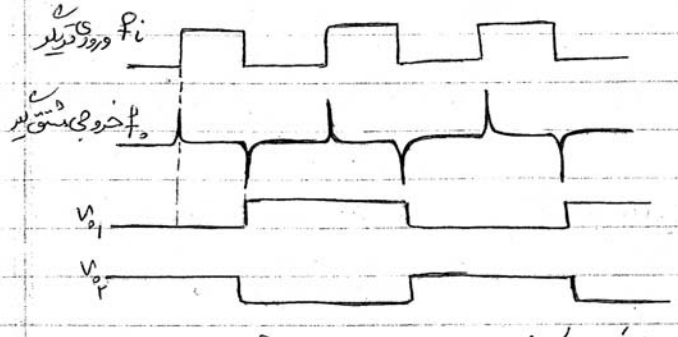
Q_2 = قطع $\rightarrow V_{o2} = V_{CC} \Rightarrow D_2$ = مخالف

V_i ⊓ $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ ⌒ $\Rightarrow$ ⊓ $\Rightarrow D_1$ $\Rightarrow V_{B1} = \downarrow \Rightarrow V_{o1} \uparrow \Rightarrow V_{B2} \uparrow \Rightarrow V_{o2} \downarrow$

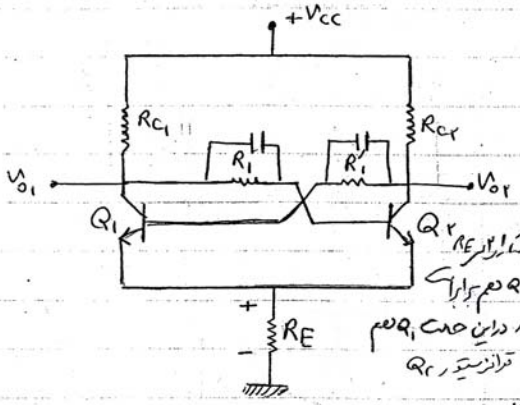
Reg

$\Rightarrow$ { $V_{o1} = V_{CC}$, $V_{o2} \simeq 0$ } $\rightarrow$ { Q_1 = قطع , Q_2 = اشباع }



$f_{out} = \frac{1}{2} f_i$ تقسیم فرکانس

مولتی ویبراتور بی استبل (دو حالته) یا کلاک آمیتر

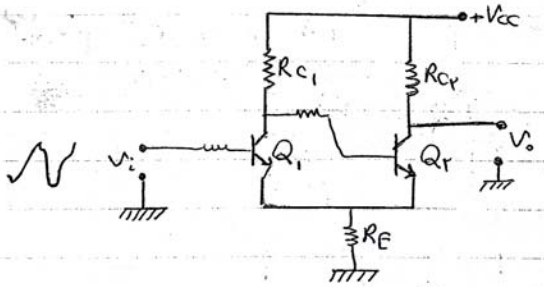


وقتی Q_1 اشباع ← جریان از امیتر E_1 به R_E و در ادامه از R_E به امیتر Q_2 هم جاری است. با افت کردن ولتاژ امیتر Q_2 هم کاهش می‌یابد. ولتاژ V_{o1} به V_{B2} وصل است که در این حالت Q_1 هم اشباع و V_{o1} و V_{B2} کاهش می‌یابد ← ترانزیستور Q_2 به آستانه قطع می‌رود و قطع می‌شود.

Q_1 = اشباع $\Rightarrow V_{E_1} = V_{E_2} = + \Rightarrow Q_2$ = قطع

م - وی استبل با اعمال تحریک به ورودی آن تغییر وضعیت در خروجی ایجاد می‌شود.

* اشمیت تریگر «Schmmitt trigger» *

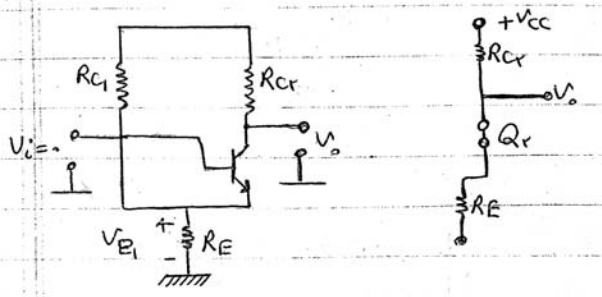


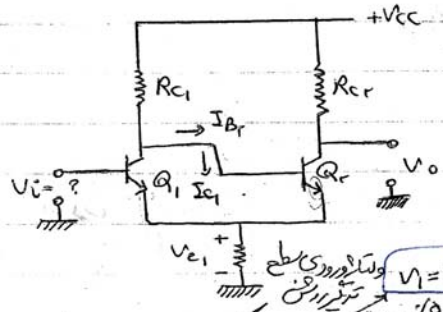
اشمیت تریگر:
۱) یکی از ضدیک ها برداشته شده است.
۲) با تغییر سطح ولتاژ ورودی، خروجی آن تغییر حالت می‌دهد
۱) استفاده از سطح ولتاژ
۲) مبدل سیگنال آنالوگ به دیجیتال

$V_{BE} = 0.7$ $V_{BE} = 1.5$

(۴۳) $V_i = 0$ Q_1 = قطع $\Rightarrow V_{CC} - R_{C_1} - (\beta = E)_{\text{بایاس مداوم}} \Rightarrow R_E \Rightarrow Q_2$ اشباع

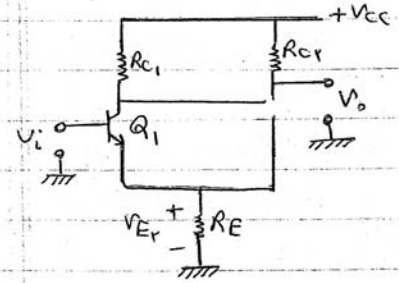
$$V_{E_1} = \frac{R_E}{R_E + R_{C_2}} \times V_{CC} \qquad V_o \simeq V_{E_1} \text{ (Low)}$$



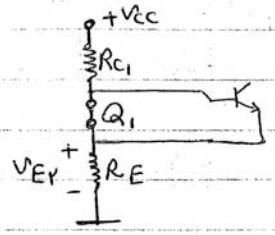


$V_i = \uparrow \Rightarrow$ when $V_i \geq V_{E_1} + V_{\gamma_1} \Rightarrow Q_1 =$ روشن $\Rightarrow I_{C_1} \uparrow \Rightarrow I_{B_2} \downarrow \Rightarrow I_{C_2} \downarrow \Rightarrow$ (هدایت / تشدید Reg)

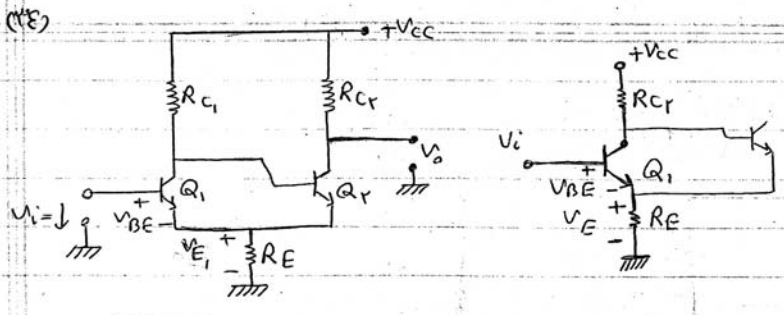
$\Rightarrow V_{RE} \downarrow \Rightarrow V_{BE_1} \uparrow \Rightarrow$ { Q_1 = اشباع ; Q_2 = قطع } $\Rightarrow V_{o(High)} = V_{CC}$



$$V_{E_2} = V_{CC} \times \frac{R_E}{R_E + R_{C_1}}$$



(۳۴)



$$V_T = V_{o\,off} = LTP = V_{E_2} + V_{BE_1}$$

ولتاژ ورودی ← $V_i = \downarrow$ $\quad V_i < V_{E_2} + V_{BE_1} \Rightarrow Q_1 = $ کاهش $\Rightarrow$ هدایت

$$I_{C_1} \downarrow \Rightarrow I_{B_2} \uparrow \longrightarrow I_{C_2} \uparrow \longrightarrow V_{BE} \uparrow \longrightarrow V_{BE_1} \downarrow$$

Reg

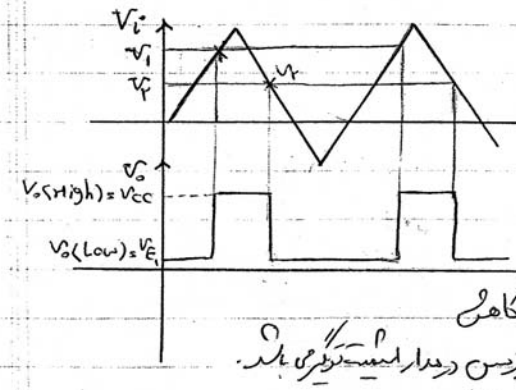
$$\Rightarrow \begin{cases} Q_1 = \text{قطع} \\ Q_2 = \text{اشباع} \end{cases}$$

$$V_1 = V_{CC} \times \frac{R_E}{R_E + R_{C_2}} + V_{\gamma_1}$$

$$V_2 = V_{CC} \times \frac{R_E}{R_E + R_{C_1}} + V_{BE}$$

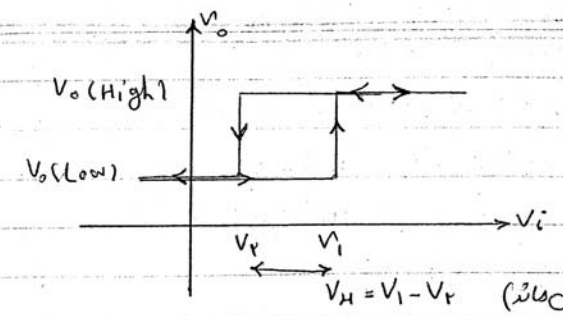
$R_{C_1} = R_{C_2} \Rightarrow V_H = 0$

$$\text{if} \begin{cases} R_{C_1} = R_{C_2} \Rightarrow V_1 = V_2 \\ R_{C_1} > R_{C_2} \Rightarrow V_2 < V_1 \end{cases}$$



همان طور که در مشخصه انتقال (خروجی برحسب ورودی) معلوم است ملاحظه می شود تغییر حالت مدار در حالتی که ورودی از دامنه کم افزایش می یابد با تغییر حالت مدار زمانیکه ورودی از مقدار بزرگ کاهش می یابد یکسان نیست این پدیده هیسترزیس در مدار اسمیت تریگر می باشد.

