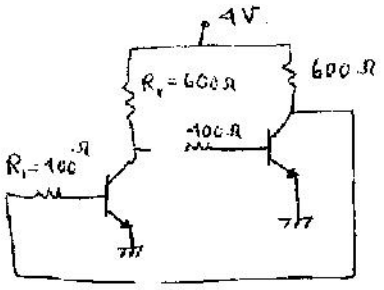
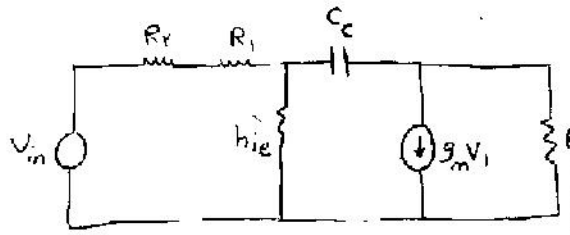
$|\tau| = \frac{1}{S_1}$ $\quad t_r = 2.2|\tau|$ $\quad S_1$ قطب غالب است ←





برای یک طبقه

مدل تقسیم - π

$$\omega_c = \frac{1}{\left[(R_1+R_2)\|h_{ie}\right] C_c (1-A_v)}$$

$\rightarrow A_v = -g_m R_2 \longrightarrow 1 - A_v \simeq g_m R_2$

$$A_0 = \frac{h_{ie}}{h_{ie} + (R_1+R_2)} g_m R_2 \qquad \text{if } A_0 \gg 1 \longrightarrow S_1 = A_0 \omega_c$$

$$S_1 = A_0 \omega_c = \frac{1}{C_c (R_1+R_2)}$$

هرچه C_c کوچکتر شود (ω_c بزرگتر)، S_1 بزرگتر و $|\tau|$، t_r کوچکتر می‌شود.

زمان طول پالس تا تغییر وضعیت دهد.

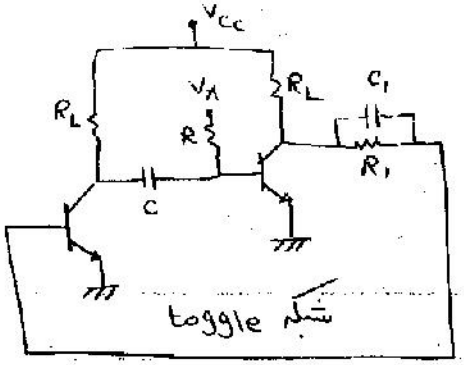
با انتخاب عوض $C_c = 7.5\ pF \longrightarrow t_r = 16.5\ nsec$

$\rightarrow$ $R_2 = 600\,\Omega$

$R_1 = 400\,\Omega$

مولتی‌استابل monostable

(one shoot / مولد پالس)



بجای مقاومت از یک کولکتور خازنی استفاده شده است.

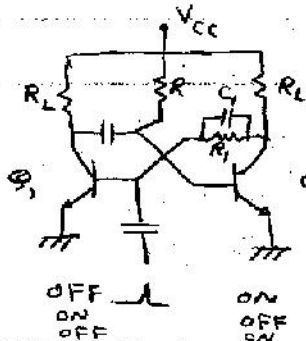
خاموش بودن $V_x > 0$

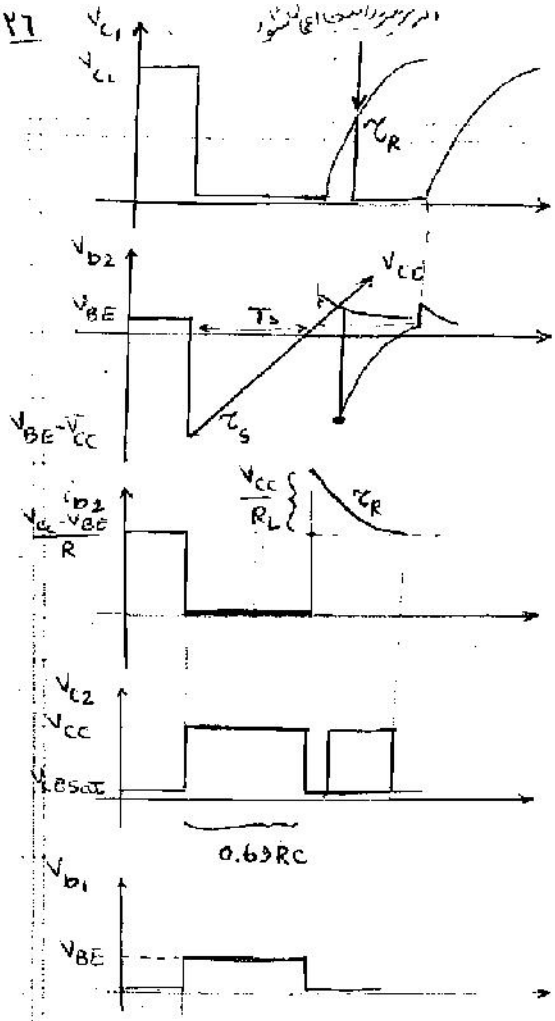
روشن بودن $V_x < 0$

زمان دهی خاموش بودن

Keep and timing

(ON وضعیت عادی Q_2)





$$i_{b_2}(0^+) = \frac{V_{CC}-V_{BE}}{R}$$

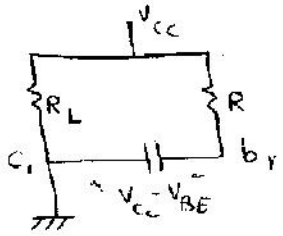
$$V_{b_2} = V_{BE} \qquad i_{b_2}(0^-) = \frac{V_{CC}-V_{BE}}{R}$$

$$V_{C_2}(0^-) = V_{CEsat} \simeq 0$$

$$V_{C_1}(0^-) = V_{CC} - V_{BE}$$

با اعمال تریگر منفی

$$V_{C_1}(0^+) = V_{CEsat} \qquad V_{b_2}(0^+) = V_{BE} - V_{CC}$$



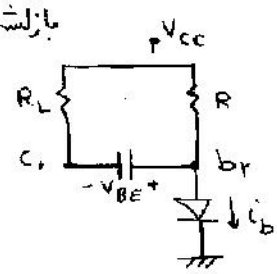
$$\tau_S = RC$$

$$V_{b_2}(t) = V_{CC} - (2V_{CC} - V_{BE})\, e^{-t/\tau_S}$$

$$T_S = \tau_S \ln \frac{V_{CC} + (V_{CC} - V_{BE})}{V_{CC} - V_{BE}} = \tau_S \ln 2$$

$$\simeq 0.69RC$$

بازگشت



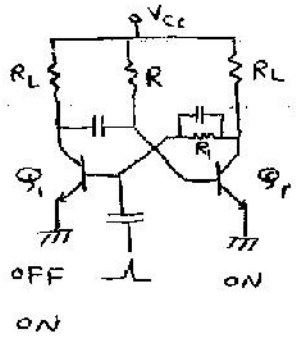
$$i_{b_2}(T_S^+) = \frac{V_{CC}-V_{BE}}{R} + \frac{V_{CC}}{R_L} \qquad I_D = I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

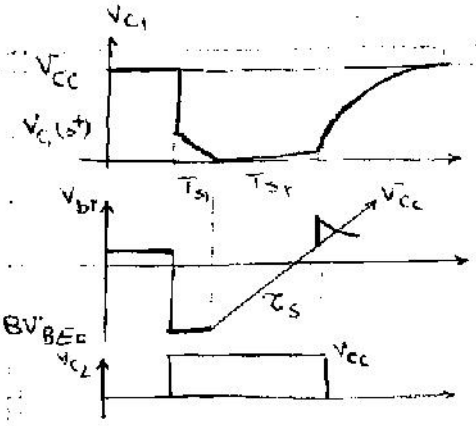
ولتاژ V_{BE} به ازای هر ۱۰ برابر شدن I_b تا اندازه ۶۰ mV تغییر کند.

$$\tau_R = R_L C \qquad 4R_L C < 0.69RC \rightarrow \quad 4R_L < 0.69R$$

با استفاده به وضعیت ثبات پرتریم تا تریگر بعدی را اعمال کنیم تا T_S مشخص باشد، لذا مدار بازگشت کنترل شده بهتر است.

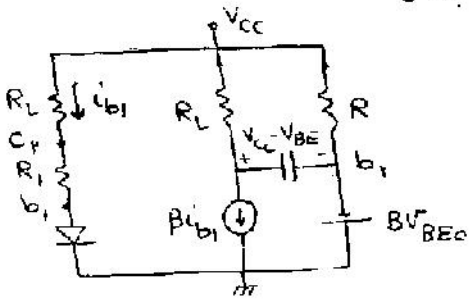
شکست انتقال بین امیتر:





$$V_{C_1}(0^+) = V_{CC} - V_{BE} = BV_{BEo}$$

به دلیل وجود تاخیر در زمان سرکلکتور- امیتر ترانزیستور Q_1 وارد ناحیه فعال می‌شود.



$$T_{S_1} = \tau_S \frac{V_B - V_C}{V_{SS} - V_C} \qquad \tau_S = R_L C$$

$$= R_L C \frac{V_{CEsat} - V_{C_1}(0^+)}{V_{CC} - \beta i_{b_1} R_L - V_{C_1}(0^+)}$$

$$\rightarrow T_{S_1} = R_L C \frac{V_{C_1}(0^+) - V_{CEsat}}{\beta R_L \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_L + R_1}}$$

$$i_{b_1} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_L + R_1}$$

$$\rightarrow T_{S_1} = C(R_L + R_1) \frac{V_{C_1}(0^+)}{\beta(V_{CC} - V_{BE})}$$

در این حالت Q_2 از حالت شکست خارج می‌شود.

$$T_{S_2} = \tau_S \ln \frac{V_{CC} + BV_{BEo}}{V_{CC} - V_{BE}}$$

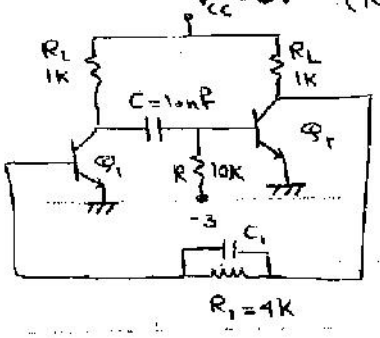
$$\tau_S = RC$$

$$T_S = T_{S_1} + T_{S_2}$$

اشکال این است که زمان به دو پارامتر β و زمان شکست وابسته می‌باشد.

سنو بازرگان (keep on timing): $V_{CC} = 5V$ نگهدار

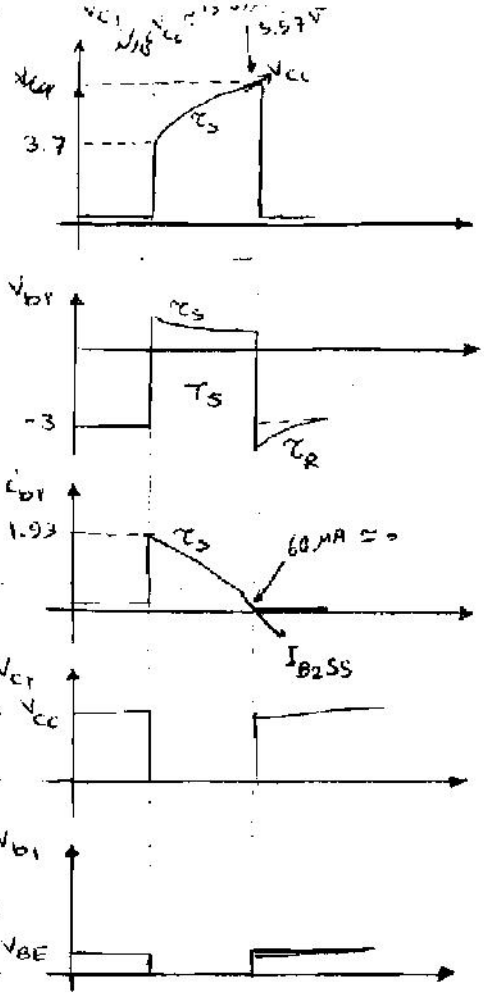
Q_2 در وضعیت عادی OFF

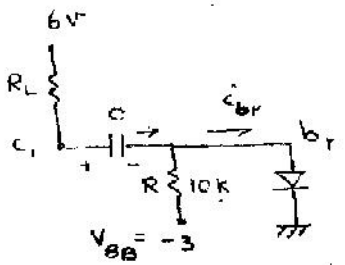


ON OFF

OFF ON

۱۷





$$i_{br} = \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_{BE}}{R_L} + \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R}$$

$$= \frac{6 - 3 - 0.7}{1} + \frac{-3 - 0.7}{10} = 1.93 \text{ mA}$$

$$I_{br\,sat}(0^+) = 1.93 \text{ mA} \geq \frac{V_{CC}}{\beta R_L} = \underbrace{60\,\mu A}_{I_{B2\,Sat}} \rightarrow Q_2 \text{ اشباع}$$

$$\tau_s = R_L C$$

$$I_{br\,SS} = \frac{-3 - 0.7}{10} \simeq$$

$$T_s = \tau_s \ln \frac{I_{br\,SS} - I_{br}(0^+)}{I_{br\,SS} - I_{br\,sat}} = 10 \ln \frac{-0.37 - 1.9}{-0.37 - 0.0}$$

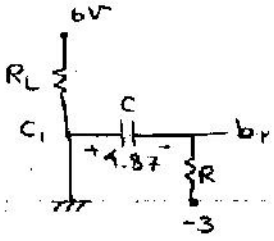
$$= \ldots$$

$$V_R = V_{SS} - (V_{SS} - V_i) e^{-\frac{T_s}{\tau_s}} \longrightarrow V_{C_1}(T_s) = \ldots$$

Q_1: ON Q_2: OFF

$$V_{C_1}(T_s^-) = 6 - (0.37 + 0.06) R_L = 5.57 \text{ V}$$

$$V_{C_1}(T_s^-) = V_{CC} - i_q(T_s^-) R_L$$



$$\tau_R = RC$$

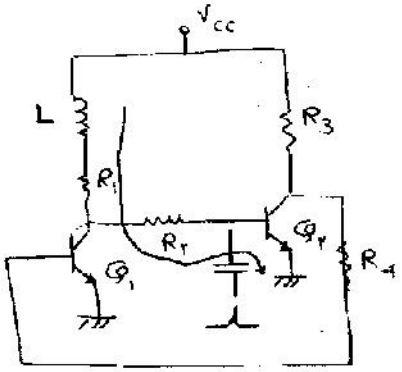
معایب

۱- زمان برگشت طولانی (برعکس قبل که $\tau_s = RC$ ، $\tau_R = R_L C$ بود)

۲- وابستگی پهنای پالس به β (در صورت بزرگ بودن β این وابستگی اندکی می‌شود).

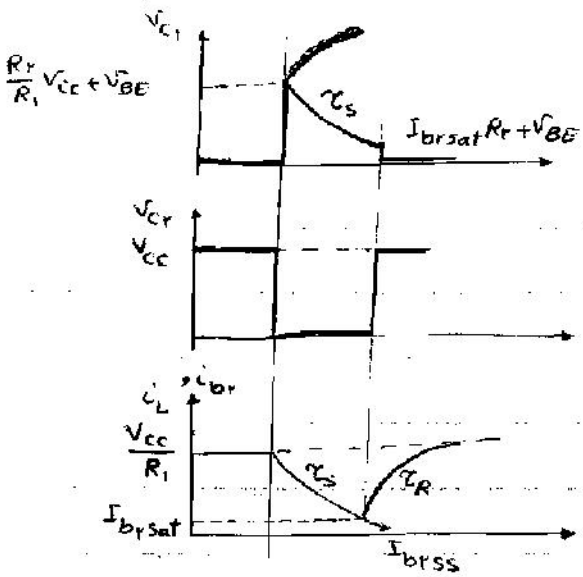
$I_{br\,sat} \longleftarrow$ به β وابسته است.