(۳۵)



$V_H = V_1 - V_2$ هیسترزیس (اسمیت)

مثال:

$V_{CC}=1.V$ $R_E=22.\Omega$
$R_{C_2}=1K$ $V_\gamma=.7V$
$R_{C_1}=1.K$ $V_{BE(on)}=.1V$

$V_1=?$ $V_2=?$ $V_{o\,Low}=?$ $V_{o\,High}=?$

جواب:

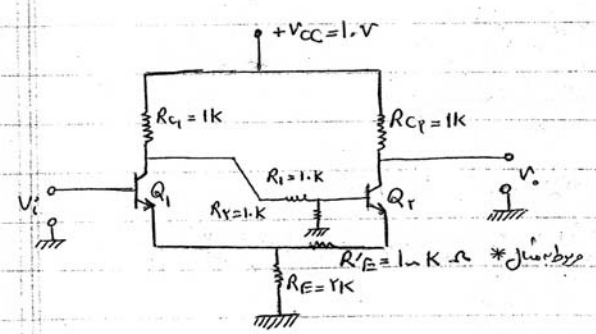
$$V_1=V_{CC}\times\frac{R_E}{R_E+R_{C_2}}+V_\gamma=\frac{1.\times 22}{1,22}+.5=\cdots$$

$$V_2=1.\times\frac{.22}{1.,22}+.V=\cdots$$

$$V_{o\,Low}=\frac{1.\times.1}{1,22}=\cdots$$

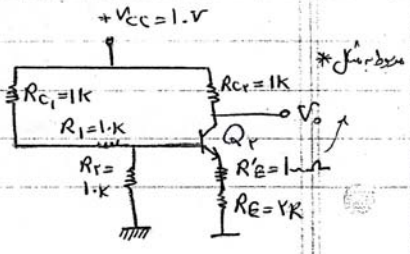
$$V_{o\,High}=V_{CC}=1.V$$

اسمیت تریگر:



$V_{o_L}=?$ $V_{oH}=?$ $V_1=?$ $V_2=?$

$V_i=0 \Rightarrow$ $Q_1=$ قطع
$Q_2=$ هدایت



(۴۴) $V_{B_2} = V_{CC} \times \frac{R_2}{R_1+R_2+R_{C_1}} = \frac{1 \times 10}{10+10+1} = 4.74\ V$

$V_{E_2} = V_{B_2} - V_{BE} = 4.74 - 0.7 = 4.04\ V$

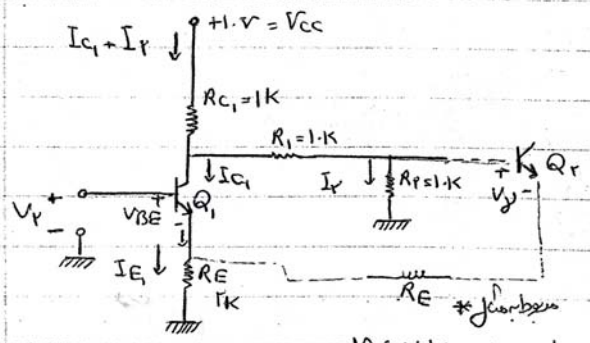
$I_{E_2} = I_{RE} = I_{C_2} = \frac{V_{E_2}}{R_E} = \frac{4.04}{2K} = 2.02\ mA$

$V_{o(Low)} = V_{CC} - R_{C_2} I_{C_2} = 10 - (1K)(2.02) = 7.98\ V$ ولت

$V_{CE_2} = V_{C_2} - V_{E_2} = 7.98\ V - 4.04 \cong 4\ V$ ولت

$V_i = V_{E_2} + V_{\gamma_1} = 4.04 + 0.7 = 4.74\ V$ مثال Q_2

$V_i \geq V_1 \Rightarrow Q_1$ اشباع



$V_{o(High)} = V_{CC} = 10\ V$

$I_{C_1} = I_{E_1} = I_{RE} = \frac{V_2 - V_{BE}}{R_E} = \frac{V_2 - 0.7}{2K}$

$I_2 = \frac{V_{R_2}}{R_2} = \frac{V_2 - V_{BE} + V_\gamma}{10K} = \frac{V_2 - 0.7}{10K}$

KVL ↙ $V_{CC} = R_{C_1}(I_{C_1} + I_2) + (R_1 + R_2) I_2$

$V_{CC} = R_{C_1}\left(\frac{V_2 - 0.7}{2K} + \frac{V_2 - 0.7}{10K}\right) + (R_1 + R_2)\left(\frac{V_2 - 0.7}{10K}\right)$

$\boxed{V_2 = 4.14\ V}$

$$\boxed{V_2 \cong \frac{V_{CC}}{1 + \frac{R_{C_1} + R_1}{R_2} + \frac{R_{C_1}}{R_E}}}$$

مثال * : $R'_E = 1K$ به امیتر Q_2 اضافه می‌کنیم مقادیر V_1، V_2، V_{o_L}، V_{o_H} را تعیین می‌کند.

(۲۷) $\downarrow \boxed{I_{E_2}} = I_{RE} = I_{C_2} = \dfrac{V_{E_2}}{R_E + R'_E}$

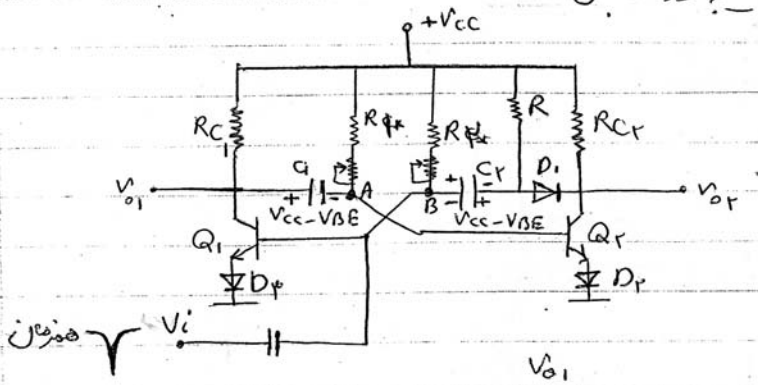
$\uparrow \boxed{V_o(Low)} = V_{CC} - R_{C_2} \times I_{C_2}$

$\downarrow \boxed{V_1} = V_{E_2} \times \dfrac{R_E}{R_E + R'_E}$ $\qquad V_o(High) =$ ثابت

$V_2 =$ ثابت

تمرین: $R'_E = 1\text{k}\Omega$ به امیتر Q_1 اضافه می‌کنیم مقادیر V_1، V_2، V_{oL}، V_{oH} چه تغییری می‌کند.

مولتی ویبراتور آستابل

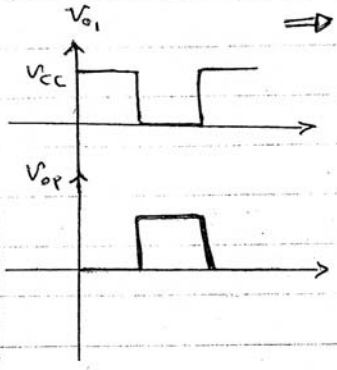


V_{o1}

$V_{B_1} + V_E \longrightarrow V_{B_1} \uparrow \longrightarrow V_{C_1} \downarrow \longrightarrow V_{B_2} \downarrow \longrightarrow V_{o2} \uparrow \Rightarrow$ Reg تثبیت

$\Rightarrow \begin{cases} Q_1 = \text{اشباع} \rightarrow V_{o1} \simeq 0 \\ Q_2 = \text{قطع} \rightarrow V_{o2} \simeq V_{CC} \end{cases} \Rightarrow$

$\Rightarrow V_{cap_2} = V_{CC} - V_{BE}$



$V_i = \text{پالس} \Rightarrow Q_1 = \text{قطع} \Rightarrow V_{o1} = V_{CC}$

$\Rightarrow C_1 = \text{Charge} \Rightarrow \text{when } V_A \geq V_{BE_2} \Rightarrow \begin{cases} Q_2 = \text{اشباع} \rightarrow V_{o2} \simeq 0 \\ V_{B_1} = -(V_{CC} - V_{BE}) \\ Q_1 = \text{قطع} \\ V_{o1} = V_{CC} \Rightarrow V_{cap_1} = (V_{CC} - V_{BE}) \end{cases}$

$\tau_1 = R_1 C_1$

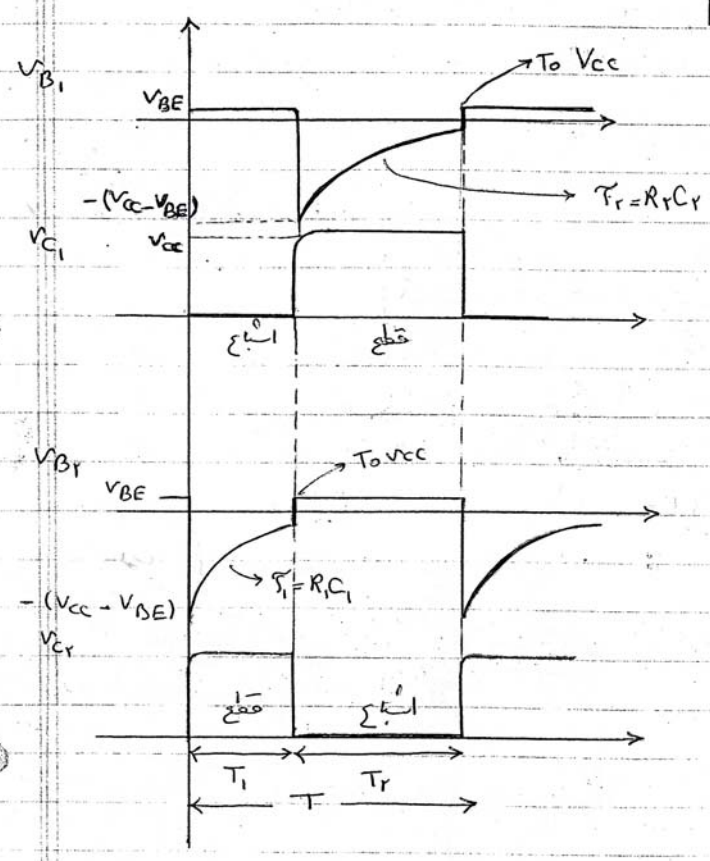
$\Rightarrow$ C_2 = discharge $\Rightarrow$ when $V_B \gg V_{BE_1}$ $\Rightarrow$

$\tau_2 = R_2 C_2$

Q_1 = اشباع $\rightarrow V_{o_1} \simeq 0$

$V_{B_2} = -(V_{cc} - V_{BE})$

Q_2 = قطع $\rightarrow V_{o_2} = V_{cc}$



$V_o(0) = -V_{cc} + V_{BE}$

$V_o(\infty) = V_{cc}$

$V_o(T_1) = V_{BE}$

$$V_o(t) = V_o(\infty) - [V_o(\infty) - V_o(0)]\, e^{\frac{-t}{\tau_1}}$$

$$V_{BE} = V_{cc} - [V_{cc} + V_{cc} - V_{BE}]\, e^{\frac{-T_1}{\tau_1}}$$

$$T_1 = \tau_1 \ln \frac{2V_{cc} - V_{BE}}{V_{cc} - V_{BE}} = R_1 C_1 \ln \frac{2V_{cc} - V_{BE}}{V_{cc} - V_{BE}}$$

(۴۹) $T_2 = R_2 C_2 \ln \frac{2V_{CC} - V_{BE}}{V_{CC} - V_{BE}}$

$T_1 \simeq R_1 C_1 \ln 2 \simeq 0.69 R_1 C_1$

$T_2 \simeq R_2 C_2 \ln 2 \simeq 0.69 R_2 C_2$

$T = T_1 + T_2 = 0.69 (R_1 C_1 + R_2 C_2)$

$f = \frac{1}{0.69 (R_1 C_1 + R_2 C_2)}$

$\text{duty cycle} = \frac{T_1}{T} \times 100$

$d.c. = \frac{R_1 C_1}{R_1 C_1 + R_2 C_2} \times 100$

if $R_1 = R_2 = R$ $\quad C_1 = C_2 = C$

$f = \frac{1}{1.1 RC}$ $\quad d.c. = 50\%$

تغییر ولتاژ خروجی V_{CC} ، C_2 ، C_1 ، R_2 ، R_1

R'_1 تغییر کند ← f تغییر ← $d.c$ تغییر

$I_{B\,sat} \geq \frac{I_{C sat}}{\beta_{min}}$

$\frac{V_{CC}}{R_1} \geq \frac{V_{CC}}{\beta_{min} R_C}$ $\quad \boxed{R_1 \leq \beta_{min} R_{C_2}}$

$R_2 \leq \beta_{min} R_{C_1}$

سوال: چرا لبه صعودی پالس خروجی کاملاً تیز نیست؟

چون در حین قطع شدن ترانزیستور، خازن از طریق R_C و BE تخلیه می‌شود و در نتیجه در خروجی حالت شیبی پیدا می‌شود.

رفع عیب: با استفاده از دیود D_1 و مقاومت R

* دیود D_2 و D_3 برای حفاظت از $B-E$ ترانزیستورها در مقابل ولتاژ منفی خازن‌ها می‌باشند.

همزمان کردن پالس خروجی با ورودی V_i

شکل موج ← ورودی همزمان را اضافه می کنیم.

قفل شدن آستابل

$R_1=R_2 \quad C_1=C_2 \quad Q_1 \triangleq Q_2$

$R_{C1}=R_{C2}$

مدار نوسان نمی کند

هر دو ترانزیستور یا اشباع می شوند یا قطع

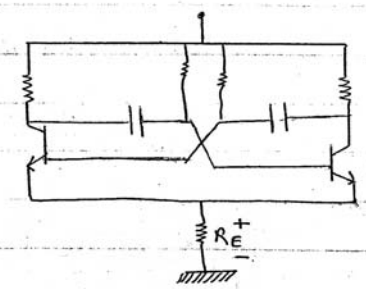
برای یک لحظه

روش های جلوگیری از قفل شدن آستابل

۱) بیس یکی از ترانزیستور ها را زمین می کنیم. (برای یک لحظه)

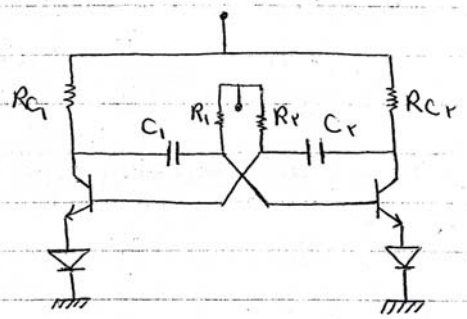
۲) بیس یکی از ترانزیستور ها را ولتاژ مثبت بدهیم (برای یک لحظه)

۳) استفاده از مولتی ویبراتور آستابل با کوپلاژ امیتر.



VCO = Voltage controlled osc اسیلاتور کنترل شده با ولتاژ

R_1 و R_2 را از V_{cc} جدا می کنیم و شکل را این تغییر می دهیم.



(۴۱) $T_1 = R_1 C_1 \ln \frac{2V - V_{BE}}{V - V_{BE}}$

$T_2 = R_2 C_2 \ln \frac{2V - V_{BE}}{V - V_{BE}}$

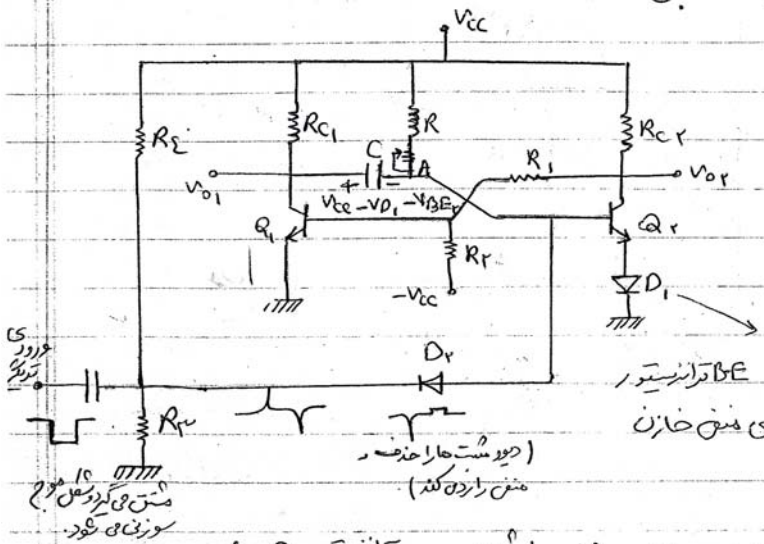
* مولتی ویبراتور آستابل با زمان 1KHZ طرح کنید

$\beta_{min} = V_0$ $\quad V_{CC} = 10V$

جریان باری که $I_L = 20mA$

طرف V_{01} قرار می‌دهیم

مولتی ویبراتور هموار استابل



محافظت از BE ترانزیستور در برابر ولتاژهای منفی خازن

شتاب می‌گیرد و شکل موج سوزنی می‌شود.

حالت پایدار:

Q_2 = ترانزیستور اشباع $\quad V_{o2} = V_{CE_{Sat}} + V_{D_1}$

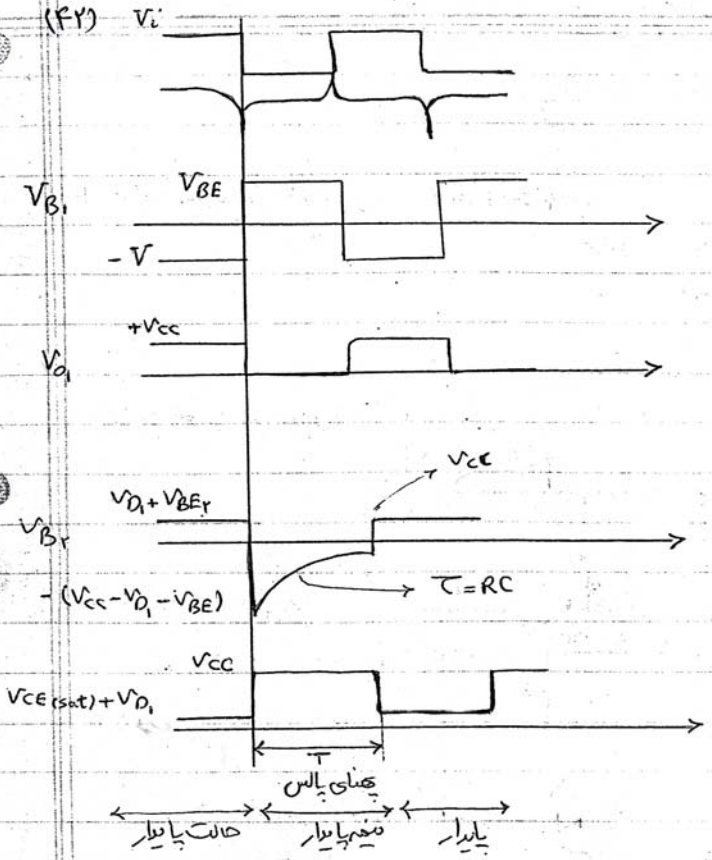
$V_{B_1} = -V$

Q_1 = قطع $\quad V_{o1} = V_{CC}$

$V_{B2} = V_{D_1} + V_{BE_2}$

صفحه ۱۵

(۴۲)

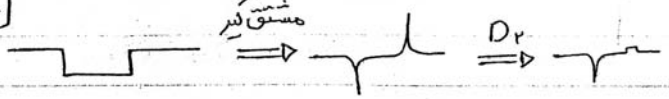


سه‌گانه تغییر C_1 و R_2 و R_3 و D_2 (وضعیت آخر این است که مدار را از حالت پایدار به شبه پایدار در آورند و مدار سپس از همان ۲ حالت اولیه برود.)

D_2 ⇐ عبور اسپایک‌های منفی به بیس Q_2

D_2 ۱) را در بایاس خلاف قرار داد و جدایی از بیس Q_2 کنیه شود
۲) به همراه C_1 محل مشتق‌گیری را انجام می‌دهد
⇐ (R_2 و R_3)

حالت شبه پایدار



$\Rightarrow V_{B_2}\downarrow \rightarrow V_{o_2}\uparrow \rightarrow V_{B_1}\uparrow \rightarrow V_{o_1}\downarrow \Rightarrow$ (تقویت Reg)

Q_1 = اشباع $\rightarrow V_{o_1}=0=D$
$V_{B_2}=-(V_{CC}-V_{D_1}-V_{BE})$
Q_2 = قطع $\rightarrow$ C = discharge اول
Charge بعد
$\tau=RC$

(۴۳) $\Rightarrow$ when $V_A \geq V_{D_1} + V_{BE_2} \Rightarrow$ $V_{B_2}\uparrow \rightarrow V_{o_2}\downarrow \rightarrow V_{B_1}\downarrow \rightarrow V_{o_1}\uparrow$ $\Rightarrow$ (Reg)

$\Rightarrow$ پایدار $\begin{cases} Q_1 = \text{قطع} \\ Q_2 = \text{اشباع} \end{cases}$

$V_o(0) = -(V_{CC} - V_{D_1} - V_{BE})$

$V_o(\infty) = V_{CC}$

$V_o(t=T) = V_{D_1} + V_{BE}$

$$V_{D_1} + V_{BE} = V_{CC} - \left[V_{CC} + V_{CC} - V_{D_1} - V_{BE}\right] e^{\frac{-T}{\tau}}$$

$$T = RC \ln \frac{2V_{CC} - V_{D_1} - V_{BE}}{V_{CC} - V_{D_1} - V_{BE}}$$

برای تغییر T: $\begin{cases} C, R \text{ را تغییر دهیم} \\ R \end{cases}$ $\begin{matrix} e \\ \\ R \end{matrix}$

می‌توان یک پتانسیومتر با R سری کرد (هر پتانسیومتر را هم می‌توان تنظیم کرد)

چون

$$(R + R_p) \leq \beta_{min} \cdot RC$$

$$f_{max} = \frac{1}{T}$$

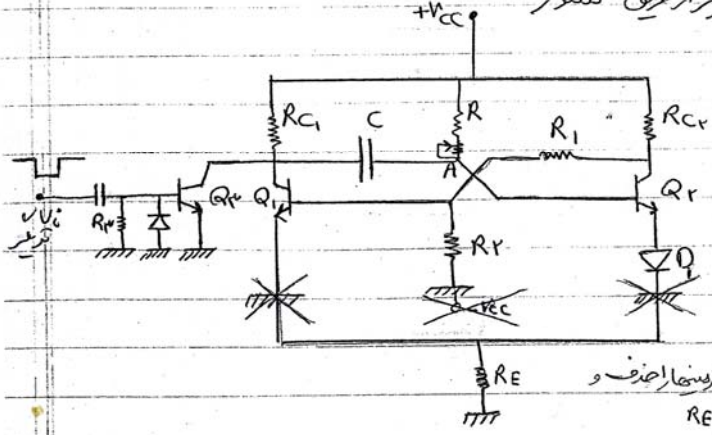
↙ پهنای پالس خروجی

انواع روش‌های تریگر دونو استیبل

۱) اعمال یک تریگر منفی به بیس ترانزیستوری که در حالت پایدار، اشباع است.