مشکل زن (دهی سلفی):



ON OFF

OFF ON



$$\tau_s = \frac{L}{R_1+R_2} \qquad i_{brss} = \frac{V_{CC}-V_{BE}}{R_1+R_2}$$

$$V_{C_1}(0^+) = \frac{V_{CC}}{R_1}R_2 + V_{BE}$$

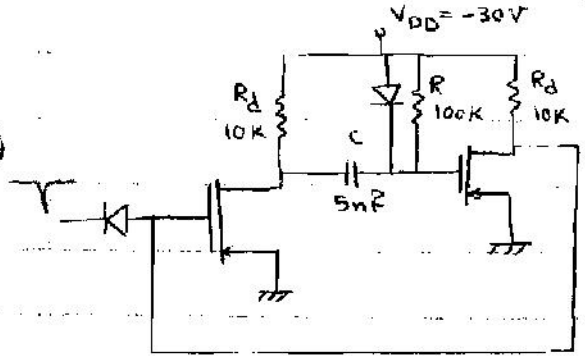
شرط β: $i_{brss} < i_{brsat}$ $\qquad i_{brsat} = \frac{V_{CC}}{\beta R_3}$

$$\tau_R = \frac{L}{R_1}$$

معایب:

۱- بازگشت طولانی ۲- وابستگی زمان به β

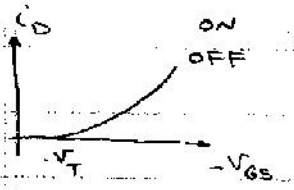
مونو با MOSFET:

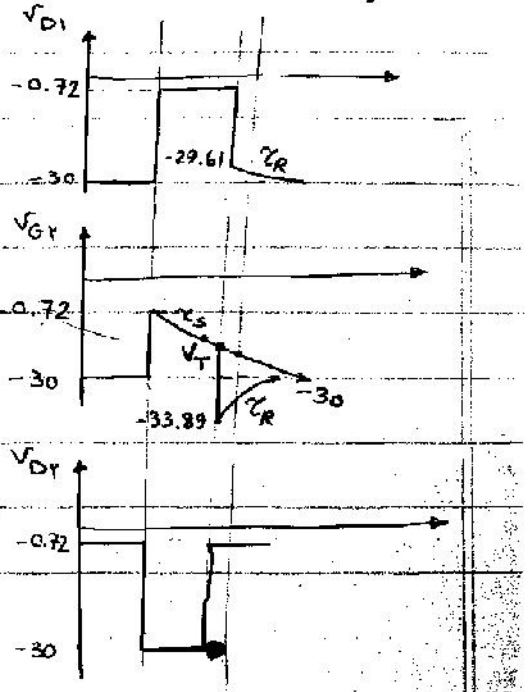


OFF ON

ON OFF

ON





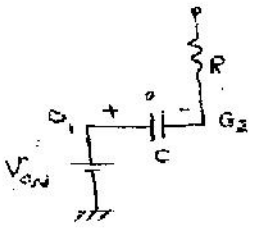
$V_T = -5V$

$R_{ON} = 240\Omega$

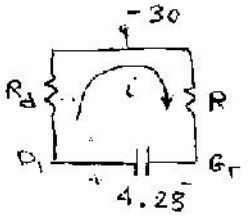
$$V_{ON} = -30\,\frac{0.24}{10+0.24} = -0.72$$

$$\tau_S = RC = 500\,\mu sec$$

$$T_S = \tau_S \ln \frac{V_{DD}-V_{ON}}{V_{DD}-V_T} = 79.3\,\mu sec$$



بازگشت



$$i = \frac{4.28}{R+R_d} \quad ; \quad V_{G_1}(T_S^+) = V_{DD} - iR_d = -33.89$$

$$V_{D_1}(T_S^+) = V_{DD} + iR_d = -29.61$$

$$\tau_R = (R+R_d)C = 550\,\mu sec$$

معایب:

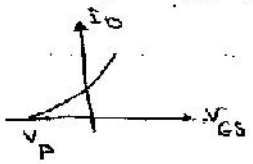
۱- بازگشت طولانی ۲- وابستگی زمانی به V_T

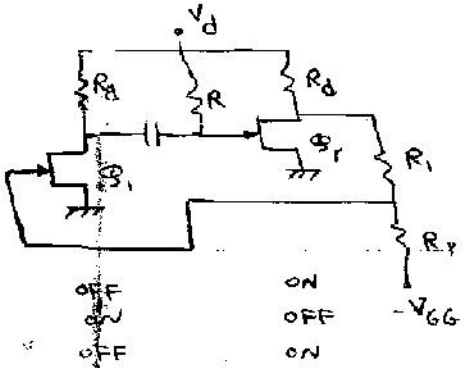
برای کاهش زمان بازگشت از یک دیود موازی R استفاده می‌شود.

در لحظه بازگشت دیود هدایت می‌کند و overshoot مدار را کم می‌کند.

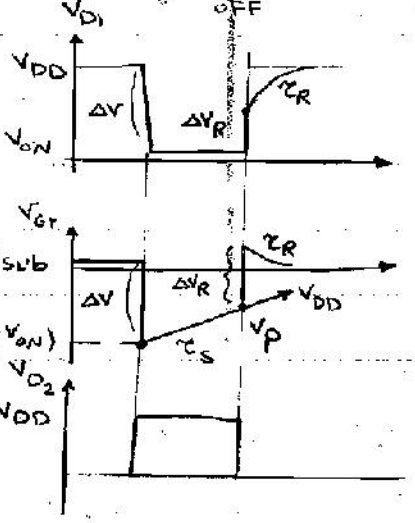
بنابراین در این حالت overshoot کمتر و برابر V_D و $\tau_R = R_d C = 50\,\mu sec$

مولتی ویبراتور مونو با JFET :





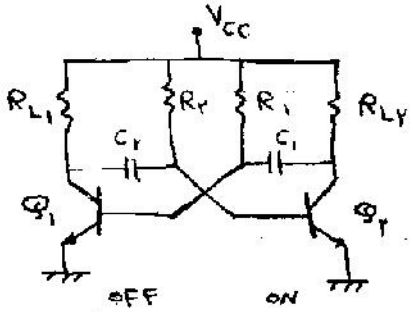
$$T_S = \tau_S \ln \frac{V_{DD}-[V_{GSUb}-(V_{DD}-V_{ON})]}{V_{DD}-V_P}$$



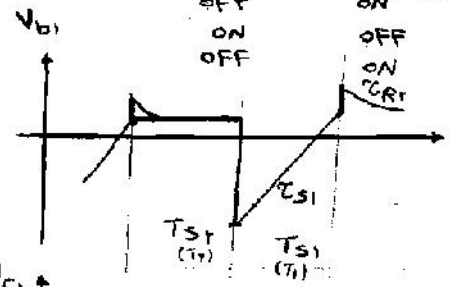
$$\tau_S = RC$$

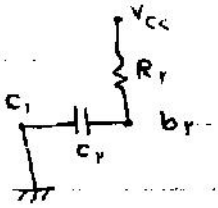
$$\tau_R = R_d C$$

Astable
نوسانی

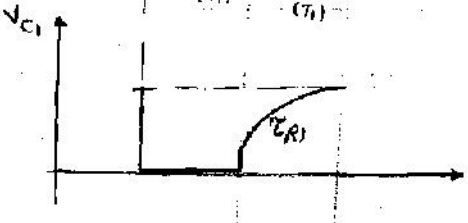


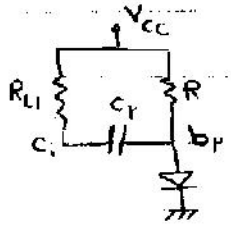
$\tau_s > \tau_R$
زمان‌دهی خازن تکمیل باشد





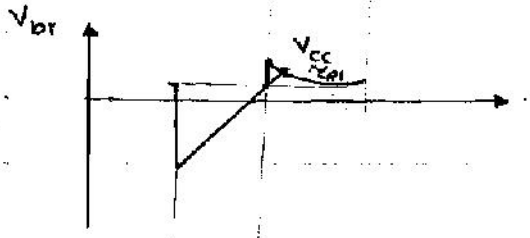
$\tau_{S2} = R_2 C_2$

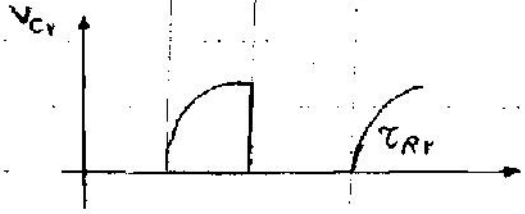




$\tau_{R1} = R_{L1} C_2$

$\tau_{S1} = R_1 C_1$





$$T_1 = \tau_{S1} Ln \frac{V_{CC} + (V_{CC} - V_{BE})}{V_{CC} - V_{BE}} = \tau_{S1} Ln 2 = \dots$$

$0.69 R_1 C_1$

$$T_2 = \tau_{S2} Ln \frac{V_{CC} + (V_{CC} - V_{BE})}{V_{CC} - V_{BE}} = \tau_{S2} Ln 2 = 0.69 R_2 C_2$$

درحالت تقارن $R_1 = R_2 = R$

$C_1 = C_2 = C$

$R_{L1} = R_{L2} = R_L$

$T_1 = T_2 = RC Ln 2 \approx 4 R_L C$ ⟵ زمان بازگشت ①

تا خازن کوپلینگ از زمان نصف دوره باشد

تا مشکل موتی را برای تقسیر نکند.

شرط اشباع ترانزیستور $R < \beta R_L$ ②

$1,2 \longrightarrow 5.8 R_L < R < \beta R_L$

باید R را بزرگ بگیریم تا به میزبت بالا آید. ⟵ در بزرگ انتخاب کردن R β را کم می‌کند

پس از ترانزیستورهای با β بزرگ استفاده می‌کنیم.

• یک وضعیت دیگر اشباع برای مولتی ویبراتور است. این زمانی پیش می‌آید که R کوچک باشد. زیرا جریان بیس در ترانزیستور بطور آنی تامین شده و مولتی ویبراتور شروع به نوسان می‌کند. راه حل این مشکل استفاده از ترانزیستور برای شروع نوسان یک ترانزیستور لازم است تا عمل Regeneration بیشتر به برای جلوگیری از این وضعیت باید R را بزرگ انتخاب کرد.

مثال:

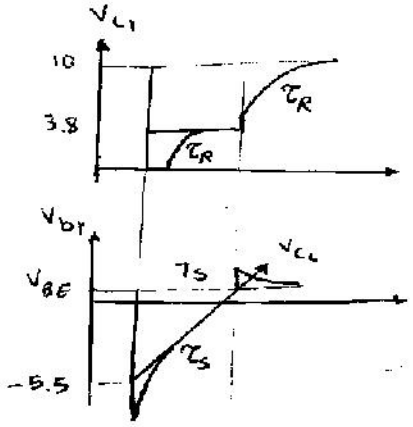
$R_1 = R_2 = R = 75K$

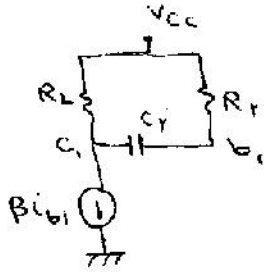
$C_1 = C_2 = C = 100pF$

$R_{L1} = R_{L2} = R_L = 1K$

$V_{CC} = 10V$, $\beta = 50$

شرط $R < \beta R_L$ برقرار است پس ترانزیستور وارد اشباع نمی‌شود.





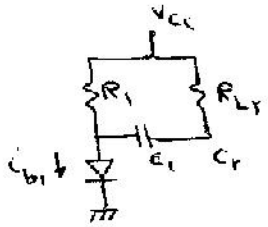
C_1 پر شده از طریق R

$$i_{b1} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R}$$

C_2 پر شده از طریق R_L

$$V_{C1} = V_{CC} - \beta i_{b1} R_L = 10 - 50\ \frac{10 - 0.7}{75}$$

$$= 3.8V$$



$$\tau_S = C(R_L + R) = 76\,\mu sec$$

$$T_S = \tau_S \ln \frac{10 + 5.5}{10 - 0.7} = 38.9\,\mu sec$$

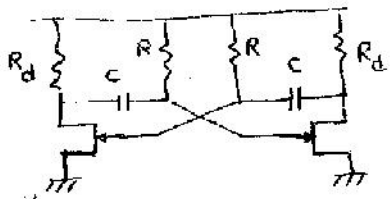
با توجه به شکل موج‌های فوق ولتاژ صرفه‌شده C_1 برابر $V_{C_1} - V_{BE} = 3.8 - 0.7 = 3.1V$ خواهد بود.

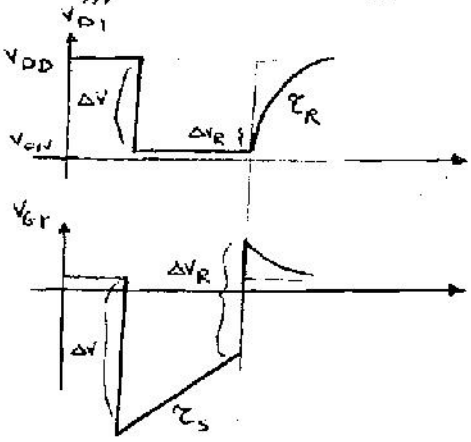
جریان صرفه‌شده در i_{b1} برابر است با $I_m = \frac{10 - 3.8}{R_L} = 6.2\,mA$

این جریان به مقدار کافی زیاد است که Q_1 را به اشباع ببرد. این جریان با $\tau_R = R_L C = 100nsec \ll \tau_S$ از بین می‌رود.

چون اثر آن سیار سریع از بین می‌رود می‌توان از آن صرفه‌نظر کرد. زمان‌های بدست آمده تقریبا موقعی که این overshoot را هم در نظر بگیریم تقریبا برابر است.

JFET





زمان‌های متقارن

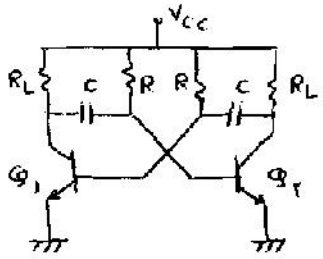
$$T_1 = T_2 = \tau_s \ln \frac{V_{DD} - V_{GS(off)} + V_{DD} - V_o}{V_{DD} - V_p}$$

$\tau_s = RC$

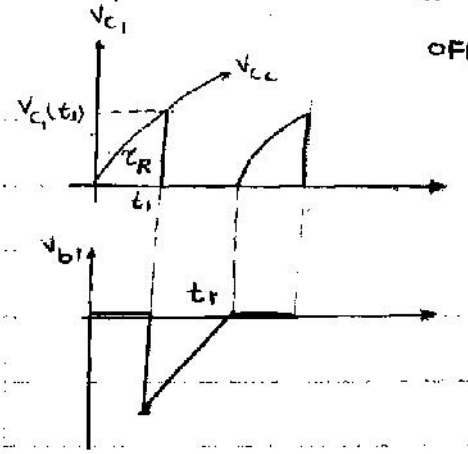
$\tau_R = R_d C$

$\tau_s > \tau_R$

بازگشت غیرکامل



OFF ON



$$V_c(t_1) = V_{CC}(1 - e^{-\frac{t_1}{\tau_R}}) \quad (1) \qquad \tau_R = R_L C$$

$$V_b(t) = V_{CC} - (V_{CC} - V_c(t_1))e^{-t/\tau_s} \qquad \tau_s = RC$$

$$V_{BE} = V_{CC} - \left[V_{CC} - V_c(t_1)\right] e^{-t_1/\tau_s} \quad (1)$$

با جایگذاری کردن عادله (1) در (2) خواهیم داشت

$$(1 - \frac{V_{BE}}{V_{CC}}) - 2e^{-t_1/\tau_s} + e^{-t_1/\tau_s} e^{-t_1/\tau_{s\&R}} = 0 \rightarrow$$

$\rightarrow \tau_s = \lambda \tau_R$ $\qquad x^{\lambda+1} - 2x + 1 = 0 \qquad x \le 1$ قابل قبول $\rightarrow$

$x = e^{-t_1/\tau_s}$

$$\rightarrow t_1 = \tau_s \ln \frac{1}{x}$$

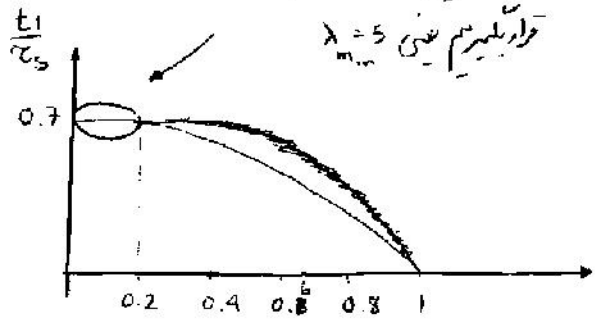
For λ = large $\rightarrow -2X + 1 = 0 \rightarrow X = \frac{1}{2} \rightarrow t_1 = \tau_s \ln 2$

For $\lambda = 1 \xrightarrow{\tau_s = \tau_R} x^2 - 2X + 1 = 0 \rightarrow x = 1 \rightarrow t_1 = 0$

۳۰

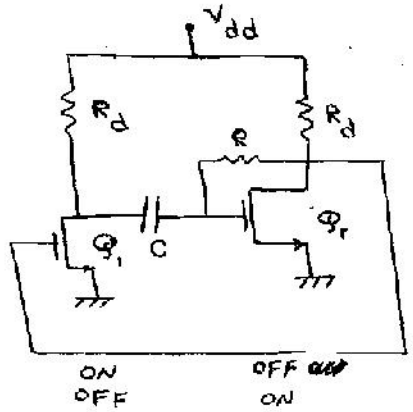
با سعی می‌کنیم که همیشه در این منطقه

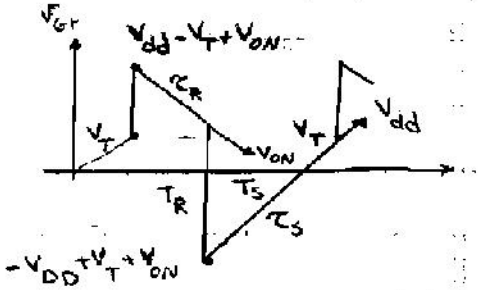
حرکت کنیم یعنی $\lambda_{min} = 5$



$$\frac{\tau_R}{\tau_s} = \frac{1}{\lambda}$$

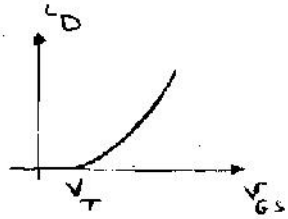
آستابل با یک عنصر ذخیره کننده انرژی:

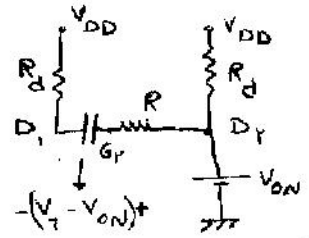




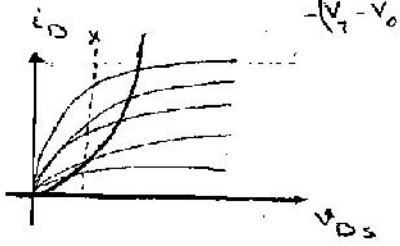
$V_{ds} => V_{GS} - V_T$ → Q_1 : FET در حالت اشباع

Q_2 با هم OFF است.





$$\tau_R = (R_d + R)C$$



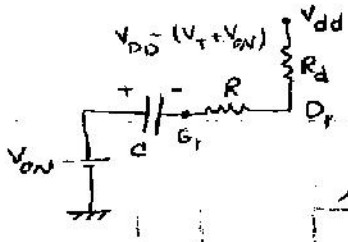
حالت اشباع وقتی پیش می‌آید که به سر منفذه

V_{ON}

$V_{DS} = V_{GS} - V_T$

$\hookrightarrow V_{GS} = V_T + V_{ON}$

Q_1 : ON ، Q_2 : OFF



$\tau_s = \tau_R = (R + R_d)C$:

زمان روشن ماندن مولتی‌ویبراتور : $T_R = \tau_R \ln \frac{V_{ON} - (V_{DD} + V_T - V_{ON})}{V_{ON} - (V_T + V_{ON})}$

$$\simeq \tau_R \ln\left(1 + \frac{V_{DD}}{V_T}\right)$$

معمولاً V_{DD} خیلی بیشتر از V_T است. بنابراین می‌توان گفت:

$T_R = 4\tau_R$

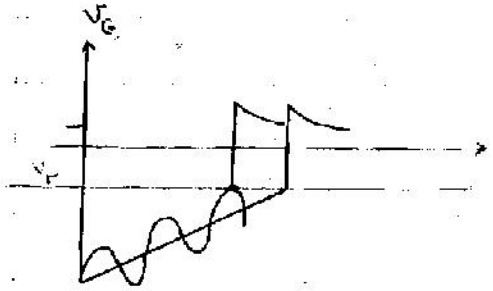
$$T_S = \tau_S \ln \frac{V_{DD} - (2V_{ON} + V_T - V_{DD})}{V_{DD} - V_T}$$

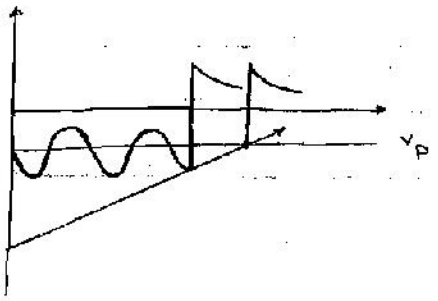
For V_{dd} = large $\longrightarrow T_S = \tau_S \ln 2$

مدارهای مولتی ویبراتورها :

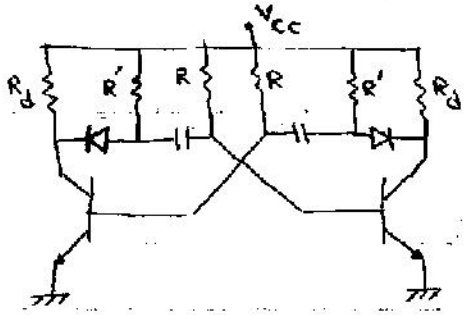
اگر سیگنال به تقویت‌کننده یا سیستم اعمال شود هر دو نیم سیکل را می‌توان جداگانه در نظر گرفت .

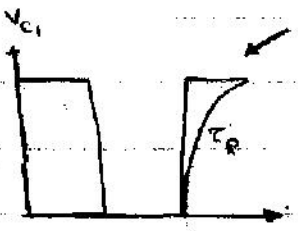
" " به یک " " " " نیم سیکل بعدی " " زمان بازگشت سریع داشت .





مدار برای داشتن پالسهای تیز در کلکتور:





با قرار دادن دیودها پالسهای تیز در کلکتور بوجود آورد .

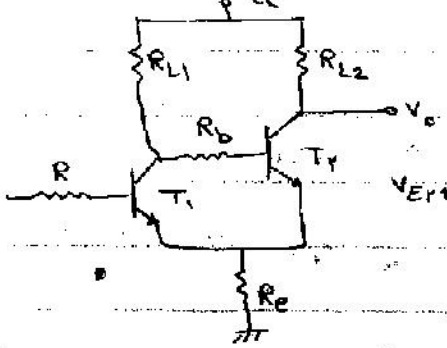
OFF ON

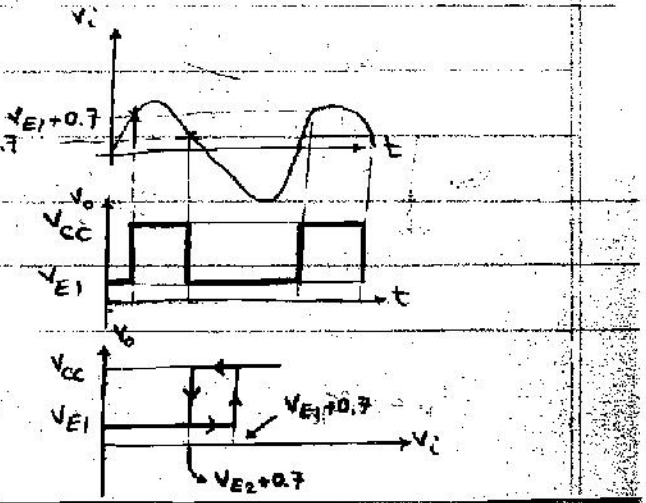
ON

OFF

اسمیت تریگر : Schmitt trigger

(کتاب الکترونیک)





$V_i = 0$ ابتدا $\longrightarrow$ T_1: OFF ، T_2: ON (اشباع)

$$V_o = \frac{V_{CC} R_e}{R_{L2} + R_e} = V_{E1}$$ ولتاژ زیر امیتر یک خروجی

if $V_i \geq V_{E1} + 0.7$ ⟶ T_1 ON می‌شود، T_2 OFF می‌شود

تغییرات کاهش I_{C2} بیشتر از افزایش I_{C1} است به دلیل بهره T_1، این به معنی شیب منفی است.

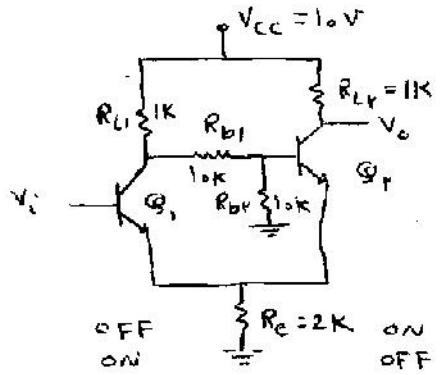
T_2 : OFF $V_o = V_{CC}$

T_1 : ON (اشباع) $V_{E2} = \dfrac{V_{CC} R_e}{R_{L1} + R_e}$ حالت دوم

if $R_{L1} > R_{L2}$ ⟶ $V_{E2} < V_{E1}$

کاربردها: مقایسه کننده، تبدیل شکل موجهای غیرمربعی به مربعی، برای استفاده در مدارهای دیجیتالی

اسمیت تریگر:



ابتدا V_i کم،

T_1 : OFF ، T_2 : ON

با صرفنظر از I_{B2}

$$V_{C1} = V_{CC} \frac{R_{b1} + R_{b2}}{R_e + R_{b1} + R_{b2}} = 9.53\ V$$

$$V_{b2} = 9.53 \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} = 4.76\ V$$

$$V_e = 4.76 - 0.7 = 4.1\ V \qquad I_{C2} = \frac{4.1}{R_e} = 2.05\ mA$$

$$V_{C2} = V_{CC} - I_{C2} R_{L2} = 7.95\ V$$

$$V_{CE2} = V_{C2} - V_e = 7.95 - 4.1 = 3.85\ V$$ پس T_2 در فعال است

وقتی $V_i \geq 0.5 + V_e = 4.6^V$ شد، T_1 شروع به هدایت کرده، ولتاژ رزیستانس T_1 را ON و T_2 را OFF می‌کند.

$V_i = 4.6^V$

$V_e = 4.6 - 0.7 = 3.9\ V$ ← بعد از هدایت

$$I_{C1} = I_e = \frac{V_e}{R_e} = 1.95\ mA$$

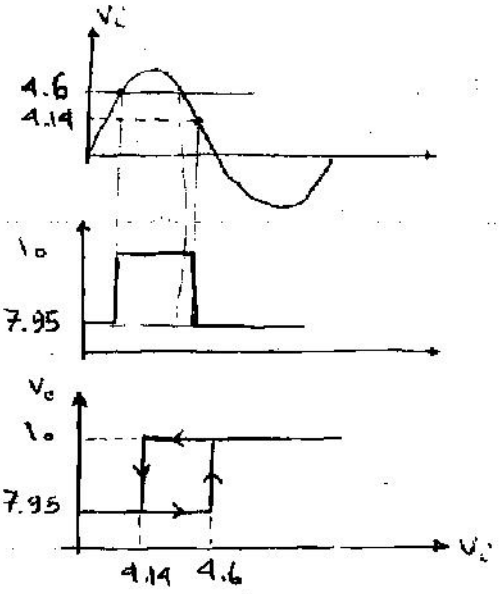
با نوشتن kcl : ⟵

$$\frac{V_{CC} - V_{C1}}{R_{L1}} = I_{C1} + \frac{V_{C1}}{20}$$

$$\frac{10 - V_{C1}}{1K} = 1.95 + \frac{V_{C1}}{20K} \longrightarrow V_{C1} = 7.66 \qquad V_{b1} = \frac{V_{C1}}{2} = 3.83\,V$$

$$V_{BE_2} = V_{b1} - V_e = -0.07 \longrightarrow T_2 : OFF$$

$$V_{C2} = 10\,V$$



تا وقتی V_i مثبت است خروجی روشن است باید ببینیم $V_{BE_2} = 0.5$ کی از دست می‌رود تا قطع شود.

$$I_{C_1} = \frac{V_i - 0.7}{2K}$$

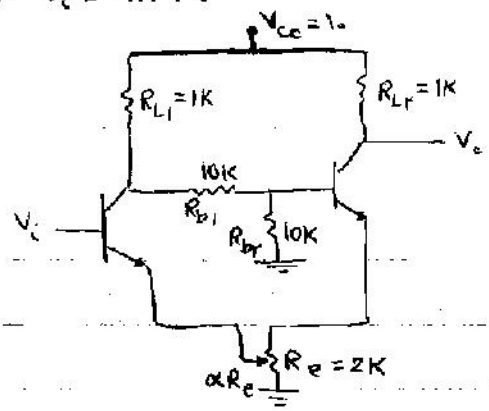
$$\frac{10 - V_{C1}}{1K} = \frac{V_i - 0.7}{2K} + \frac{V_{C1}}{20\,K}$$

$$\rightarrow V_{C1} = 9.86 - 0.48 V_i$$

$$V_{b2} = \frac{V_{C1}}{2} = 4.92 - 0.24\,V_i$$

$$V_{be_2} = V_{b2} - V_e = 5.62 - 1.24 V_i = 0.5$$

$$\longrightarrow V_i = 4.14\,V$$



$T_1 : A_1$ ثابت

$T_2 : A_2$ ثابت

$R_{b1}, R_{b2} : K_1$

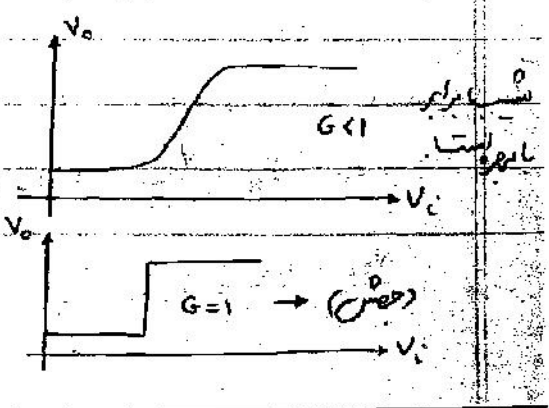
$R_e : K_2$ تقسیم‌کننده

$$A_p = \frac{A_1 A_2 K_1}{\underbrace{1 - A_1 A_2 K_1 K_2}_{G}}$$

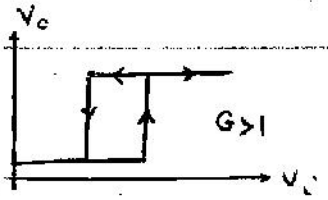
اگر $\alpha < 0.9 \longrightarrow G < 1$

$\alpha = 0.9 \longrightarrow G = 1$

$\alpha > 0.9 \longrightarrow G > 1$



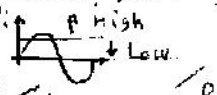
شیب برابر ۱ است.



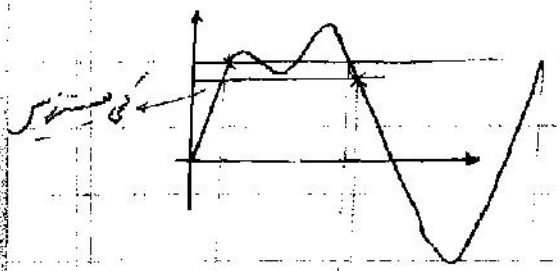
$R_E = \infty$ یک منبع جریان است

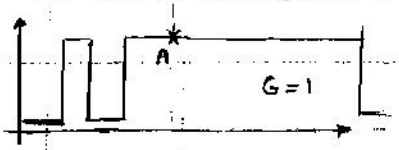
حلقه هیسترزیس بوجود می‌آید.

برای یک مقایسه کننده می‌توان از G=1 استفاده کرد که وقتی V_i از یک ولتاژ بالا شد High شود و در غیر اینصورت Low گردد.



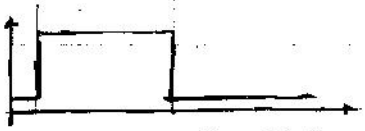
برای یک مقایسه کننده مقدار کمی پسماند نیاز داریم (G>1) تا مطمئن شویم که در هر بار $A_F=\infty$ داریم.