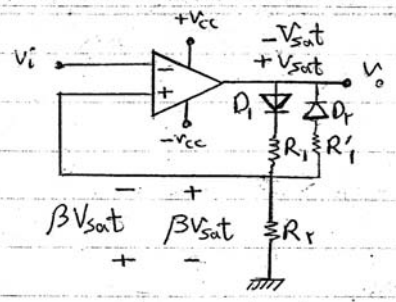
۲) اعمال یک تریگر مثبت به بیس ترانزیستوری که در حالت پایدار، قطع است.

۳) اعمال پالس تریگر از طریق کلکتور



چون ۲ تا منبع تغذیه داریم می‌خواهیم از یکی هرچه تمام‌تر کمینم زمینها را حذف و به هم وصل می‌کنیم هر دو تا را به RE و $-V_{CC}$ را هم حذف و زمین می‌کنیم

اسمیت تریگر با آپ امپ



$$V_o = A_V (V_i^+ - V_i^-)$$

$$V_{sat} = V_{cc} - 1$$

$$\beta = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$\rightarrow V_i^- = - \Rightarrow V_o = +V_{sat} \rightarrow V_i^+ = \beta(+V_{sat})$

$V_i = \uparrow \Rightarrow$ when $V_i \geq +\beta V_{sat} \Rightarrow V_i^- > V_i^+ \Rightarrow$

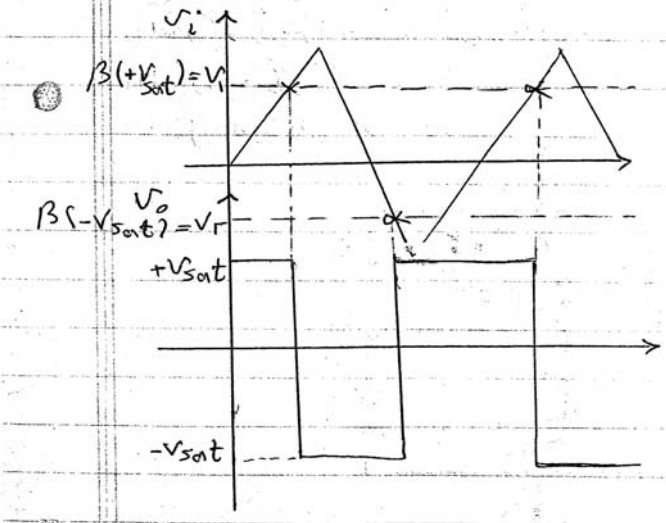
وقتی ولتاژ ورودی به این مقدار برسد $\leftarrow \boxed{V_i = \beta(+V_{sat})} \Rightarrow V_o = -V_{sat} \Rightarrow$

$\Rightarrow V_i^+ = -\beta V_{sat}$

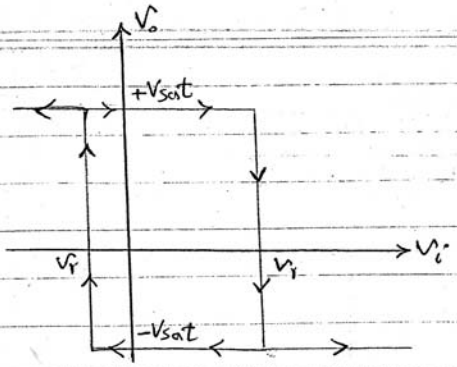
$V_i = \downarrow \Rightarrow$ when $V_i \leq -\beta V_{sat} \Rightarrow V_i^- < V_i^+ \Rightarrow$

$V_2 = \beta(-V_{sat})$

$\Rightarrow \boxed{V_o = +V_{sat}}$



(۲۵)



if $+V_{sat} = -V_{sat} \Rightarrow |V_1| = |V_2|$

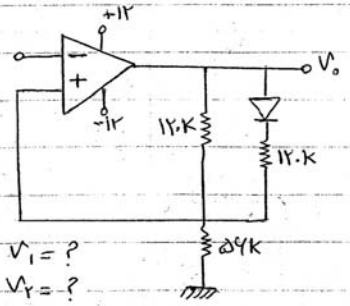
$|V_1| \neq |V_2|$

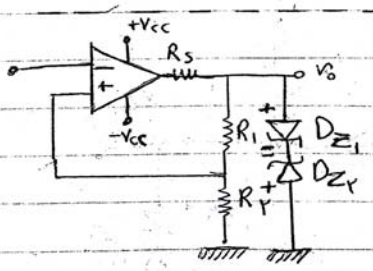
$$V_1 = (+V_{sat})\left(\frac{R_2}{R_1+R_2}\right)$$

$$V_2 = (-V_{sat})\left(\frac{R_2}{R_1'+R_2}\right)$$

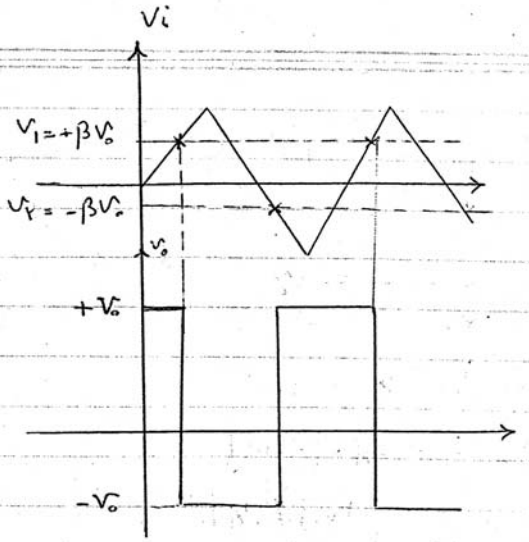
سؤال:

در خواهم ولتاژ خروجی مقادیری غیر $+V_{sat}$ و $-V_{sat}$ داشته باشد چه!

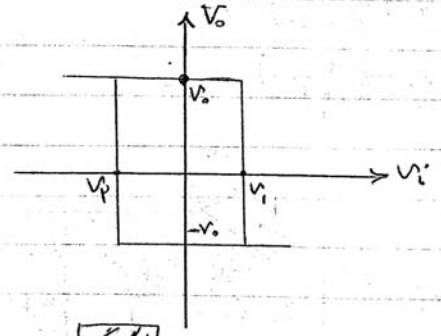




(۴۷)

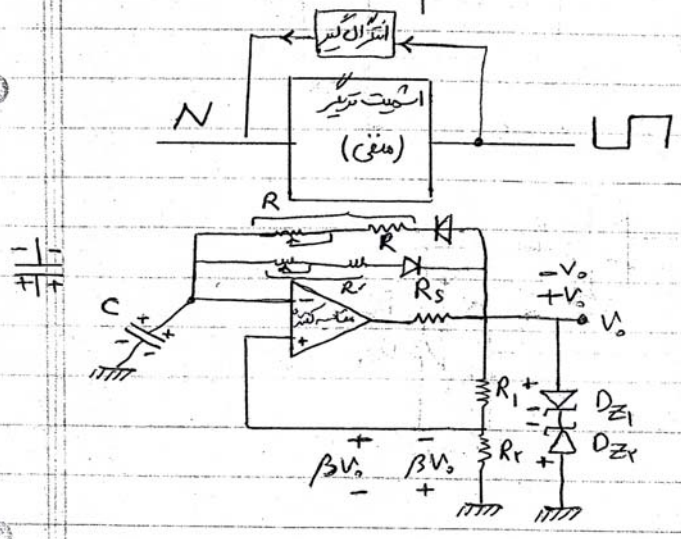


$$\begin{cases} +V_o = (V_{Z_2} + 0.7) \\ -V_o = (-V_{Z_1} - 0.7) \end{cases}$$



if $D_{Z_1} \triangleq D_{Z_2}$

$|+V_o| = |-V_o|$



مولتی ویبراتور - آستابل

(FV)

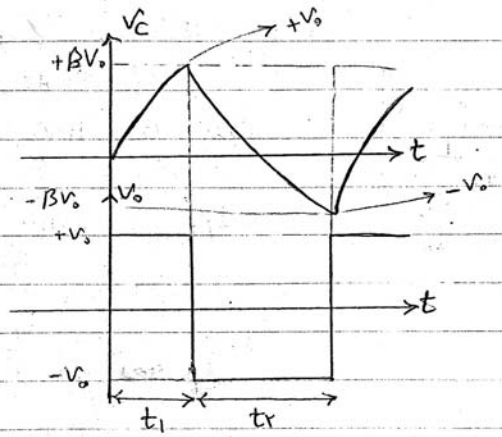
$\beta = \frac{R_f}{R_i + R_f}$

$V_o = +V_o \Rightarrow V_i^+ = +\beta V_o \Rightarrow C = \text{charge} \Rightarrow \tau = RC$

$\Rightarrow$ when $V_c \geq +\beta V_o \Rightarrow V_i^- > V_i^+ \Rightarrow V_o = -V_o$

$V_o = -V_o \Rightarrow V_i^+ = -\beta V_o \Rightarrow C = \text{discharge} \Rightarrow$

$\Rightarrow$ when $V_c \leq -\beta V_o \Rightarrow V_i^- < V_i^+ \Rightarrow V_o = +V_o$



$t_1 = ?$ $\quad V_c(0) = -\beta V_o$

$V_c(\infty) = +V_o$

$V_c(t = t_1) = +\beta V_o$

$$\begin{cases} t_1 = RC \ln \frac{1+\beta}{1-\beta} \\ t_f = RC \ln \frac{1+\beta}{1-\beta} \end{cases}$$

$$T = 2RC \ln \frac{1+\beta}{1-\beta} \qquad \boxed{f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2RC \ln \frac{1+\beta}{1-\beta}}}$$

$$\text{duty cycle} = \frac{t_1}{T} \times 100 = \frac{RC \ln \frac{1+\beta}{1-\beta}}{2RC \ln \frac{1+\beta}{1-\beta}} \times 100$$

(۴۸) $D_{Z1} \neq D_{Z2}$ وضعیت

$$t_1 = RC \ln \frac{1+\beta}{1-\beta}$$

$$t_2 = R'C \ln \frac{1+\beta}{1-\beta}$$

$$T = (R+R')C \ln \frac{1+\beta}{1-\beta}$$

$$f = \frac{1}{T}$$

$$d\text{-}c\,\% = \frac{RC \ln \frac{1+\beta}{1-\beta}}{(R+R')C \ln \frac{1+\beta}{1-\beta}} \times 100$$