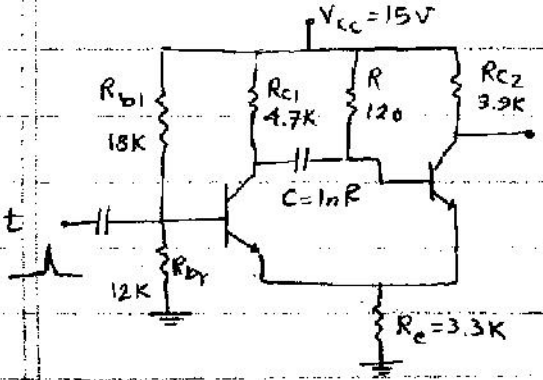


غلط

در نقطه A باید پائین آید



مونواستابل با کوپلاژ امیتر:



در حالت دائم T_1: OFF T_2: ON

برای T_2 فرض

OFF
ON

ON
OFF

$$V_{cc} = R_e(I_{c_2} + I_{b_2}) + V_{CE_{sat}} + R_{c_2} I_{c_2}$$

$$V_{cc} = R(I_{b_2} + V_{be} + R_e(I_{c_2} + I_{b_2})$$

$$\rightarrow \begin{cases} I_{c_2} = 2.04 \text{ mA} \\ I_{b_2} = 0.06 \text{ mA} \end{cases}$$

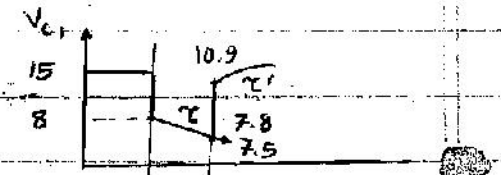
$$V_e = R_e(I_{c_2} + I_{b_2}) = 6.9\ V$$

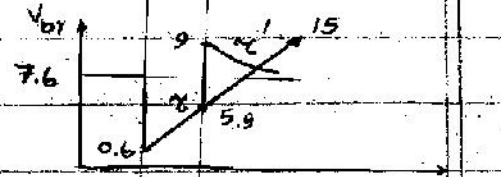
$$V_{b_2} = V_e + V_{be} = 7.6\ V$$

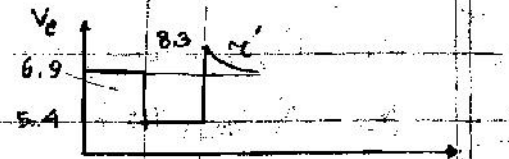
$$V_{c_2} = V_e + V_{CEsat} = 7\ V$$

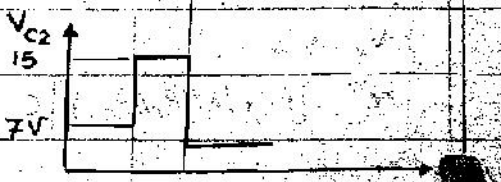
$$V_{b_1} = V_{cc}\frac{R_{b_2}}{R_{b_1}+R_{b_2}} = 6V$$

$V_{b_1} < V_e \longrightarrow T_1$: OFF









$V_{q(0^-)} = 15 - 7.6 = 7.4\ V$

بعد از اعمال تریگر فرض می‌کنیم T_1 وصل می‌شود.

$$V_e = 6 - \underbrace{0.6}_{V_{BE}} = 5.4\ V$$

$$I_{C_1} \simeq I_e = \frac{V_e}{R_e} = 1.6\ mA$$

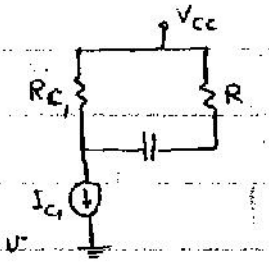
بازنویسی KCL

$$\frac{V_{cc} - V_{c_1}}{4.7} + \frac{V_{cc} - V_{q(0^+)} - V_{c_1}}{120K} = \underbrace{I_{C_1}}_{1.6mA} \longrightarrow$$

$$\longrightarrow V_{c_1} = 8\ V$$

$V_{ce_1} = 8 - 5.4 = 2.6\ V \longrightarrow T_1$: فعال

$V_{be_2} = 0.6 - 5.4 = -4.8 \longrightarrow T_2$: OFF



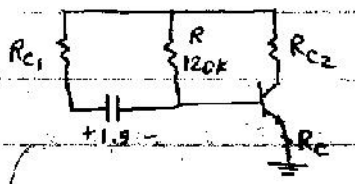
$\tau = (R + R_{C_1})C$

$V_{b_2} \longrightarrow 15^V$ ، $V_{c_1} \longrightarrow V_{cc} - R_{c_1} I_{C_1} = 7.5\ V$

تغییر وضعیت وقتی میشر می‌دهد که V_{be_2} بزرگتر یا مساوی 0.5 گردد.

$V_{b_2} = 0.5 + 5.4 = 5.9$ ← تغییر وضعیت

$$T = \tau \ln \frac{V_{ss} - V_i}{V_{ss} - V_p} = 57.2\ \mu sec$$ بازگشت



برای محاسبه مقاومت دقیق باید سه KVL نوشته شود و با صرفنظر از جریان شاخه R جریان را بدست آورد:

$$V_{cc} = R_{c_2} i_c + V_{ce_{sat}} + R_e (i_c + i_{b_2})$$

$$V_{cc} = R_{c_1} i_{b_2} + 1.9 + V_{be} + R_e (i_{c_2} + i_{b_2})$$

$i_{c_2} = 1.67\ mA$ ، $i_{b_2} = 0.86\ mA$ ← $V_{c_1} = 10.9$ ، $V_{b_2} = 9\ V$

$V_e = 8.3$

$\tau' = [R_c + (R \| R_e \| R_{c_2})]C$

با توجه به اشباع بودن ترانزیستور و امکان کوتاه در نظر گرفتن شاخه

ثابت زمانی را بدست می‌آوریم.

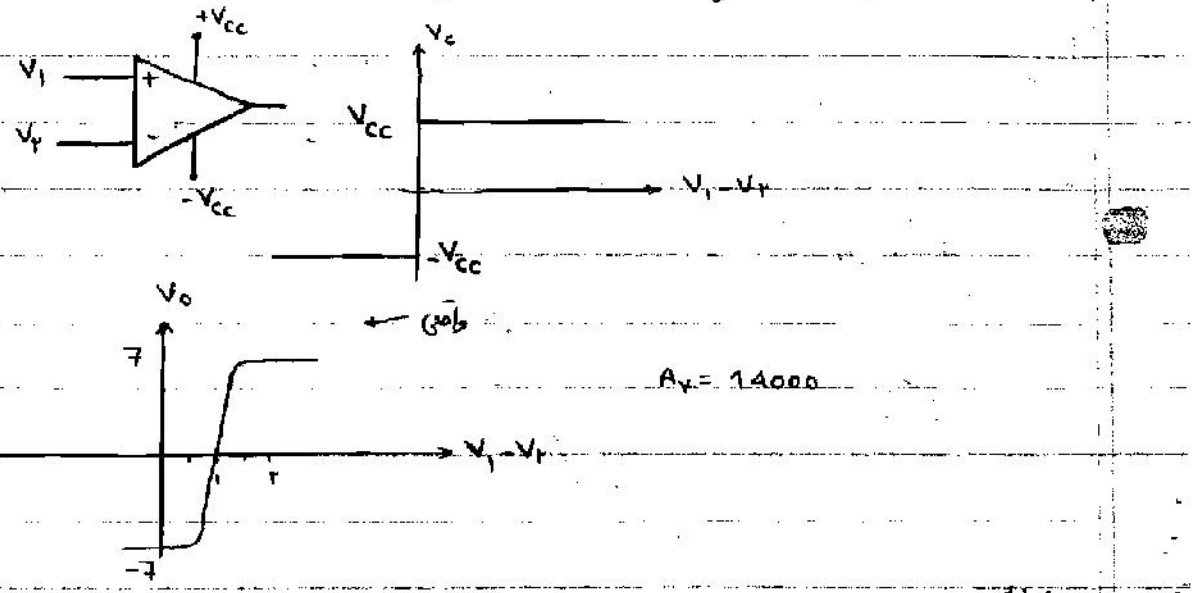
اگر ترانزیستور قطع فرض شود $\tau' = (R_c + R \| \frac{R_e}{1+\beta})C$

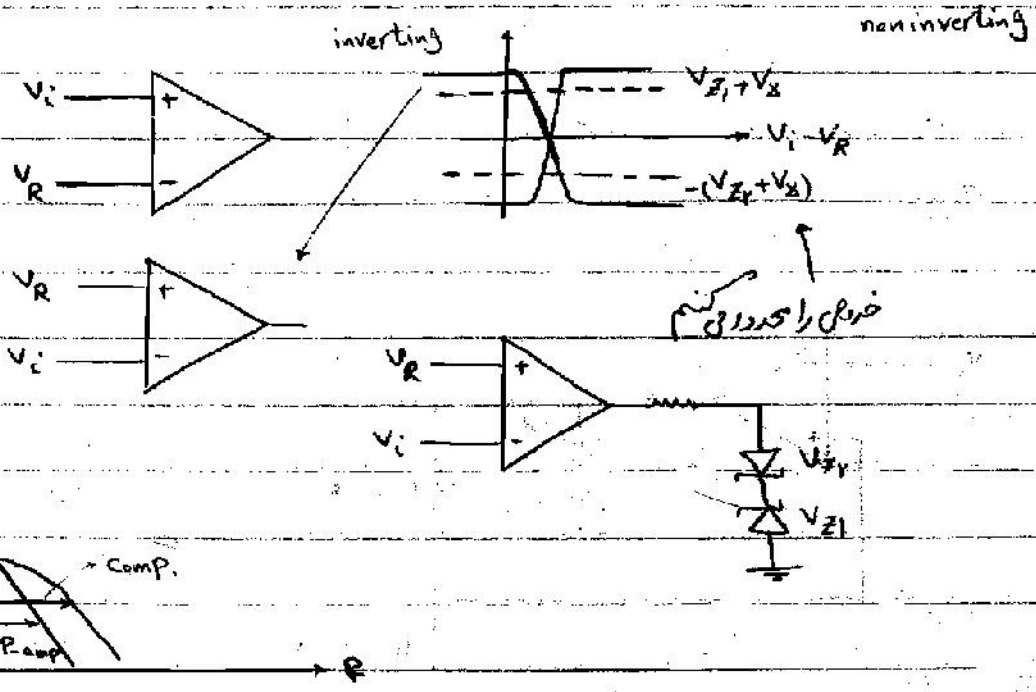
شرط کار ← $V_{b_1} < V_e + V_{be}$

تا این شرط برقرار باشد موج تبدیل به پالس ناپایدار می‌شود.

کاربرد تقویت کننده عملیاتی در تکنیک پالس: (millman) (دکتر عتمدی)

۱- مقایسه کننده comparator ایده‌آل

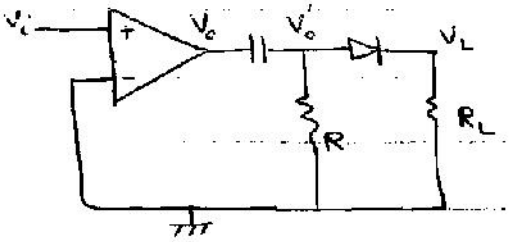


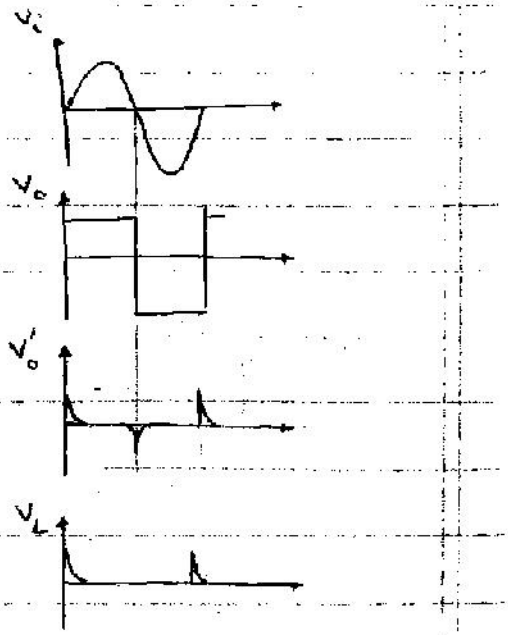


با اضافه کردن یک خازن به op amp یک قطب غالب ایجاد کرده و بهای بازده‌ی حلقه و پایداری را افزایش می‌دهیم

این در مقایسه کننده اضافه کردن خازن ← S.R ↑ ← افزایش بهای باند ← مقایسه کننده لزومی ندارد

V_R باید از ولتاژ V_{CM} کمتر باشد.

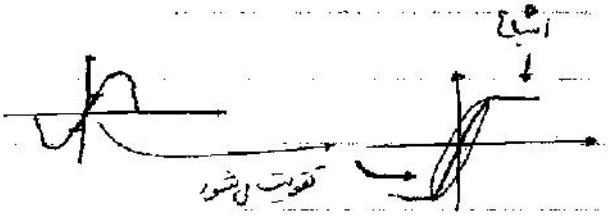




کاربرد → Zero crossing Detector

ZCD

یک مدار ساده برای تخمین فرکانس یک موج متوسط (فرکانس متوسط)

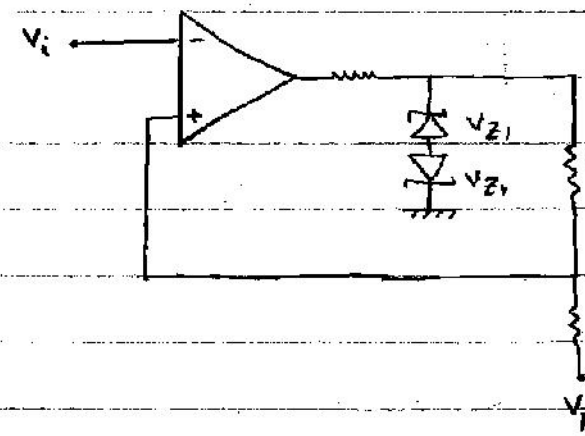


اگر لبه موج مربعی خروجی تمیز نخواهد بود (دچار نویز)

ما یک فیلتر به مقایسه کننده اضافه می‌کنیم تا لبه تمیزتر شود

Schmitt trigger:

با مقایسه کننده معمولی لبه‌ها پالس تمیز بوده و اگر فرکانس موج ورودی خیلی کم باشد مدتی طول می‌کشد تا تغییر حالت ببیند همچنین در مقایسه کننده معمول اگر ورودی دارای نویز باشد در خروجی تغییر حالت ناخواسته رخ می‌دهد.



$$A_f = \frac{A}{1+\beta A}$$

$\because \beta A = -1 \rightarrow A_f = \infty$

$A = -14000$

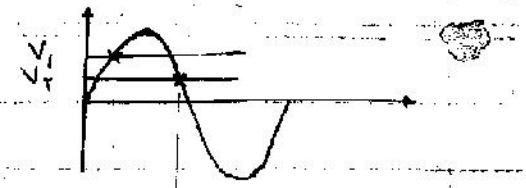
$$\beta = \frac{R_2}{R_1+R_2} = \frac{1}{101}$$

$\beta A = -140$

۳۴

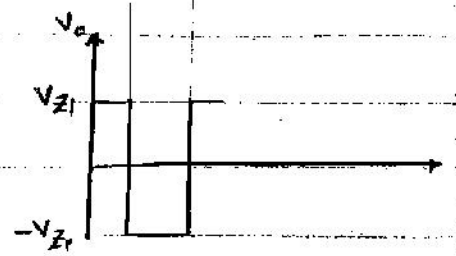
اگر $v_i < v^+ \longrightarrow v_o = V_{Z1}$

$$v^+ = v_R \frac{R_1}{R_1+R_2} + V_{Z1} \frac{R_2}{R_1+R_2} \equiv V_1$$



اگر $v_i \geq V_1 \longrightarrow v_o = -V_{Z2}$

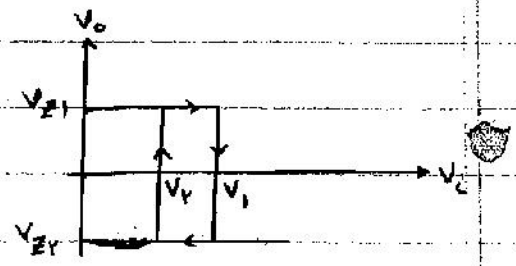
$$v^+ = v_R \frac{R_1}{R_1+R_2} - V_{Z2} \frac{R_2}{R_1+R_2} \equiv V_2$$



اگر $v_i < V_2 \longrightarrow v_o = V_{Z1}$

$V_{Z1} = V_{Z2} = 7V$

$V_1 = 1.059 \quad V_2 = 0.921 \quad V_H = V_1 - V_2 = 0.138$

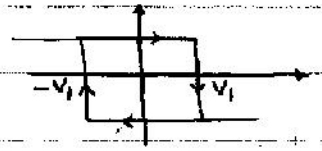


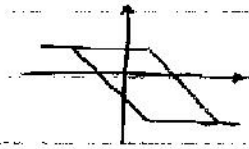
اگر $V_{Z1} = -V_{Z2}$

$V_R = 0$

$V_1 = -V_2 = V_Z \frac{R_2}{R_1+R_2}$

حلقه متقارن خواهیم داشت



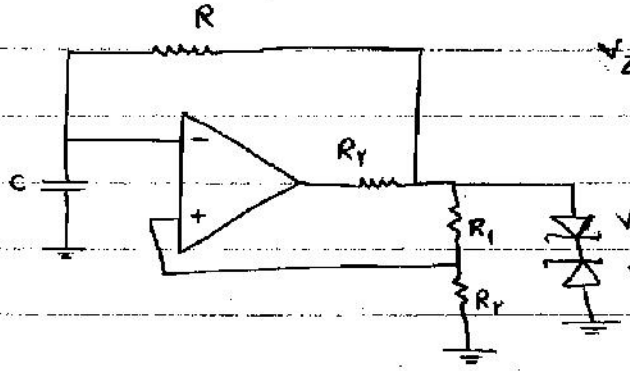


در عمل داریم ← این تغییر شکل به علت slew Rate می باشد.

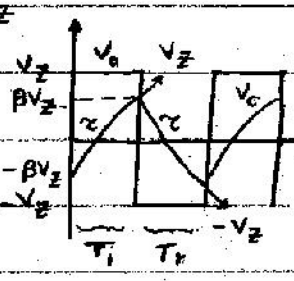
slew Rate علل کوچک بودن شیب است

آستابل

مولد موج مربعی : square wave generator



$V_{Z1} = V_{Z2} = V_Z$



اگر $v_c < v^+ \longrightarrow v_o = V_Z \quad v^+ = V_2 \frac{R_2}{R_1+R_2} = \beta V_Z$

خازن با $\tau = RC$ به سمت V_Z شارژ می شود وقتی $v_c \geq \beta V_Z$ ←

$v_c \geq \beta V_Z \longrightarrow V_o = -V_Z \qquad v^+ = -V_Z \frac{R_2}{R_1+R_2} = -\beta V_Z$

خازن با $\tau = RC$ به سمت $-V_Z$ شارژ می‌شود. وقتی $v_c \ll -\beta V_Z$ شد مجدداً تغییر وضعیت پیش می‌آید.

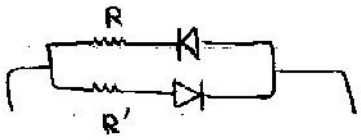
به علت تقارن $T_1 = T_2$ است. ... زمان مستقل از V_Z است.

$$T_1 = T_2 = RC \ln \frac{1+\beta}{1-\beta}$$

با op-amp معمول این مدار در محدوده ۱۰Hz تا ۱۰KHz مفید است. (slew Rate اپ امپ فرکانس بالای مدار را محدود می‌کند)

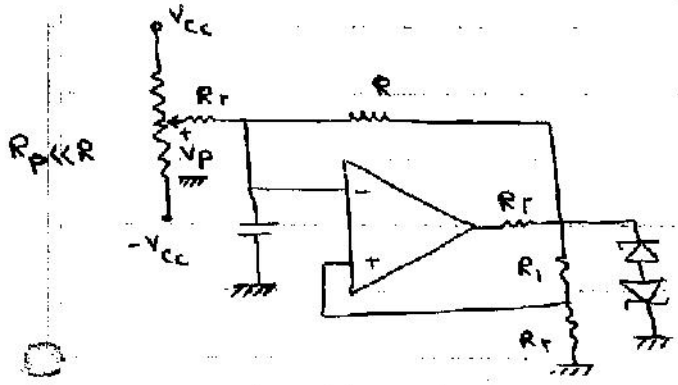
به علت اینست که drift سبب محدود شدن فرکانس پایین می‌شود.

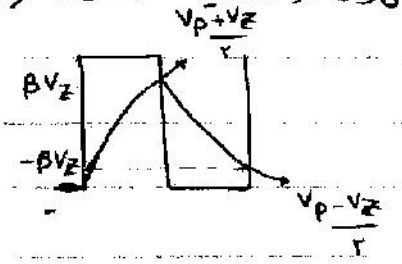
اصطلاحات تغییر کردن این مدار:



اگر به جای مقاومت R مدار فوق ← بلافاصله تقسیم ۲ مابین زمان‌های شارژ و دشارژ خازن مقاومت خواهد شد.

یا می‌توان از مدار زیر استفاده کرد ←

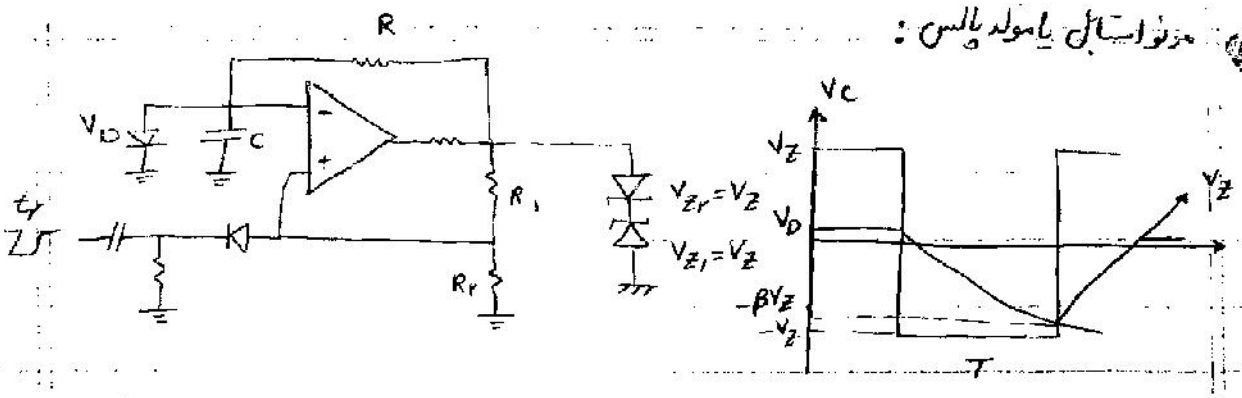




$$V_{css}^{+} = \frac{V_P}{2} + \frac{V_Z}{2} = \frac{V_P+V_Z}{2} \qquad \tau = \frac{RC}{2}$$

$$V_{css}^{-} = \frac{V_P}{2} - \frac{V_Z}{2} = \frac{V_P-V_Z}{2}$$

مولتی استابل یا مولد پالس :



اگر $V_C = V_D < \beta V_Z = V^+ \longrightarrow V_o = V_Z$ ، $V^+ = \beta V_Z$

$V_o = -V_Z \longleftarrow$ تغییر وضعیت پیش می آید $\longleftarrow |t_{r1}| > \beta V_Z - V_D$: ترانزیستور باید بیشتر از $|\beta V_Z - V_D|$ باشد

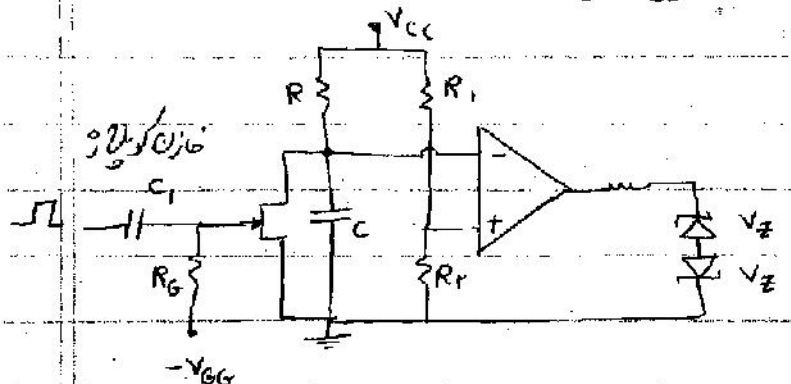
خازن با ثابت زمانی R_C به سمت V_Z - شارژ می شود. وقتی به $-\beta V_Z$ رسید تغییر وضعیت پیش می آید و خازن با R_C به سمت V_Z شارژ می شود.

$$T = R_C \ln \frac{1+\frac{V_D}{V_Z}}{1-\beta} \qquad \text{اگر } V_D \ll V_Z$$

$$T = R_C \ln \frac{1}{1-\beta} \quad \text{، اگر } \beta = 1/2 \longrightarrow T = R_C \ln 2 = .69\, R_C$$

ترانزیستور بعد وقتی اعمال می شود که به وضعیت اشباع رسیده باشد. اگر زودتر اعمال کنیم پالس داریم ولی زمان دیگر آنیست (ثابت نیست) و پالس مورد انتظار ما زمان مساوی است.

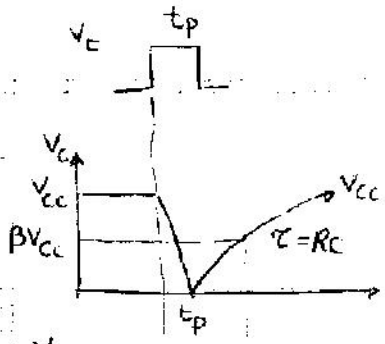
مولتی با قابلیت تریگر مجدد : retriggrable mono



$-V_{GG}$ ، دیود را به حالت قطع می برد. بنابراین

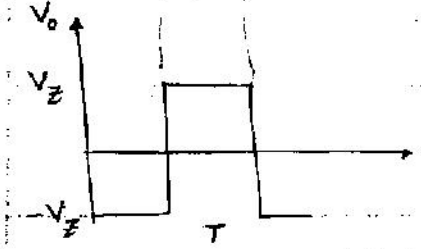
از اعمال تریگر خازن با V_{CC} شارژ شده است

* فیدبک نداریم . با اعمال تریگر FET روشن و خازن سریعاً دشارژ می‌شود


V_c
t_p
V_{cc}
βV_{cc}
$\tau = RC$
t_p

سازمان راکم می‌کنیم

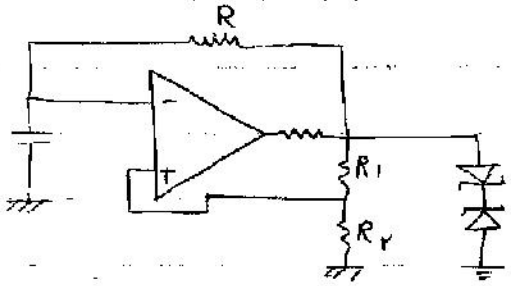
$$T = RC\ln\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) + t_p$$

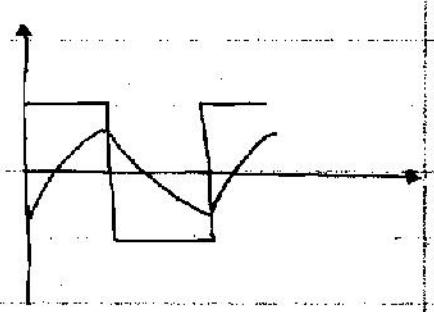


به این دلیل قابل بازگشت می‌گوییم که هرگاه تریگر اعمال کنیم

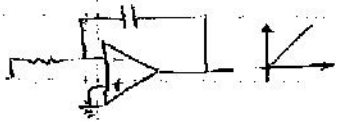
سریع دشارژ می‌شود و دوباره شارژ می‌شود (با مدار) پالس حتماً نباید از صفر شروع شود.

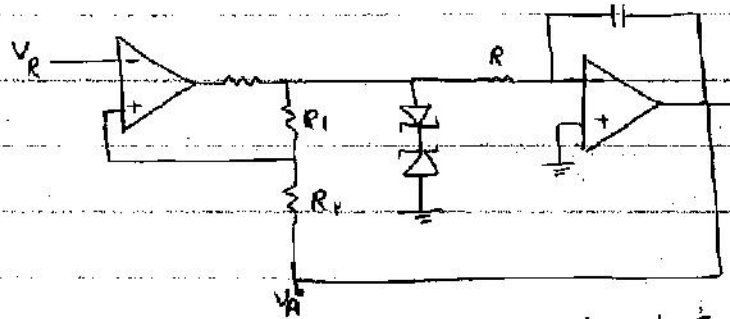
مولد موج مثلثی :





اگر خازن را با چشمه تا بسا شارژ کنیم شکل موج مثلثی می‌شود یا با انتگرال می‌گیریم :





c. مزیت خازنی است که

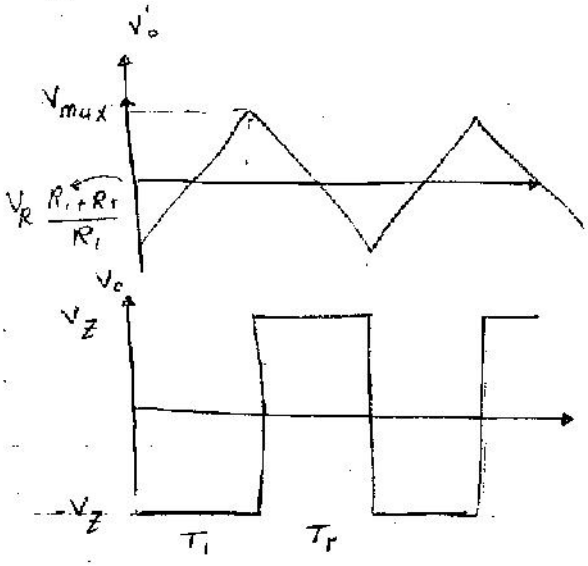
قبلاً به V_R متصل بود

ولی حالا بین دو سر آن

(قبلاً خازن داریم یک سرش متصل شده است)

خازن را به سر مثبت می‌بندیم تا جبران کرده باشیم.

۲۳



اگر فرض $V^+ < V_Z \longrightarrow V_o = -V_Z$

$$V^+ = -V_Z \frac{R_2}{R_1+R_2} + V_o' \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

اگر $V^+ = V_R \longrightarrow V_o = V_Z$

$$V_R = -V_Z \frac{R_2}{R_1+R_2} + V_{max} \frac{R_1}{R_1+R_2} \longrightarrow$$

$$V_{max} = V_R \frac{R_1+R_2}{R_1} + V_Z \frac{R_2}{R_1}$$

با تغییر وضعیت پیش آمده:

$$V^+ = V_Z \frac{R_2}{R_1+R_2} + V_o' \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

یعنی حسش داریم چون V_o' حسش ندارد ولی V_o حسش دارد پس V^+ حسش دارد. با $V^+ = V_R$ تغییر وضعیت

پیش می آید

$$V_R = V_Z \frac{R_2}{R_1+R_2} + V_{min} \frac{R_1}{R_1+R_2} \longrightarrow V_{min} = V_R \frac{R_1+R_2}{R_1} - V_Z \frac{R_2}{R_1}$$

$$V_{max} - V_{min} = 2V_Z \frac{R_2}{R_1} \quad , \quad V_{av} = \frac{V_{max}+V_{min}}{2} = V_R \frac{R_1+R_2}{R_1}$$

اگر $V_R = 0 \longrightarrow V_{max} = -V_{min} = V_Z \frac{R_2}{R_1}$

محدوده با تغییر نسبت $\frac{R_2}{R_1}$ داشته و با V_R مقدار متوسط موج مثلثی تغییر داده می‌شود.

زمان تناوب:

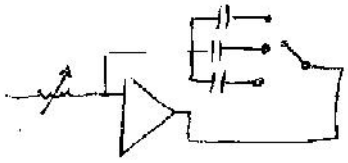
$$I = C \frac{dV}{dt}$$

$$\frac{V_Z}{R} = C \frac{2V_Z \frac{R_2}{R_1}}{T_1} \longrightarrow T_1 = T_2 = \frac{2R_2RC}{R_1} \longrightarrow T = \frac{4R_2RC}{R_1}$$

Pulse repetition Freq. فرکانس تکرار پالس $= PRF = \frac{R_1}{4R_2RC}$

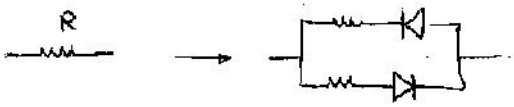
← یعنی در یک دوره تناوب چند بار تکرار می‌شود.

با تغییر R_3 و C می‌توان PRF را تغییر داد تغییر پیوسته با R و تغییر پله‌ای با C صورت می‌گیرد.

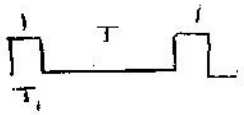


S.R ما را از فرکانس محدود می‌کند و ریزپتا و آفست مینیمم را تعیین می‌کند.

برای اینکه $T_1 \neq T_2$ چه کنیم:



(δ) : duty cycle modulation



مدت زمانی که پالس وجود دارد به کل دوره تناوب $\delta = \frac{T_1}{T} \xrightarrow[\text{شمارش}]{\text{برای}} \%50$

یک راه ساختن $T_1 \neq T_2$ استفاده از شکل دیود و مقاومت است. راه دیگر استفاده از ولتاژ V_s با در سر

مثبت انتگرالتور است. $i_2 = \frac{V_z - V_s}{R}$: در فاصله T_2 و $i_1 = \frac{-V_z - V_s}{R}$: در فاصله T_1

جریان شارژ و دشارژ تغییر کرده پس زمانها تغییر می‌کند ولی V_{max} و V_{min} ثابت است.

بایستی آوردن T_1 و T_2 :

$$PRF = \frac{R_1}{\varepsilon R_4 R C}\left[1 - \left(\frac{V_s}{V_z}\right)^2\right]$$

برای $V_s \neq 0$ ، PRF ثابت می‌باشد.

$$\delta = \frac{T_1}{T} = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{V_s}{V_z}\right)$$

$V_s = V_z \longrightarrow \delta =$

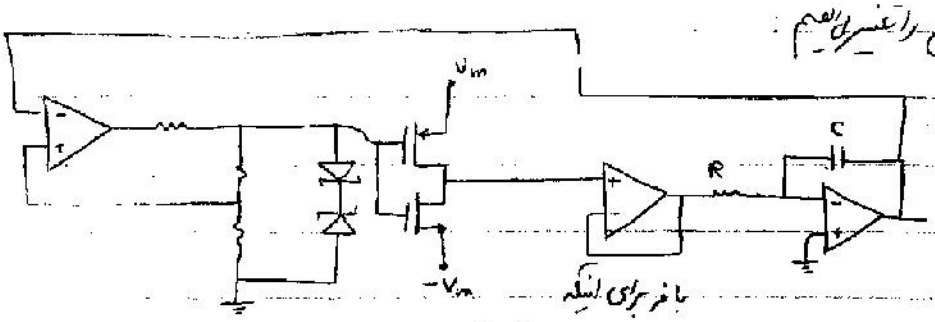
$V_s = 0 \longrightarrow \delta = 1/4$

$V_s = -V_z \longrightarrow \delta = 1$

VCO یا Voltage Control osc.

یعنی اسیلاتوری که ولتاژ آن با فرکانس عوض می‌شود. مدار قبل ولتاژ ، فرکانس را تغییر می‌داد اما غیرخطی است (توان بر)

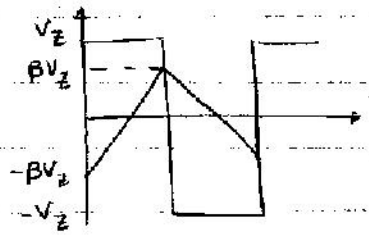
مدار قبل را تغییر می‌دهیم:



جریان روی V_m تاثیر نگذارد.