تغییرات d-c

تغییرات f: R، C، R_1، R_2

مثال: موج ذوزنقه متقارن $t_1 = t_2$

$f = 3\,kHz$

دامنه خروجی $= \pm 11\,V$

$\beta = \frac{1}{2}$

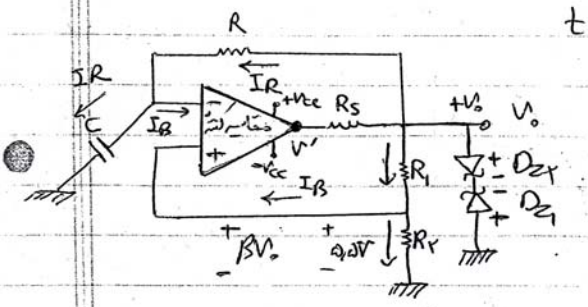
$I_{B_{Max}} = 50\,nA$

(مناسب) جریان بایاس ورودی آپ امپ

$$\beta = \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1+R_2} = \frac{1}{2}$$

$$\Downarrow$$

$$R_1 = R_2$$



$\pm V_o = \pm 11\,V$

$V_o = V_Z + 0.7$

$11 = V_Z + 0.7 \Rightarrow V_Z = 10.3\,V$

نزدیکترین استاندارد موجود چون ۱۰٫۳ استاندارد نیست فرض می‌کنیم $V_Z = 10\,V$

$D_{Z1} \triangleq D_{Z2} \Rightarrow V_Z = 10\,V$

$|V'| > |V_o| \Rightarrow V' = 12\,V$

$V_{CC} > V' \Rightarrow \pm V_{CC} = \pm 15\,V$

$$R_2 = \frac{V_{R_2}}{I_{R_2}} = \frac{0.5}{0.5\,mA} \Rightarrow 1.0\,K\Omega$$

$I_{R_2} \gg I_{B_{Max}} \Rightarrow I_{R_2} = 10\, I_{B_{Max}} = 0.5\,\mu A$

$$R = \frac{V_R}{I_R} = \frac{0.5V}{0.5M} = 1.0K$$

$$f = \frac{1}{2RC \ln \frac{1+\beta}{1-\beta}} \qquad C = \frac{1}{2 \times 10^3 \times 2.0 \times \ln \frac{1+0.5}{1-0.5}} = ?$$

(۴۹) $R_S = \frac{V' - V_o}{I_Z} = \frac{۱۴ - ۱۱}{۵mA} =$ صورت ۰

* آی‌سی 555 *

آی‌سی ۸ پایه با شماره عمومی در بازاری است

عمومی NE 555

تقابلی (در دما) تقابلی SE555

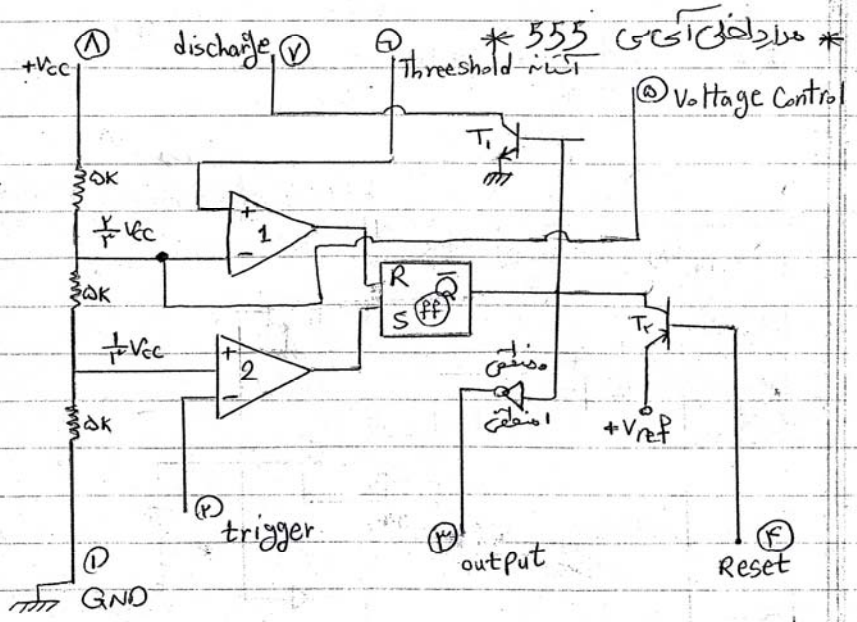
تغذیه $V_{CC} = ۴/۵ V \longrightarrow ۱۶ V$

$I_{out} = ۲۰۰ mA \rightarrow I_C$ از خروجی، ۲۰۰ میلی‌آمپر می‌گیرد

$t_r = ?$

$t_{fs} = ?$

* مدار داخلی آی‌سی 555 *



$V_{(۲)} < \frac{۱}{۳} V_{CC} \Rightarrow V_i^- < V_i^+ \Rightarrow S = High \Rightarrow ff = set \Rightarrow$

$\Rightarrow \begin{cases} Q = High \\ \bar{Q} = Low \end{cases} \rightarrow \begin{cases} V_o = High \text{ و تقویت‌کننده را High می‌کند} \\ T_1 = off \end{cases}$

ترانزیستور T_1 off می‌شود

(۵.) $V_{④} < +V_{Ref} \Rightarrow T_r = ON \Rightarrow V_o = Low = 0 \Rightarrow Reset$

برای Reset کردن باید پایه Reset را به ولتاژ کمتر از V_{Ref} وصل کنیم

$V_{⑥} \geq \frac{2}{3} V_{CC} \Rightarrow V_i^+ > V_i^- \Rightarrow R = High \Rightarrow ff = Reset \rightarrow \begin{cases} Q = 0 \ (Low) \\ \bar{Q} = 1 \ (High) \rightarrow \end{cases}$

$\rightarrow \begin{cases} V_o = 0 \ (Low) \text{ خروجی ولتاژ} \\ \text{با ① ثبت قرار نیستور} \rightarrow T_1 = ON \rightarrow ⑦ \text{ خازن وصل شده} \Rightarrow 0 \end{cases}$

به پایه V از طریق کلکتور

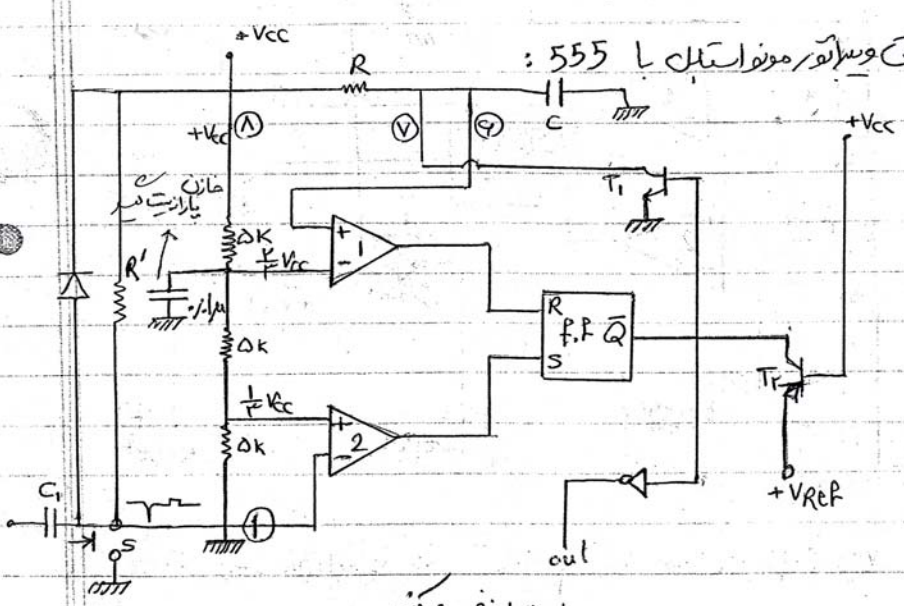
امیتر T_1 اتصال کوتاه می‌شود ← سریعاً دشارژ می‌شود

چون مقاومتی سر راه آن نمی‌باشد

$V_{⑧} = \text{وصل نباشد} \Rightarrow$ حالت مقایسه با $\frac{2}{3} V_{CC}$ صورت می‌گیرد

$V_{④} = \text{به ولتاژ کمتری وصل شود (۰V)} \Rightarrow$ حالت مقایسه با ۰V انجام می‌شود.

مولتی ویبراتور مونواستبل با 555 :



پایه ۴ را حذف می‌کنیم.

(۱۵) حالت پایدار $S=1 \Rightarrow V_{(+)}=V_{CC} \Rightarrow V_i^- > V_i^+ \Rightarrow S=-$

$\Rightarrow$ f.f = Reset $\begin{cases} Q=0 \\ \bar{Q}=1 \Rightarrow \begin{cases} T_1=ON & C=\text{discharge} \\ V_o=Low \end{cases} \end{cases}$

حالت غیر پایدار $S=$ کلید باز $\Rightarrow V_{(+)}=0$

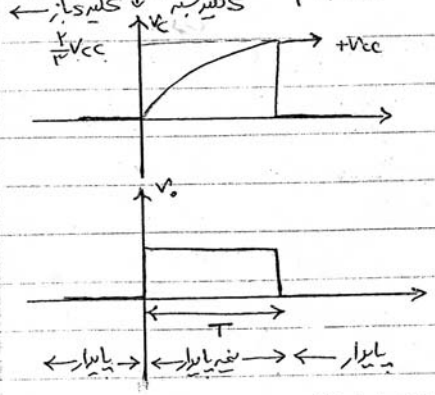
$V_i^- < V_i^+ \Rightarrow S=High \Rightarrow f.f=set \Rightarrow$

$\Rightarrow \begin{cases} Q=1 \\ \bar{Q}=0 \begin{cases} V_o=High \\ T_1=off \end{cases} \end{cases}$ $C=\text{Charge}$ خازن C از طریق R شارژ می‌شود $\tau=RC$

$\Rightarrow$ when $V_C \geq \frac{2}{3}V_{CC} \Rightarrow V_i^+ > V_i^- \rightarrow R=H \rightarrow ff=Reset \rightarrow$

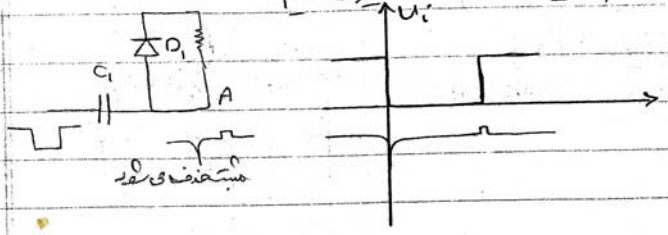
$\Rightarrow \begin{cases} Q=0 \\ \bar{Q}=1 \begin{cases} V_o=Low \\ T_1=ON \end{cases} \end{cases}$ C دشارژ می‌شود.

کلید بسته ↓ کلید باز

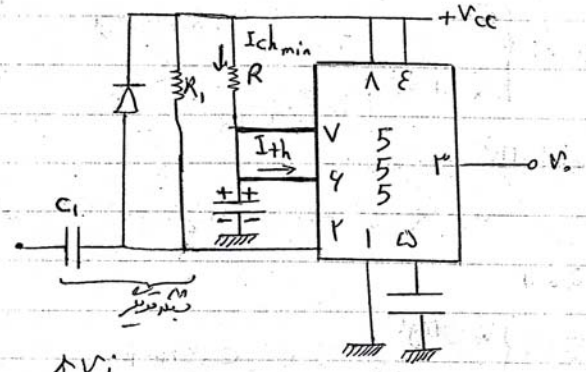


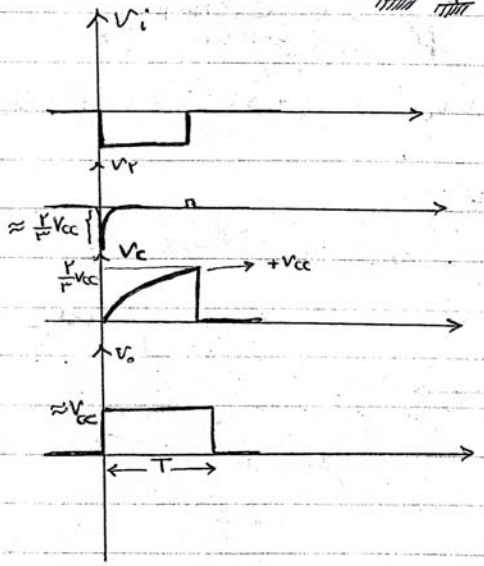
$T=1.1RC$

حالت بستن را عوض می‌کنیم تا دیود بسته باشد و مدار زیری داریم



* 555 مدهای دیگر مولتی‌ویبراتور استیبل با *





$V(0) = 0$

$V_c(\infty) = V_{CC}$

$V_c(t=T) = \frac{2}{3}V_{CC}$

$\frac{2}{3}V_{CC} = V_{CC} - [V_{CC} - 0]e^{\frac{-T}{\tau}}$

$$T = 1.1RC$$

$I_{th} =$ معمولی $= 0.25\mu A$

$$I_{ch_{min}} \gg I_{th}$$

$$R = \frac{\frac{1}{3}V_{cc}}{I_{ch\,min}}$$

$$C = \frac{T}{1.1R}$$

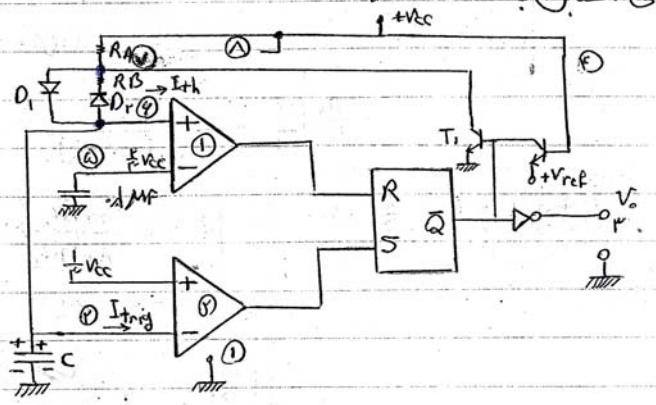
(۲۳)

مثال: $T = 1ms$, $V_{CC} = 15V$, $I_{th} = 250\mu A$

$$R = \frac{\frac{1}{3}V_{CC}}{I_{ch\,min}} = \frac{\frac{15}{3}}{250\mu A} = \frac{5}{250}M\Omega$$

$$C = \frac{T}{1.1R} = \frac{1ms}{1.1 \times 2.0K} = \square$$

* طراحی آستابل با 555 *



باوصل تغذیه ← C = charge ← when $V_c > \frac{2}{3}V_{CC}$ ⇒ D

$\tau_1 = (R_A + R_B).C$

⇒ D $V_i^+ > V_i^-$ ⇒ D R = H ⇒ D ff = Reset ⇒ D $\bar{Q} = 1$, V_o = Low, T_1 = on

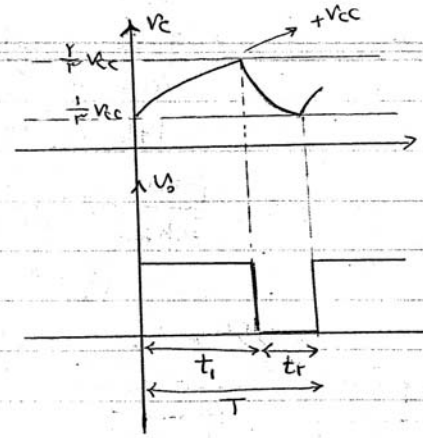
⇒ D C = discharge ⇒ D when $V_c < \frac{1}{3}V_{CC}$ ⇒

$\tau_2 = R_B.C$

$V_i^- < V_i^+$ ⇒ D S = H ⇒ D ff = set ⇒ D $\bar{Q} = 0$, V_o = High, T_1 = off

سوال ⇐ ؟

(۵F)



$t_1 = ?$

$V_c(0) = \frac{1}{3}V_{cc}$

$V_c(\infty) = V_{cc}$

$V_c(t = t_1) = \frac{2}{3}V_{cc}$

$t_1 = 0.69(R_A + R_B)C$ *

$t_2 = 0.69(R_B) \cdot C$ *

$T = 0.69(R_A + 2R_B)C$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.69(R_A + R_B)C}$$

$$\text{duty cycle} = \frac{t_1}{T} \times 100$$

$$\boxed{d\text{-}c = \frac{R_A + R_B}{R_A + 2R_B} \times 100}$$

$d\text{-}c > 50\%$

مثال:

$$\begin{cases} I_{th} = 0.25\,\mu A \\ I_{trig} = 0.5\,\mu A \end{cases}, \quad f = 2\,HZ, \quad d\text{-}c = 99\%, \quad V_{cc} = 11V$$

$$R_{A+R_B} = \frac{\frac{1}{3}V_{cc}}{I_{ch\,min}} = \frac{9}{1\,mA} = 9K\Omega \qquad T = \frac{1}{f} = \frac{1}{2K} = 0.5\,ms$$

$$d\text{-}c = \frac{T_1}{T} \times 100 \Rightarrow 0.99 = \frac{T_1}{0.5ms} \qquad T_1 = 0.495\,ms$$

$$t_1 = 0.69(R_A + R_B) \cdot C \qquad C = \frac{0.495\,ms}{0.69(9K)} = \Delta$$

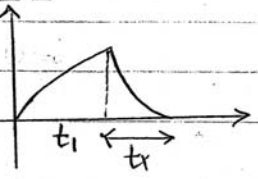
$$t_2 = T - t_1 = 0.11\,ms$$

$$t_2 = 0.69 R_B \cdot C \qquad R_B = \frac{0.11ms}{0.69 \times \Delta} = \square$$

$R_A =$ ⬡

$$d\text{-}c = \frac{R_A + R_B}{R_A + 2R_B}$$

خازن از طریق 2 مقاومت شارژ می‌شود
از طریق یک مقاومت شارژ می‌شود
$\Rightarrow t_1 > t_2$ علت



(۵۵) برای آنکه D=C ٪۵۰ باشد ۲ دیود اضافه می‌کنیم D_1 و D_2

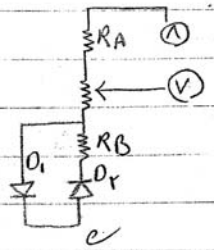
$$t_1 = 0.69\, R_A \cdot C$$

$$t_2 = 0.69\, R_B \cdot C$$

$$d\text{-}c = \frac{R_A}{R_A + R_B} \times 100$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.69(R_A + R_B)\cdot C}$$

شکل ۱۷ به این صورت خواهد بود برای تغییر فرکانس می‌باشد.

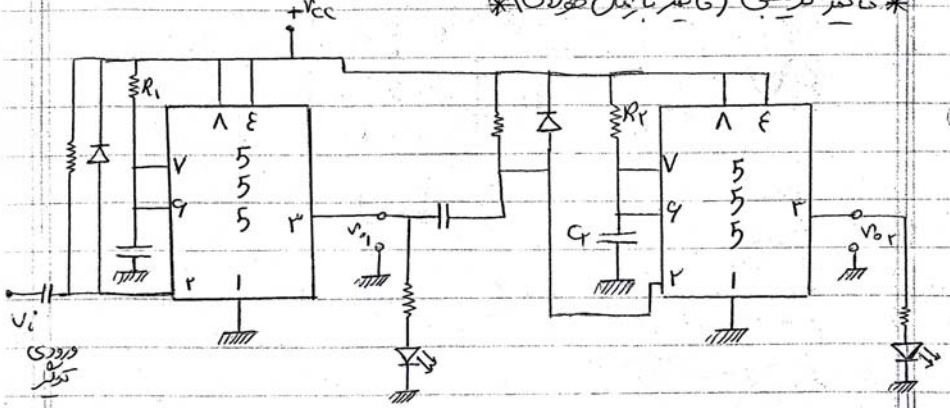


اگر $R_A = R_B \Rightarrow d\text{-}c = 50\%$

اگر $R_A > R_B \Rightarrow d\text{-}c > 50\%$

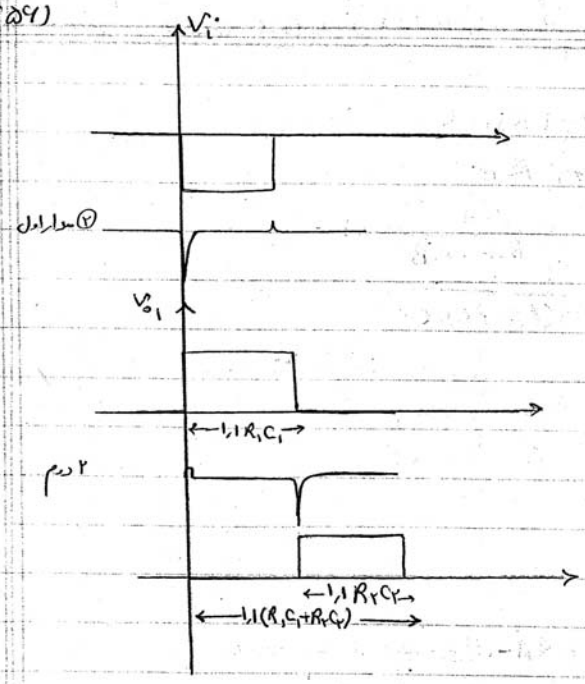
اگر $R_A < R_B \Rightarrow d\text{-}c < 50\%$

* تقسیم کننده (تقسیم با زمان طولانی) *

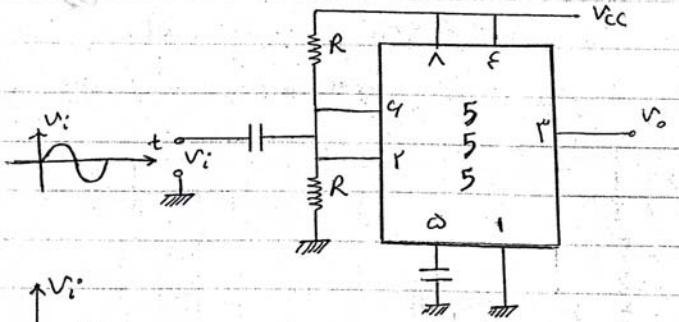


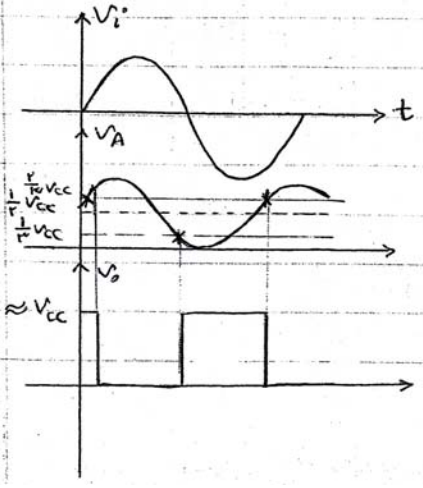
شکل ۱۸

(۵۶)