اگر ① V_z باشد باعث می‌شود که V_m عوض کند و ② ولتاژ با $-V_m$ شارژ می‌شود ← پس لازم است به سرعت عمل شود

(کلید بجای V_z با $\pm V_m$ شارژ)

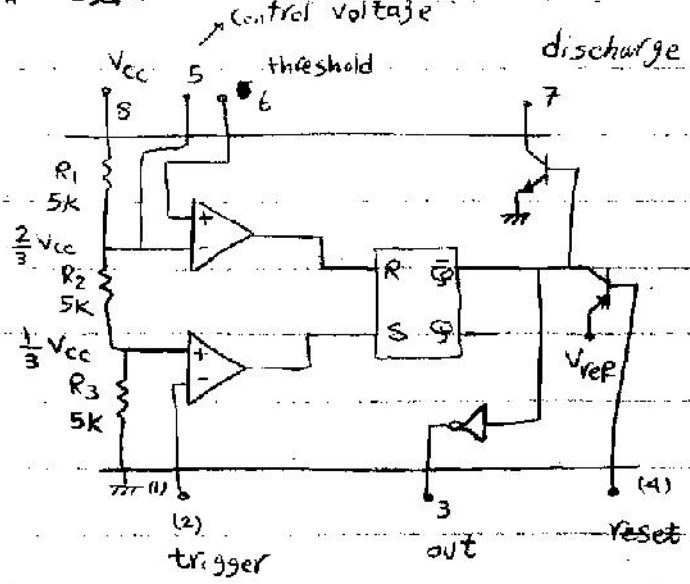


$$\frac{V_m}{R} = C\,\frac{\beta V_z - (-\beta V_z)}{T_1} \rightarrow T_1 = T_2 \;,\; T = 2T_1$$

رابطه T به V_m خطی است.

$$PRF = \frac{1}{T} = \frac{R_1 + R_2}{4R_1RC}\,\frac{V_m}{V_z}$$

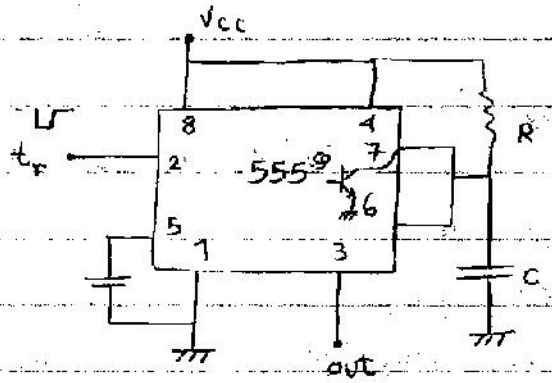
تایمر 555 : Bell ★ محمدی



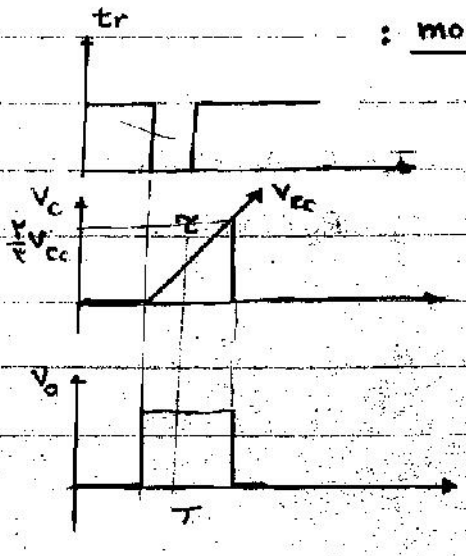
در کاربردهای مختلف زمانی مانند مولتی ویبراتور، مولد موج مثلثی و غیره کاربرد دارد.
برای نخستین بار در سال 1973 ساخته شد. در دو نوع TTL و CMOS (تغذیه 5-18 V) با خروجی
یک سینک جریان کم برای خروجی ایجاد می‌کند که می‌تواند 200 mA را بکشد
در CMOS همچنین برای تطابق به خانواده TTL کاربرد دارد.

R	S	Q_{n+1}	$\bar{Q}_{n+1}$
0	0	Q_n	$\bar{Q}_n$
0	1	1	0
1	0	0	1

از پایه S (ریست کننده) وقتی استفاده نمی‌شود
که بخواهیم سطوح تغییر را تغییر دهیم (بصورت
عدم استفاده برای جلوگیری از نویز باید آنرا
با یک خازن 0.01 μF زمین کنیم



mono :



وضعیت پایدار $Q=1$, $\bar{Q}=0$ $R=S=$

با اعمال تریگر $R=1$, $S=$, $Q=0$, $\bar{Q}=1$

ترانزیستور T قطع شده و خازن با $\tau=RC$ شارژ می‌شود
تا V_{cc}

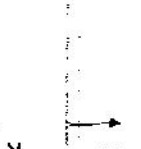
تا زمانی که ورودی پالس تریگر $R=S=0$ تغییری در خروجی داده نمی‌شود

اگر $V_c > \frac{2}{3}V_{cc}$ ، $R=1$ ، $S=0$ پس $Q=0$ ، $\bar{Q}=1$

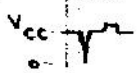
ترانزیستور T هدایت کرده و خازن از طریق آن دشارژ می‌شود. با شارژ خازن $V_c < \frac{2}{3}V_{cc}$ ، $S=R=0$ وضعیت ثابت می‌ماند.

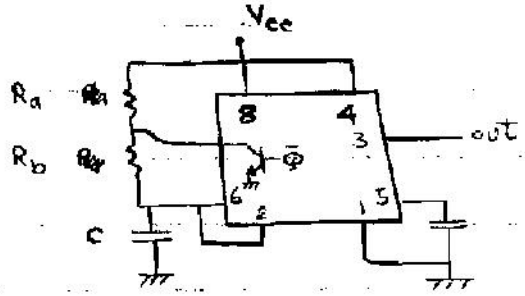
$$T = RC \ln \frac{V_{cc}}{V_{cc} - \frac{2}{3}V_{cc}} = RC \ln 3 = 1.1RC$$

آشنایی در زمان T اگر تریگر دیگری وارد شود اثری ندارد.



برای خاتمه پالس می‌توان از پایه Reset استفاده کرد.



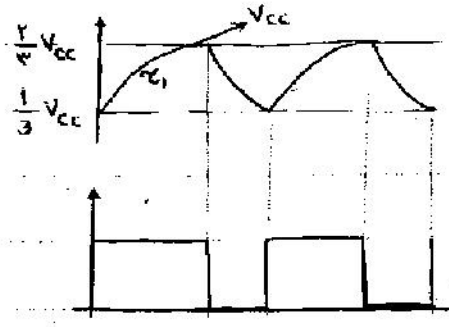


: Astable

V_c	R	S	Q	$\bar{Q}$
$< \frac{1}{3}V_{cc}$	0	1	1	0

• خازن C با $\tau_1 = C(R_a+R_b)$ به سمت V_{cc} شارژ می‌شود.

$\geq \frac{1}{3}V_{cc}$	0	0	1	0
$\geq \frac{2}{3}V_{cc}$	1	0	0	1



ترانزیستور T هدایت کرده و خازن با $\tau_2 = R_bC$ به سمت 0 دشارژ می‌شود.

$< \frac{2}{3}V_{cc}$	0	0	1	0
$< \frac{1}{3}V_{cc}$	0	1	1	0

خازن با τ_1 شارژ می‌شود.

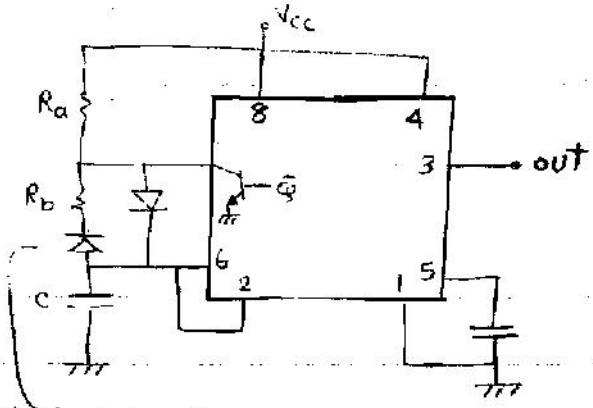
$> \frac{1}{3}V_{cc}$	0	0	1	0

$$T_1 = (R_a+R_b)C \ln 2 = 0.69(R_a+R_b)C$$

$$T_2 = R_bC \ln 2 = 0.69 R_bC$$

درایو موتور می‌توان به duty cycle رسید.

$= 50\%$



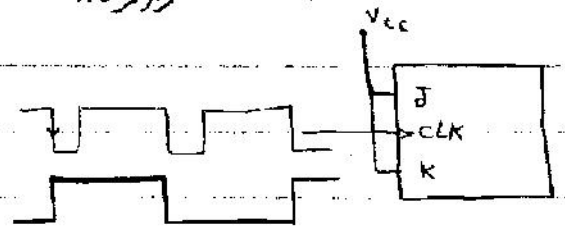
دیود اول برای شارژ شدن از شاخه مقاومت عبور کرده است.

$\tau_1 = R_a C$

$\tau_2 = R_b C$

اگر $R_a = R_b$

$T_1 = T_2 = 0.69 R_a C$



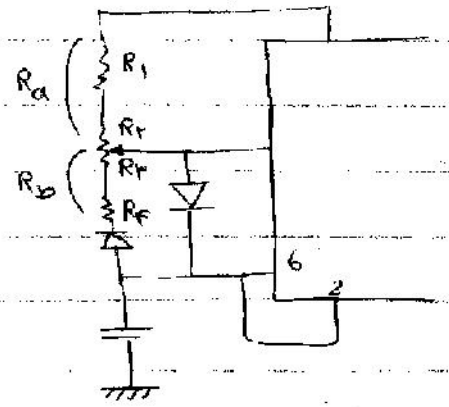
با استفاده از قلب فلاپ JK وی توان یک δ با R_b متغیر داشت

مشکل این تغییر δ با تغییر PRF همراه است

$\delta = \frac{T_1}{T_1 + T_2}$

برای تغییر δ بدون تغییر PRF از مدار زیر می توان استفاده کرد

با استفاده از فلیپ فلاپ JK وی توان یک δ ۵۰٪ رسید از آنجایی که خروجی نصف شده است



$T_1 = 0.69 (R_1 + R_2) C$

$T_2 = 0.69 (R_3 + R_4) C$

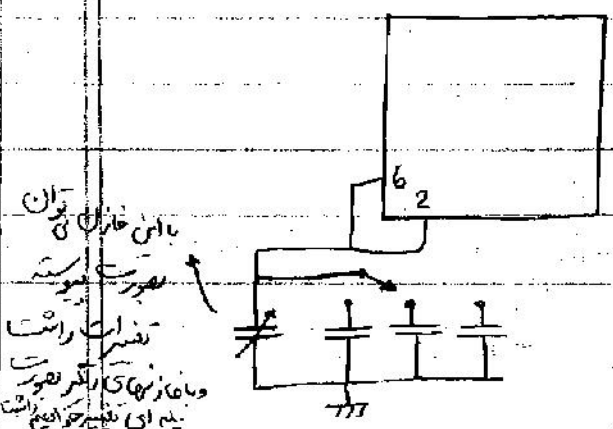
$T = T_1 + T_2 = 0.69 (R_1 + R_2 + R_3 + R_4) C$

PRF ثابت

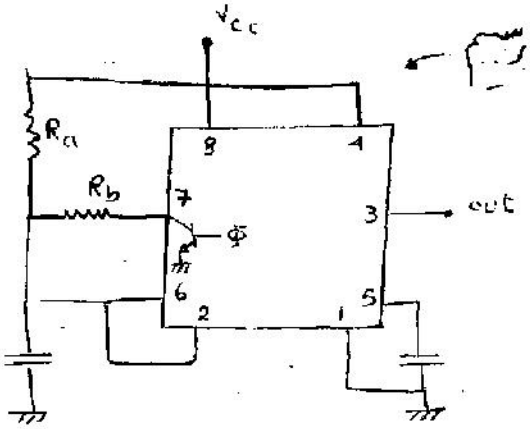
بدون تغییر PRF ، δ تغییر می کند

چگونه می توان ضمن حفظ δ ، PRF را تغییر داد.

با تغییر خازن این عمل صورت می گیرد.

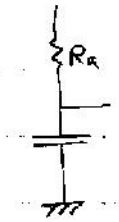


با این خازن می توان بصورت پیوسته تغییرات داشت ولی خازنهای دیگر بصورت پله ای تغییر خواهیم داشت



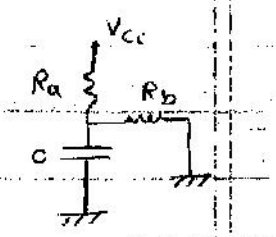
مدار دیگری که می‌خواهیم duty cycle آن بیشتر از ۵۰٪ باشد

شارژ خازن



$\tau_1 = R_a C$

$T_1 = 0.69 R_a C$



$\tau_2 = (R_a \| R_b) C$

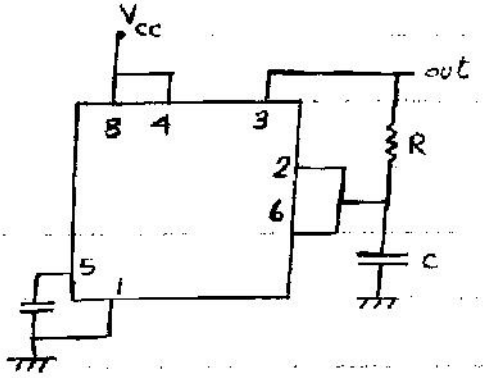
$V_{ss} = V_{cc} \dfrac{R_b}{R_a + R_b}$

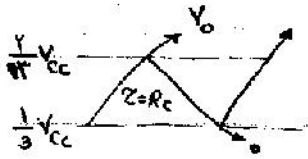
$T_2 = [R_a \| R_b]\, C \ln \dfrac{R_b - 2R_a}{2R_b - R_a}$

شرط کار $R_b < \dfrac{R_a}{2}$

برای این که ولتاژ خازن به $\frac{1}{3}V_{cc}$ برای تغییر وضعیت برسد.

مثال:





اگر $V_o = V_{cc}$ باشد duty cycle برابر با ۵۰٪ است.

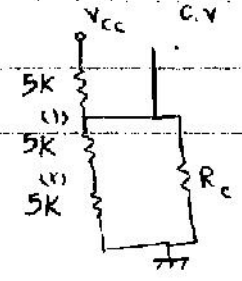
$V_o = V_{cc} \longrightarrow \delta = 50\%$

$V_o = V_{cc} - 1V$ ← حدوداً $\longrightarrow \delta \neq 50\%$

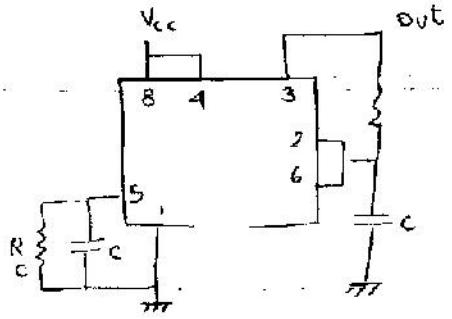
در اینجا از پایه کنترل ولتاژ نمی‌توان استفاده شود تا $\delta = 50\%$ گردد.

اگر سطوح مقایسه بجای $\frac{2}{3}V_{cc}$ و $\frac{1}{3}V_{cc}$ ← $\frac{1}{2}V_o$ و $\frac{1}{2}V_o$ باشد $\delta = 50\%$ خواهد شد

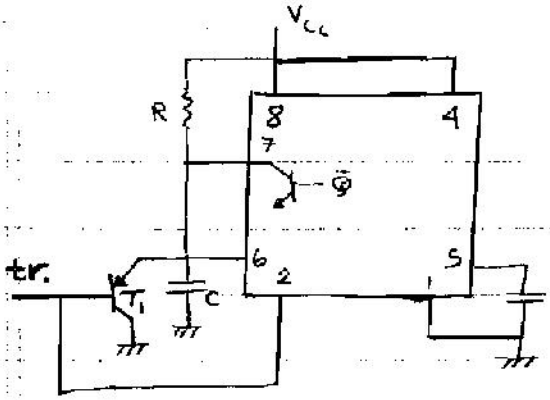
پایه کنترل ولتاژ C.V

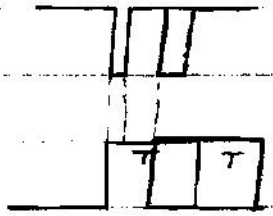


چه شاوستی R_c قرار گیرد تا نقاط (۱) و (۲) ولتاژ شان از $\frac{2}{3}V_{cc}$ و $\frac{1}{3}V_{cc}$ به $\frac{2}{3}V_o$ و $\frac{1}{3}V_o$ برسد



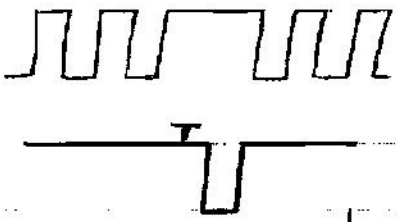
: retriggerable mono



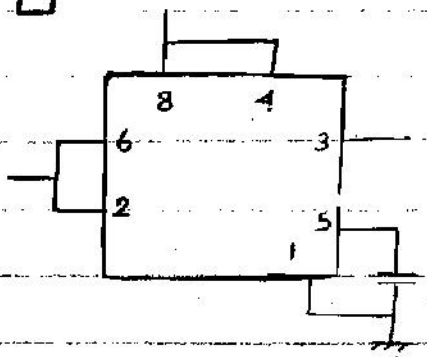


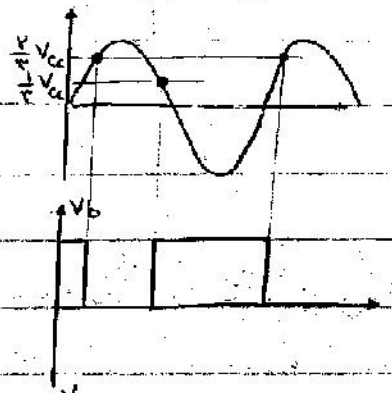
زمان T از زمان اعمال تریگر شروع می شود.