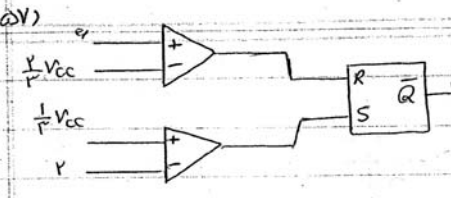

V_i
V_{o1}
$1,1R_1C_1$
$1,1R_2C_2$
$1,1(R_1C_1+R_2C_2)$

اسیستور

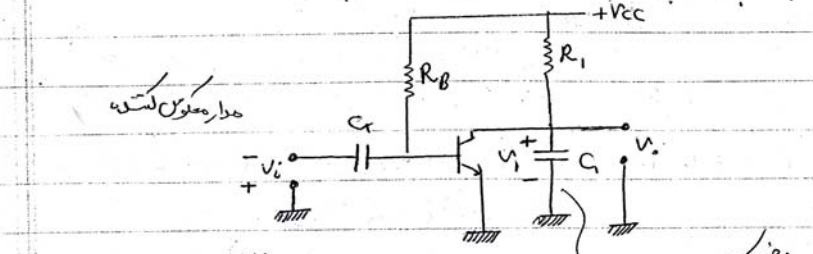

V_{CC}
R
R
V_i
t
V_o
5
5
5

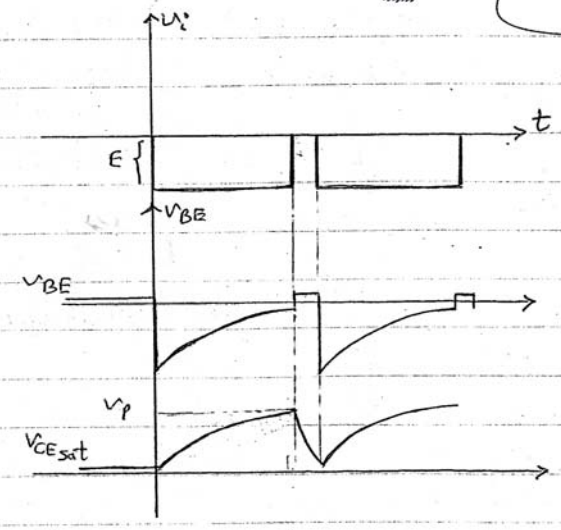

V_i
t
V_A
$\frac{2}{3}V_{CC}$
$\frac{1}{2}V_{CC}$
$\frac{1}{3}V_{CC}$
V_o
$\approx V_{CC}$

(ص۷)



تبدیل موج مربعی به موج دندان اره‌ای به روش بوت استرپ





$V_i = 0 \Rightarrow Tr = $ اشباع $\Rightarrow V_o = V_{CEsat} \longrightarrow C_1 = $ discharge

$V_i = - \Rightarrow Tr = $ قطع $\Rightarrow C_1 = $ charge $\longrightarrow V_o = \uparrow$

$\tau = R_1 C_1$

نزدیک به موج دندان اره‌ای است ولی کاملا دندان اره‌ای نشده است باید کاری بکنیم که خازن به طور خطی شارژ شود ← اگر جریان ثابت باشد.

* اگر خازن را از طریق یک منبع جریان ثابت شارژ کنیم و جریان عبوری از R_1 همواره ثابت باشد

از روش بوت استرپ استفاده می‌شود

$\frac{\varepsilon - 2}{1k} = 2$ ۲۷ ← ۴۷

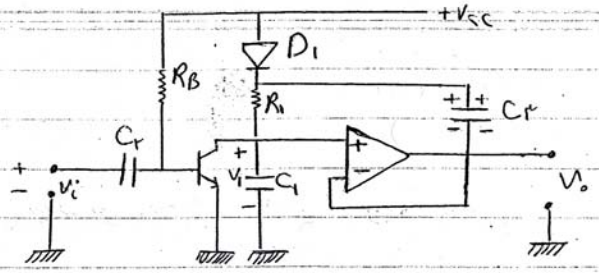
$I = \frac{2-0}{1} = 2$ ۰۷ ← ۲۷

$R_1 = 1k\Omega$ ثابت

I ثابت باشد و عامل ثابت باشد ← I ثابت

نمی‌دانم

(۵۸)



دیود D_1 ← برای جداکردن ولتاژ سر بالای R_1 از V_{CC}

با فرمان آنکه ترانزیستور را به سر مقاومت R_1 برگرداند با (Cf)

$V_i = 0 \Rightarrow Tr = $ اشباع $\Rightarrow V_1 = V_{CE_{sat}} \longrightarrow V_o = V_1 = V_{CE_{sat}}$

$V_K = V_{CC} - V_{D_1}$ دیود

$V_{Cf} = V_K - V_o = V_{CC} - V_{D_1} - V_{CE_{sat}}$

$V_i = - \Rightarrow Tr = $ قطع $\Rightarrow C_1 = $ Charge $\Rightarrow V_1 = \uparrow \Rightarrow V_o = \uparrow \Rightarrow DV_K \uparrow \Rightarrow$

(V_1: ثابت ← اضافه)

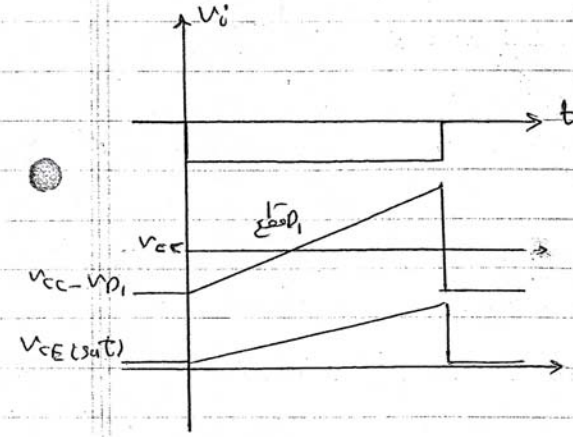
$\Rightarrow$ when $V_K \geq V_{CC} \Rightarrow D_1 =$ قطع $\Rightarrow C_f =$ ماند تغذیه برای R_1 خازن است

$V_{R_1} =$ ثابت $\Rightarrow I_{R_1} =$ ثابت $\Rightarrow I =$ ثابت

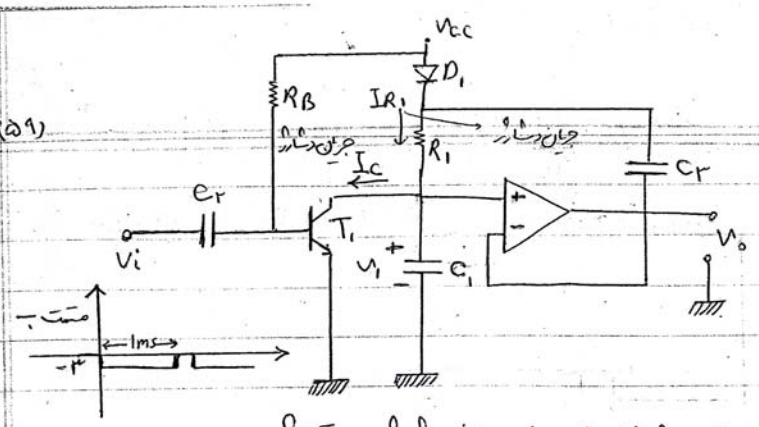
R_1 دو سر است

جریان خازن

← خازن به طور خطی شارژ می‌شود.



(۵۹)



مثال: $C_1 = 39nF$ جریان دشارژ خازن که برابر جریان شارژ I_{R_1} باشد.
$R_B = 470K$
$\beta = 100$
$V_{CC} = \pm 15V$

الف) $V_o = 0 \leftarrow R_1 = ? \leftarrow V_{o_{min}} = ?$

$$V_{o_{min}} = V_1\Big|_{T_1 = \begin{cases} \text{اشباع} \\ \text{قطع} \end{cases}} = 0.2V$$

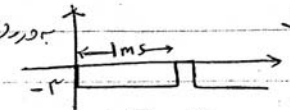
$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_{D_1} - V_{CE_{sat}}}{I_{R_1}} \qquad I_C = 10 I_{R_1}$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{15 - 0.7V}{470K} = 0.03mA$$

$$I_C = \beta I_B = 100 \times 0.3 = 3mA \qquad I_{R_1} = \frac{3m}{10} = 0.3mA$$

$$R_1 = \frac{15 - 0.7 - 0.2}{0.3mA} = 47K\Omega$$

ب) اگر $V_i = -4V$ (پالس به صورت روبرو اعمال می‌شود) $PW = 1ms$



$C_2 = ? \quad V_{o_{max}} = ?$

$$V_{o_{max}} = max\left(V_1\right) \longrightarrow \Delta V_{C_1}$$

$$I_{R_1} \times PW = C_1 \times \Delta V_{C_1}$$

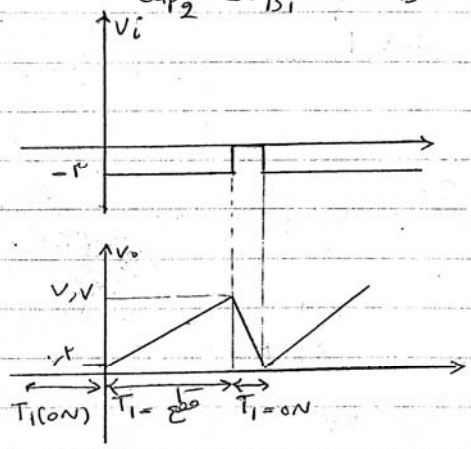
$$V_{o_{max}} = \Delta V_{C_1} = \frac{(0.3m)(1ms)}{39nF} = 7.7V$$

$$I_{cap_{C_2}} \times PW = C_2 \times \Delta V_{C_2}$$

$$\square \times 1ms = C_2 \times 1.8 \qquad C_2 = ? \text{ جواب}$$

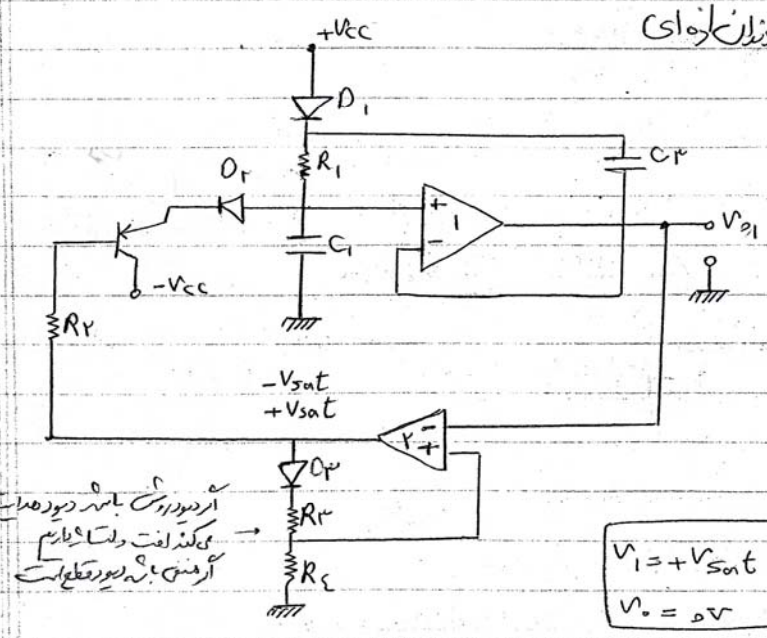
(۹.۲) $I_{Cap_{C_2}} = \frac{V_{CC} - (V_i)}{RB} = \frac{۱۵ - (-۳)}{۴۷۰k} = \cdots$

$\Delta V_{cap_2} = \Delta V_{B_1} = V_i - V_{BE} = -۳ - ۰٫۷ - ۱٫۲ = -۱٫۸V$



در هرجا کدورزی‌ها موجود است T_r = روشن
است و هرجا ورزی‌ها منفی است قطع T_r=
می‌باشد.