استفاده از پالس مقعود



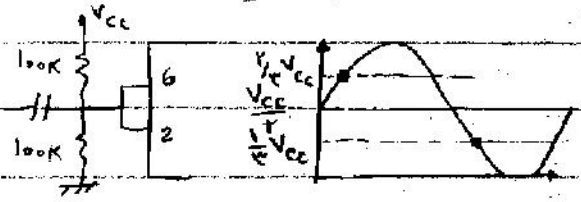
اهمیت تریگر:

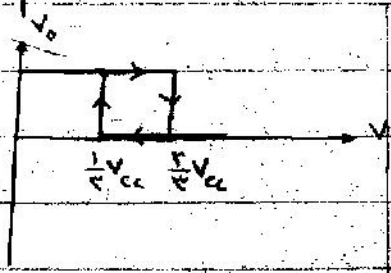




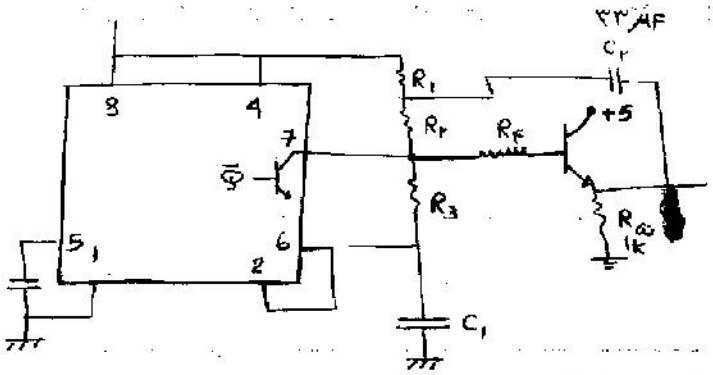
یک راه تغییر حلقه هیستریزیس یا به کنترل ولتاژ است.

" " تریگر تقسیم ولتاژ است بصورت





مولد موج دندانه اره ای :



مقاومت R_3 برای کنترل شیب در حالت دشارژ است.

$R_1 = R_2$

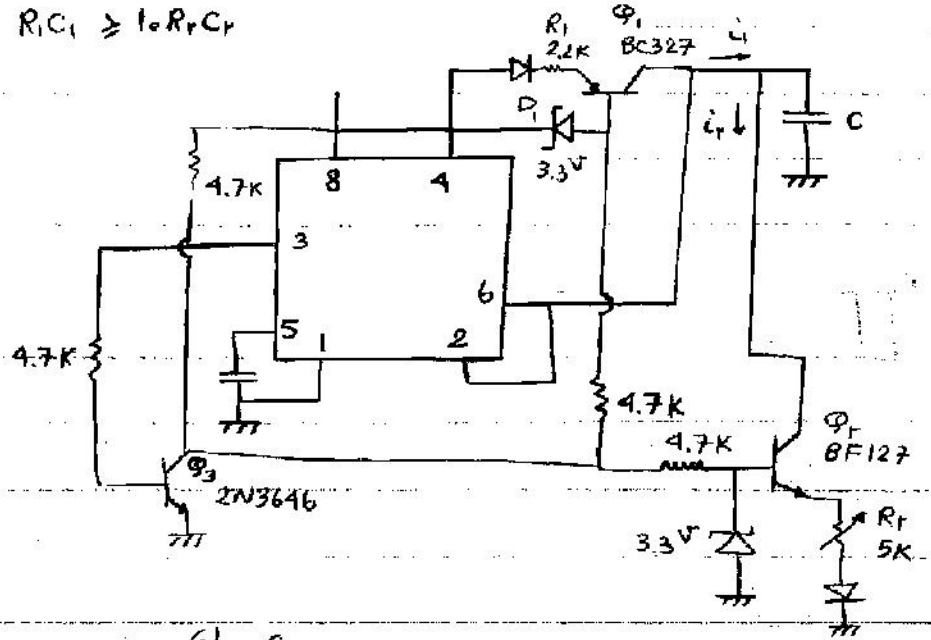
$R_2 \geq 10 R_5$ ——— با این شرایط

$R_3 C_1 \geq 5\mu sec$

$R_1 C_1 \geq 10 R_2 C_2$

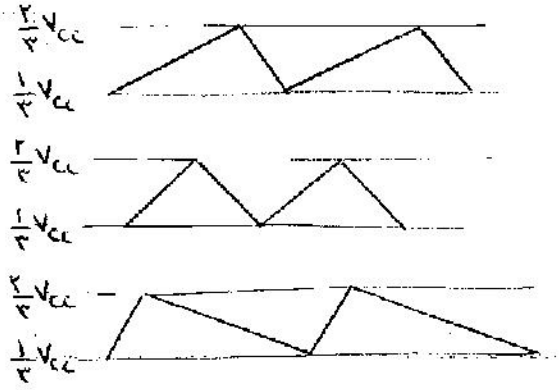
$$PRF = \frac{1}{(0.75(R_1+R_2) + 0.69 R_3) C_1}$$

مولد موج مثلثی :



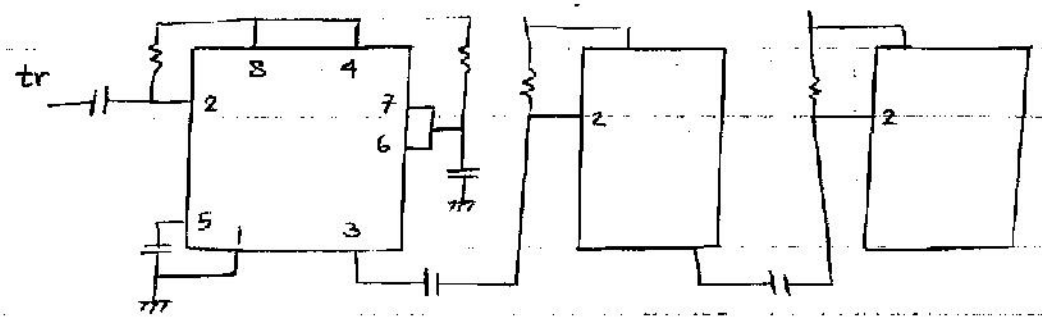
وقتی خروجی H است Q_3 روشن و Q_1 روشن و Q_2 قطع است و خازن C با جریان ثابت i_2 پر می شود. بنابراین D_1 در بایاس شکست قرار می گیرد. ترانزیستور Q_1 به عنوان منبع جریان ثابت i_1 برای شارژ C وارد عمل می شود. وقتی ولتاژ خازن به $\frac{2}{3}V_{cc}$ رسید خروجی L می گردد، Q_3 قطع و Q_2 به عنوان منبع i_2 برای دشارژ خازن C وارد عمل می شود تا از $\frac{V}{3}V_{cc}$ برسد و مجددا خروجی H می گردد.

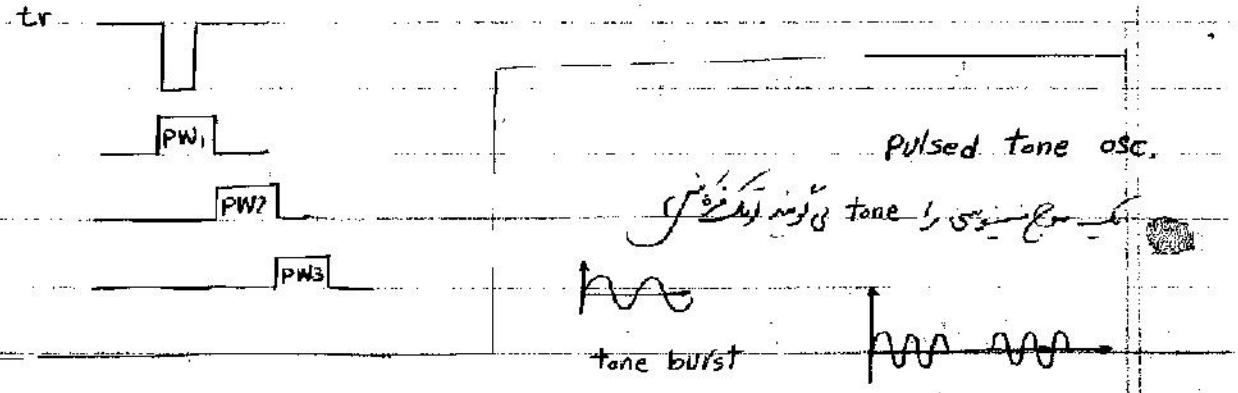
Q_1 قطع است

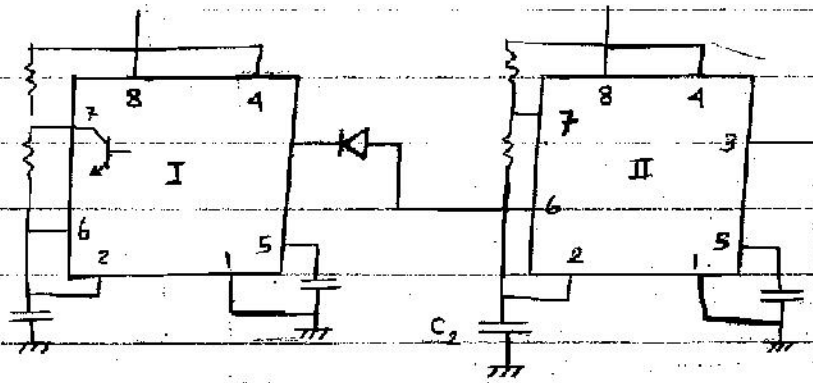


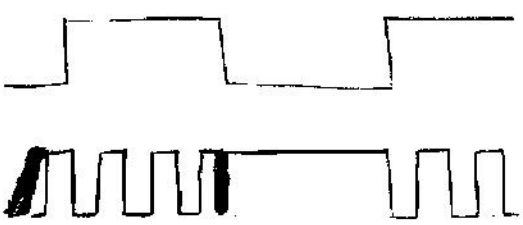
باتقاریر سولکود در مدار $PRF \cong \frac{75}{C}$

(تایمرهای ترتیبی) : sequential timer







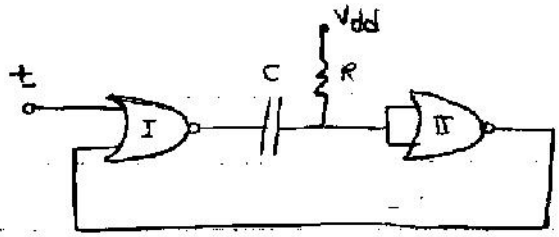


وقتی خروجی گیت است دیود D بایاس
کرده و خازن C_2 از وضعیت دشارژ
باقی می ماند. وقتی خروجی گیت L، H می گردد
دیود قطع و تایمر دوم توسان عادی خود را خواهد داشت.

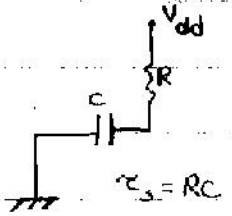
مولتی ویبراتور با گیتهای منطقی: CMOS

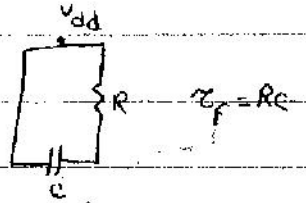
: Bistable

: monostable



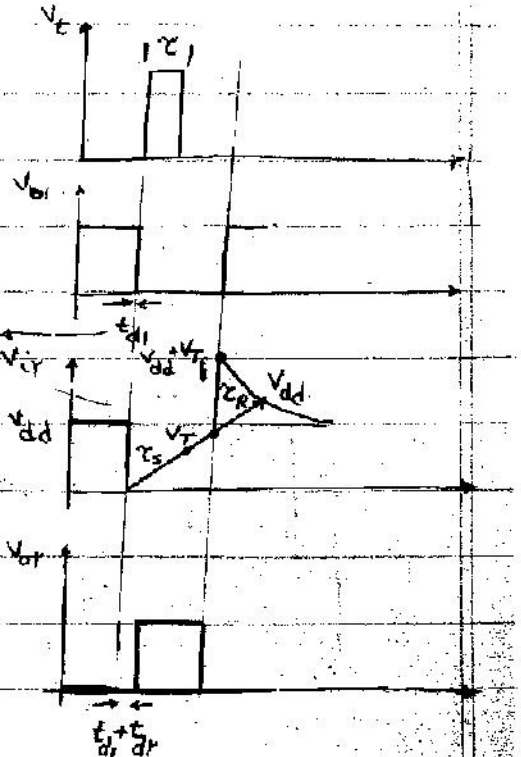
شرط کار $\tau > t_{d1} + t_{d2}$

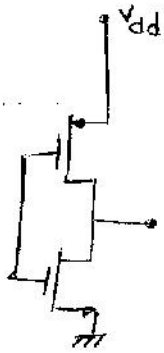


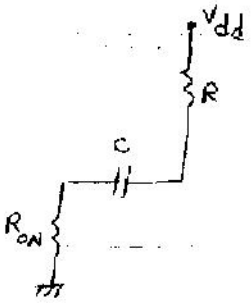


$$T = \tau \ln \frac{V_{dd}}{V_{dd} - V_T}$$

if $V_T = \frac{V_{dd}}{2} \longrightarrow T = \tau \ln 2$

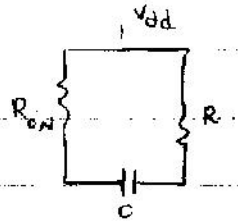






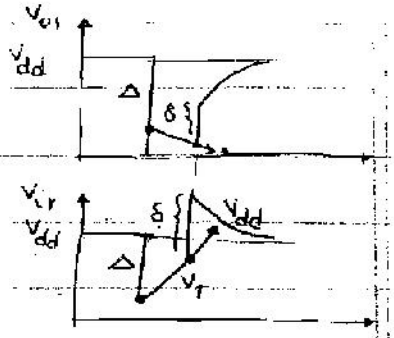
اگر خازنهم خیلی زیاد باشد

Δ جهش $= V_{dd} \frac{R}{R_{ON}+R}$

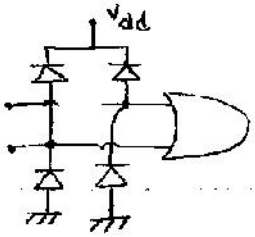


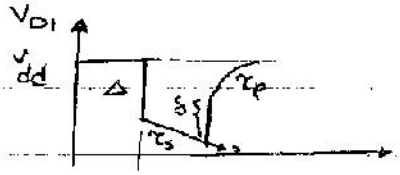
$\tau = (R + R_{ON})\,C$

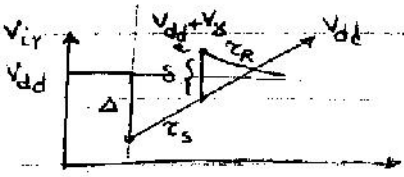
$T = \tau \ln \frac{\Delta}{V_{dd} - V_T}$



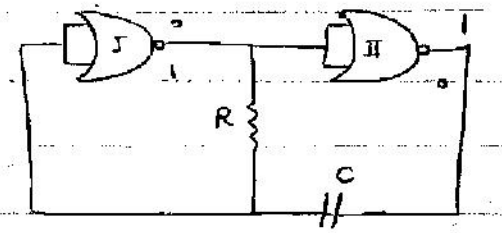
گیتهای CMOS دارای مدار حفاظت ورودی هستند.

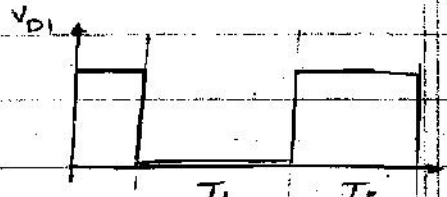






مثال:

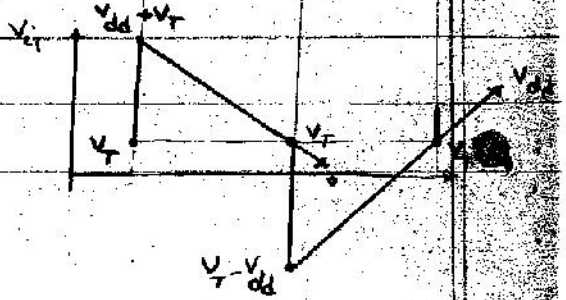


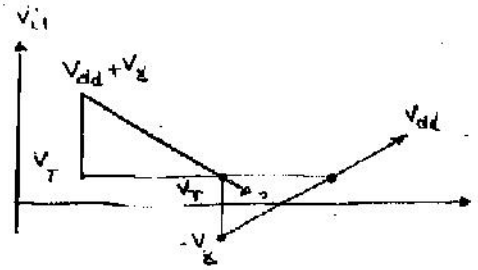


$\tau = RC$

$T_1 = RC \ln \frac{V_{dd} + V_T}{V_T}$

$T_2 = RC \ln \frac{2V_{dd} - V_T}{V_{dd} - V_T}$

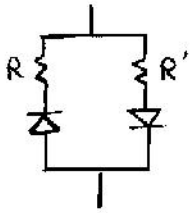




← بایاس حافظ

$$T_1 = RC\,Ln\frac{V_{dd}}{V_T} \qquad T_2 = RC\,Ln\frac{V_{dd}}{V_{dd}-V_T}$$

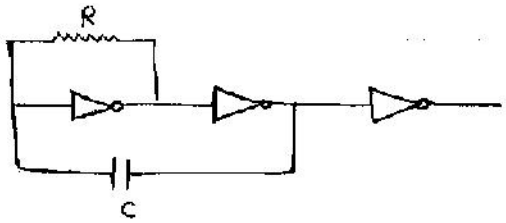
اگر $V_T = \frac{V_{dd}}{2}$ ⟶ $T_1 = T_2 = RC\,Ln2$



← اگر به جای مقاومت R مدار دیود را قرار دهیم مدار استاب پذیر خواهد شد

TTL

: Astable

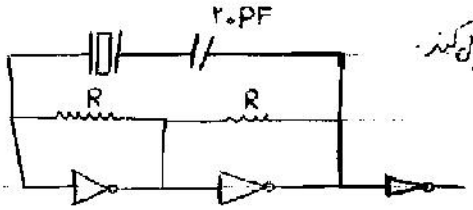


$$F_0 \cong \frac{1}{3RC}$$

↓

TTL با PRF

← این رابطه تقریبی است و در اثر حرارت کم تغییر می‌کند.

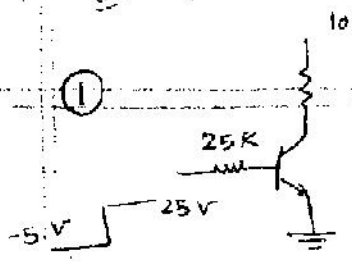


← در صورت کار نکردن

باید تغییر تخصصی دهنده ۲۰PF زد.

(10)

(1)



$$C_{Te} = \frac{14}{(V_{EB}+0.3)^{1/2}}\ pF$$

$$C_{Tc} = \frac{20}{(V_c+0.3)^{1/2}}\ pF$$

a)

$$dq = c\,dv \qquad Q = \int_0^5 C_{Te}\,dV_E + \int_{10}^{15} C_{Tc}\,dV_C = 77\ pC$$

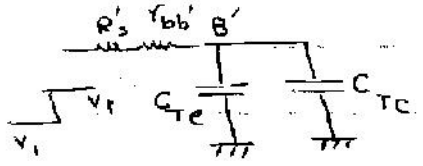
b)

$$25 \xrightarrow{25K} \begin{cases} -5 \\ 0 \end{cases} \longrightarrow V_{av} = \frac{30+25}{2} = 27.5\ V \qquad I_{av} = \frac{27.5}{R_B} = 1.1\ mA$$

$$t_{d1} = \frac{Q_B}{I_{av}} = \frac{77\,pC}{1.1\,mA} = 70\ ns \qquad t_{dr} = \frac{1}{r}\tau_t = \frac{1}{3}\tau_c \qquad t_d = t_{d1} + \frac{1}{r}\tau_c$$

$$C_{Te\,max} = \frac{14\,pC}{\sqrt{0.3}} = 25.4\ pF \qquad C_{Tc\,max} = \frac{20\,pF}{\sqrt{10+0.3}} = 6.2\ pF$$

$$C_{total} = C_{Te} + C_{Tc} = 31.6\ pF$$



$$t_{d1} = R'_S(C_{Te}+C_{Tc})\ln\frac{V_1 - V_f}{V_1 - V_\gamma}$$

$$= 144\ nSec$$

(2)

$C_{TC} = 10\ pF$ $\quad I_{CS} = \frac{10V}{1K} = 10\ mA$ $\quad I_{B1} = \frac{10V}{10K} = 1\ mA$

$h_{FE} = 30$

$P_T = 8$ $\quad I_c = h_{FE} I_{B1}(1 - e^{-t/\tau_r}) \rightarrow t = 0.7\,\mu S : I_c = I_{CS}$

$P_T = \frac{\omega_T}{r_\pi}$ $\longrightarrow \tau_r = 0.45\,\mu S$

$\omega_T = \frac{1}{\tau_t}$ $\quad \tau_s = \tau_{tA} = h_{FE}\left(\frac{1}{\omega_T} + C_C R_C\right) \rightarrow 0.45 = 30\left(\frac{1}{\omega_T} + 10pF \times 1K\right)$

τ_c

$$\longrightarrow \boxed{\omega_T = 200\ MHz} \qquad P_T = \frac{\omega_T}{r_\pi} = 31.8\ MHz$$

④ $f_T = 50\ MHz$ — a) 1 μsec; b) 100 nsec; c) 10 nsec (برای هر سه مورد)

$h_{FE} = 40$

$C_c = 3\ pF$

$V_{CC} = 12\ V$

$R_c = 500\ \Omega$

$I_{C_{sat}} = \frac{12 - \delta}{0.5} = 24\ mA$

$i_c(t) = h_{FE} I_B (1 - e^{-t/\tau})$

$\longrightarrow I_B = \frac{I_{csat}/h_{FE}}{1 - e^{-t/\tau}}$

$\frac{1}{\tau_c}$

$\tau_r = h_{FE}\left(\frac{1}{\omega_T} + C_c R_c\right) = 40\left(\frac{1}{\omega_T} + C_c R_c\right) = 0.188\ \mu s$

a) $\longrightarrow I_{B_1} = 24\ mA / (40(1 - e^{-1/0.188})) = 0.6\ mA$

b) $\longrightarrow I_{B_1} = 1.96\ mA$

c) $\longrightarrow I_{B_1} = 11.5\ mA$

---

⑤ $t_{d_1} = R_S'(C_{Te} + C_{Tc}) \ln \frac{V_1 - V_f}{V_1 - V_\gamma}$

لب دیود، سطح اول اکتیو

$V_1 = -4V + 10V = 6V$

$V_f = -4V \qquad V_\gamma = 0.5$

a) $t_{d_1} = 2(9+6) \ln \frac{9 - (-4)}{9 - 0.5} = 0.018\ \mu s$

$t_{dr} = \frac{\tau_t}{3} = \frac{1}{300\ MHz} \longleftarrow \tau_t = \frac{1}{\omega_T}$

b)

$t_{d3} =$

$I_{B_1} = \frac{6 - 0.7}{2K} = 2.65\ mA$

$I_{CS} = \frac{5 - 0.3}{250\ \Omega} = 18.8\ mA$

$N_1 = \frac{h_{FE} I_{B1}}{I_{CS}} = \frac{90 \times 2.65}{18.8} = 8.45$

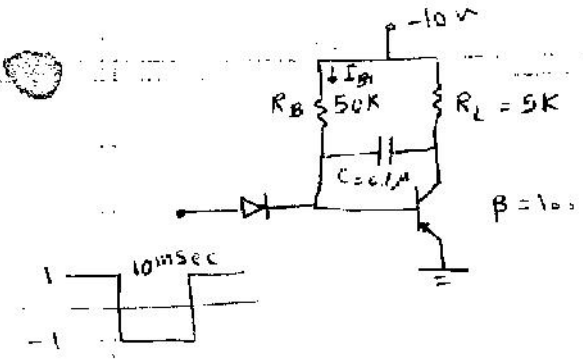
$\tau_r = h_{FE}\left(\frac{1}{\omega_T} + C_c R_c\right) = 0.6069\ \mu s$

$t_{0.1} = t_{d3} = \tau_r \ln \frac{1}{1 - \frac{0.1}{N_1}} = 8.3\ nsec$

c) $N_1 > 5 \qquad t_r = \frac{0.8}{N_1} \tau_r = 65\ nsec$

d) چون $N \gg 1$ زمان لازم برای آفرین ضمت صعود تقریباً $\frac{1}{8}$ زمان صعود است پس

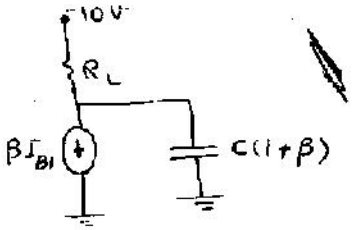
$t_{d4} = \frac{1}{8} t_r = 8.1\ nsec$

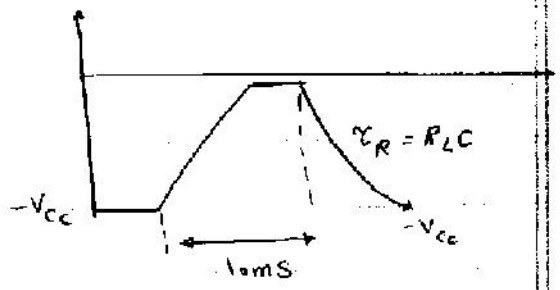


$V_i = 1V$ D: on $V_B = +0.3V$ T: OFF

$V_i = -1V$ D: OFF $V_B = -0.7$ T: ON

$V_D = 0.3V$

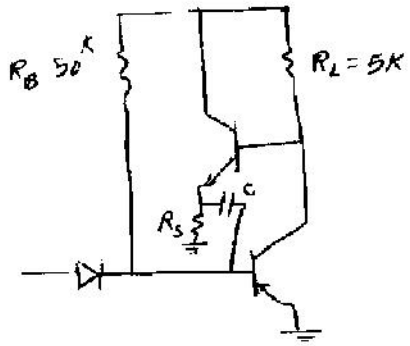




$$I_{B1} = \frac{-10 + 0.7}{50K} = -0.186\ mA$$

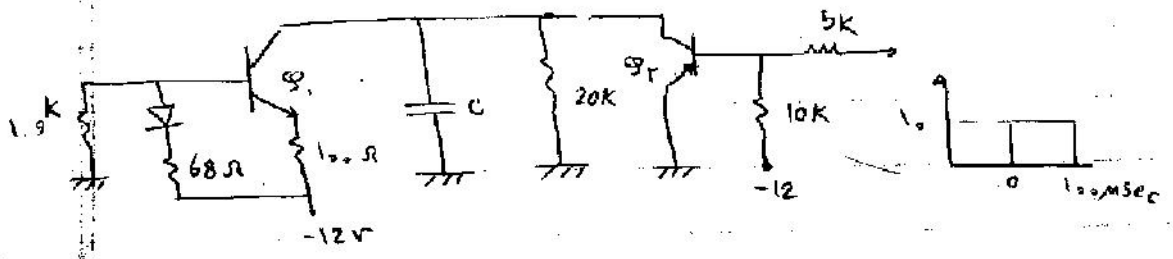
$$T_s = \tau_s \frac{V_s}{V_{ss} - V_i} = R_L C(1+\beta) \frac{-10 + 0.2}{\beta I_1 R_L} = 5 \times 0.1 \times (101) \frac{-9.8}{-100 \times 0.186 \times 5}$$

$= 5.33\ m$



$\tau_R = R_o C$

$$R_o = \frac{R_L + h_{ie}}{h_{fe}} \| R_S$$



$t = 0$: $$V_{B1} = \frac{1.9K}{1.9K + 0.068K}(-12) + 0.7 = 0.7 + 0.1I - 12$$

$$I = \frac{.120 \times 0.068}{1.9K + 0.068K} = 4mA$$

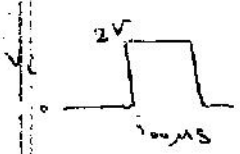
e) $I_{B2} = \frac{-(4+0.7)}{2K\Omega} = -2.35\,mA$ $\quad I_{BA} = \frac{I_{csat}}{\beta} = \frac{11.1}{60} = 0.31\,mA$

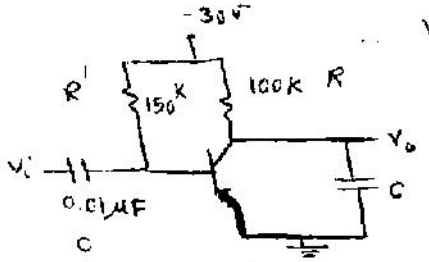
ورودی پس لبه فعال اشباع

$$t_{s1} = \tau_s \ln \frac{I_{B1} - I_{B1}}{I_{BA} - I_{B1}} = 12.6\,nsec$$

f) $N_1 = \frac{-h_{FE} I_{B1}}{I_{CS}} = 7.5$ $\quad t_{sr} = t_{0.9} = \tau_r \ln \frac{1 + \frac{1}{N_1}}{1 + \frac{0.9}{N_1}} = 6\,nsec$

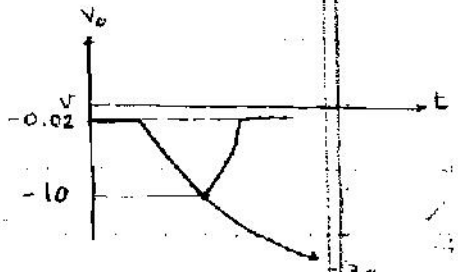
$N_1 > 5 \longrightarrow t_f = \frac{0.8\tau_r}{N_1} = 73\,nsec$





ترانزیستور سوئیچ $V_{cesat} = 0.02$ Ge

$V_{BE(Ge)} = 0.3\,V$



a) $\tau' = R'C' = 150K \times 0.01\,\mu S = 1.5\,msec$

$V_{B\,initial} = -0.3\,V$ ترانزیستور اشباع است $t=0$ در

$$i_B = \frac{-30 + 0.3}{150K\Omega} = -0.198\,mA$$

$$V_B = -30V + 31.7\,e^{-t/\tau'}$$

وقتی که $V_B = -0.1\,V$ شود ترانزیستور شروع به هدایت می‌کند. پس:

$$-0.1\,V = -30 + 31.7\,e^{-t/\tau'} \longrightarrow T = 89\,\mu sec$$ زمان سوئیچ

b) $V_o = -30 + [-0.02 + 30]\,e^{-t/\tau}$

$$V_o = -30 + 29.98\,e^{-t/\tau} \qquad \tau = RC = 100K\,C \Rightarrow C = 2070\,pF = 2\,nF$$

$t = T = 89\,\mu S \longrightarrow V_o = -10\,V$

c) $T_R = R_L C \frac{V_F - V_i}{V_{ss} - V_i}$

$$200\,\mu S \frac{-0.02 + 10}{-30 + 100 \times 0.198 \times 100 + 10} \cong 1\,\mu sec \qquad \beta = 100$$

when $V_i = 0$: $V_{B1} = \frac{-12 \times 5}{10+5} = -4\,V$ $\quad R_B = 5 \| 10 = \frac{10}{3}\,K$

$I_{B1} = \frac{-4+0.7}{\frac{10}{3}K} \cong -1\,mA \rightarrow I_{C2} = \beta I_{B1} = -50\,mA$

Q_2 اشباع است

$t = 0 \rightarrow V_c = V_{cesat} = -0.2\,V$

when $V_i = 10$: $V_{B1} = -12\,V + \frac{10-(-12)\times 10^3}{15K} = 2\,V$ $\quad Q_2$: OFF

$V_{SS} = 20K \times 4\,mA = 80\,V$

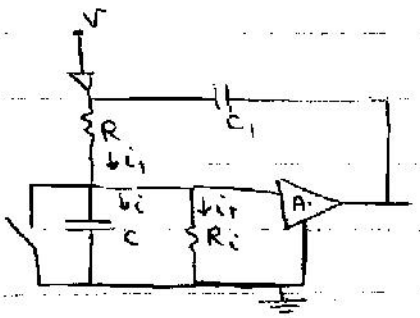
$V_i = V_{cesat} = -0.2\,V$

$V_R = -10\,V$

$T_S = RC\,Ln\,\frac{80-0.2}{80-10} = 100\,\mu S \Rightarrow 20\times10^3 \times C \times Ln\,___ = 100\,\mu s$

$\rightarrow C \cong 40\,\mu F$

V۵



$i_c = i_1 - i_f$

سر K $\rightarrow V_{C_1} = V$

بالای K $\rightarrow i_1 = \frac{AV_c + V - V_c}{R}$

$i_f = \frac{V_c}{R_f}$ $\quad \rightarrow i_c = cte \rightarrow \frac{V_c(A-1)}{R} - \frac{V_c}{R_f} = 0$

$\rightarrow \boxed{A = 1 + \frac{R}{R_f}}$