مولد موج دندان‌اره‌ای



اگر دیود روشن باشد دیود مدار می‌کند افت ولتاژ دارد اگر دیود خاموش باشد دیود قطع است

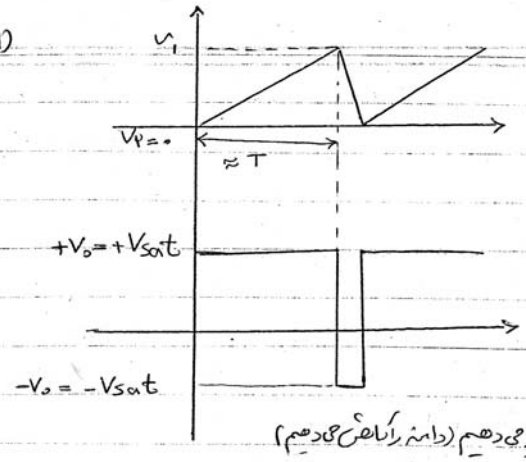
$V_1 = +V_{sat}\ \beta$

$V_o = ۵V$

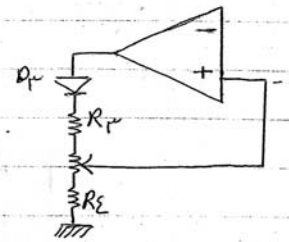
$\rightarrow V_{o_2} = +V_{sat} \Rightarrow V_{B_1} = + \Rightarrow Tr = off \Rightarrow C_1 = charge \Rightarrow V_1 \uparrow$ $\tau = R_1 C_1$ $\Rightarrow$

$\Rightarrow V_{o_1} \uparrow \Rightarrow$ when $V_{o_1} \geq V_1 \Rightarrow V_{o_2} = -V_{sat}$

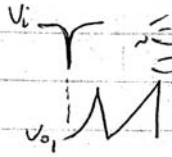
$\Rightarrow V_{B_1} = - \Rightarrow T_1 = ON \Rightarrow C = discharge \Rightarrow V_1 \downarrow \Rightarrow V_o \downarrow \Rightarrow$ when $V_{o_1} < V_{o_2}$ $۰V$



مقدار دامنه V_o را موج دندان اره‌ای را تغییر می‌دهیم (دامنه را کاهش می‌دهیم)
کافی است β را تغییر دهیم کدر آنجا مقاومتهای R_3 و R_4 تغییر می‌کنند یک پتانسیومتر به شکل زیر قرار می‌دهیم

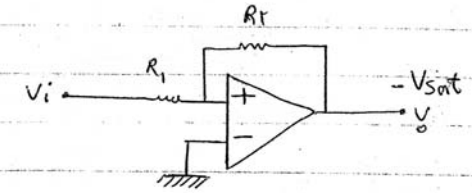


V_i ورودی همان



برای همین کار کافیست که ورودی V_i را به صورت منفی وارد کنیم

اسمت تقویت



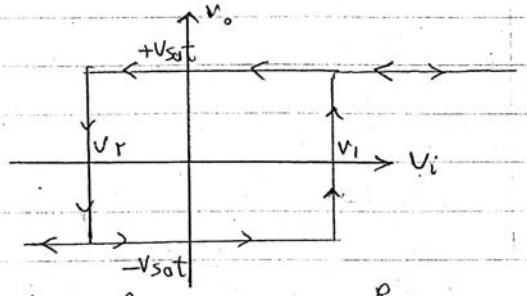
$V_i = -$ ورودی منفی باشد $\Rightarrow V_i^+ < V_i^- \Rightarrow V_o = -V_{sat}$

$$V_i^+ = V_i \times \frac{R_2}{R_1+R_2} + (-V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$$0 = V_i \times \frac{R_2}{R_1+R_2} + (-V_{sat}) \times \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$$V_1 = (-V_{sat})\left(\frac{-R_1}{R_2}\right)$$

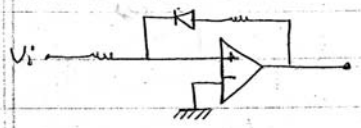
$V_i = \uparrow \Rightarrow$ when $V_i \geq V_1 \Rightarrow V_i^+ > V_i^- \Rightarrow V_o = +V_{sat}$

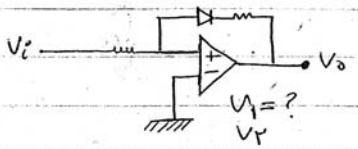


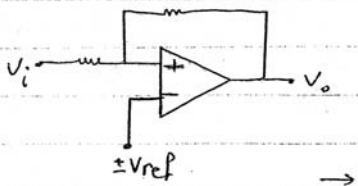
$$V_i^+ = V_i \frac{R_2}{R_1+R_2} + (+V_{sat})\frac{R_1}{R_1+R_2}$$

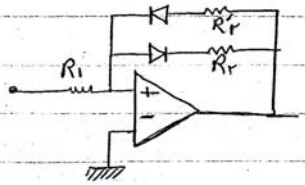
$$0 = \frac{R_2}{R_1+R_2}V_2 + (V_{sat})\frac{R_1}{R_1+R_2}$$

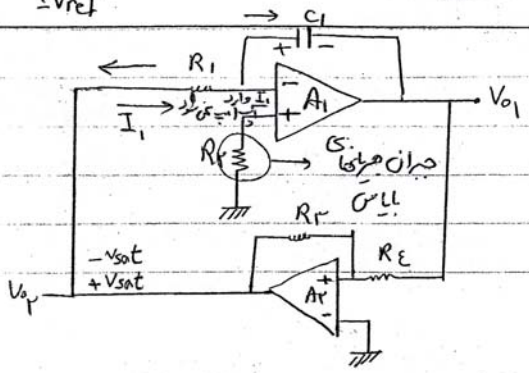
$$V_2 = (+V_{sat})\left(\frac{-R_1}{R_2}\right)$$





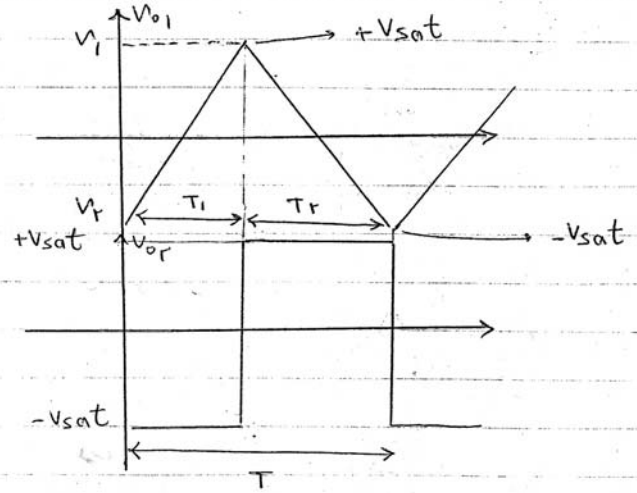






(ادامه) $V_{o2} = +V_{sat} \Rightarrow \overrightarrow{I_1} \Rightarrow$ ⊣+ −⊢ $\Rightarrow V_{o1} \downarrow \Rightarrow$ when $V_{o1} < V_2 \Rightarrow V_{o2} = -V_{sat}$

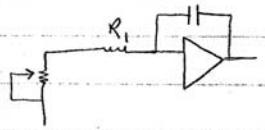
$\overleftarrow{I_1} \Rightarrow$ ⊣− +⊢ $\Rightarrow V_{o1} \uparrow \Rightarrow$ when $V_{o1} \geq V_1 \Rightarrow V_{o2} = +V_{sat}$



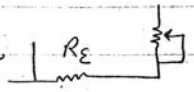
$$f = \frac{1}{\epsilon R_1 C_1 \left(\frac{R_4}{R_3}\right)}$$

برای تغییر فرکانس R_1 و C_1 ، R_3 و R_4 ← تغییر دهم

بهتر است برای تغییر R_1



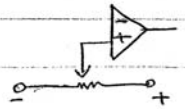
اگر زیاد شود خازن دیرتر شارژ می‌شود و دیرتر دشارژ



برای تغییر دامنه

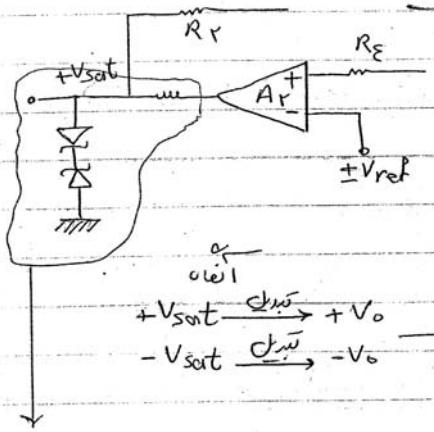
مقاومت R_2 برای جبران اثر جریان هلد بایاس می‌باشد.

سؤال: حال اگر مقاومت R_2 را برداریم و به جای آن یک پتانسیومتر چه خروجی را تغییر دهد



خازن + اپ امپ A_2 را به جای زمین به $\pm V_{sat}$ وصل کنیم چه اتفاقی می‌افتد؟

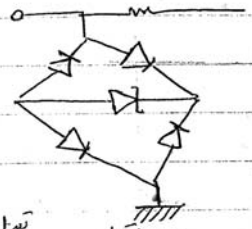
اگر بخواهیم ولتاژ خروجی V_o دو مقدار $\pm V_{sat}$ نباشد خروجی از مقاومت زنر (ZD) استفاده می‌کنیم و مقاومت



به انفاق

$+V_{sat} \xrightarrow{\text{تبدیل}} +V_o$ ← خواهد شد

$-V_{sat} \xrightarrow{\text{تبدیل}} -V_o$



$+V_{sat} \xrightarrow{\text{تبدیل}} +V_o \xrightarrow{\text{تبدیل}} V_Z + 2(0.7V)$

$-V_{sat} \xrightarrow{\text{تبدیل}} -V_o \xrightarrow{\text{تبدیل}} -V_Z - 2(0.7V)$