

## فهرست

۱	فصل اول : مدارات مشتق گیر و انتگرال گیر .....
۲	مقدمه .....
۲	فیلتر پایین گذر .....
۳	فیلتر بالا گذر .....
۵	مدار مشتق گیر RL .....
۵	مشتق گیر با OpAmp .....
۶	انتگرال گیر با OpAmp .....
۷	آزمایش اول: شارژ و دشارژ خازن با ولتاژ DC .....
۱۰	آزمایش دوم: مدار مشتق گیر RC .....
۱۱	آزمایش سوم: مدار انتگرال گیر RC .....
۱۲	آزمایش چهارم: مدار مشتق گیر RL .....
۱۳	آزمایش پنجم: مدار مشتق گیر با OpAmp .....
۱۴	آزمایش ششم: مدار انتگرال گیر با OpAmp .....
۱۵	فصل دوم: مدارات مولتی وایبراتور ترانزیستوری .....
۱۶	مقدمه .....
۱۶	مولتی وایبراتور آ-استابل .....
۱۸	مولتی وایبراتور تک حالت (Monostable) .....
۲۰	مولتی وایبراتور دو حالت (Bistable) .....

۲۱	..... فلیپ فلاپ T
۲۲	..... اشمیت تریگر
۲۳	..... حالت اول - مقایسه کننده یک سطحی
۲۳	..... حالت دوم - مقایسه کننده دو سطحی
۲۵	..... مولد موج مورب (Ramp)
۲۶	..... آزمایش اول: مولتی ویبراتور ناپایدار (Astable)
۲۸	..... آزمایش دوم: مولتی ویبراتور تک حالتی (Monostable)
۳۰	..... آزمایش سوم: مولتی ویبراتور دو حالتی (Bistable)
۳۱	..... آزمایش چهارم: تقسیم کننده فرکانس
۳۲	..... آزمایش پنجم: اشمیت تریگر (Schmitt Trigger)
۳۴	..... آزمایش ششم: مولد موج مورب (Ramp)
۳۶	..... فصل سوم : مدارات مولتی ویبراتور با آی سی 555
۳۷	..... مقدمه
۳۸	..... پایه های IC
۴۰	..... طرز کار 555
۴۱	..... مولتی ویبراتور Astable با 555
۴۳	..... نوسان ساز موج مربعی با زمان پالس و دوره تناوب قابل تغییر
۴۴	..... مولتی ویبراتور مونو استابل
۴۵	..... مولتی ویبراتور مونو استابل دوباره تریگر شونده
۴۶	..... اشمیت تریگر (Schmitt Trigger) با 555

۴۷	مولد موج مورب (Ramp) با 555 .....
۴۸	آزمایش اول: مولتی ویبراتور ناپایدار (Astable) .....
۵۰	آزمایش دوم: نوسان ساز موج مربعی با زمان پالس و دوره تناوب قابل تغییر .....
۵۱	آزمایش سوم: نوسان ساز موج مربعی با فرکانس ثابت و عرض پالس قابل تغییر .....
۵۳	آزمایش چهارم: نوسان ساز کنترل شده با ولتاژ (VCO) .....
۵۵	آزمایش پنجم: مولتی ویبراتور تک حالت (Monostable) .....
۵۸	آزمایش ششم: مولتی ویبراتور تک حالت دوباره تریگر شونده .....
۶۰	آزمایش هفتم: مولد موج مورب (Ramp) .....
۶۲	آزمایش هشتم: اشmitt تریگر (Schmitt Trigger) .....
۶۴	<b>فصل چهارم: مدارات مولتی ویبراتور با OpAmp</b> .....
۶۵	مقدمه .....
۶۵	ولتاژ تفاضلی تقویت کننده های عملیاتی .....
۶۶	اشباع .....
۶۷	مولتی ویبراتور تک حالت (Monostable) .....
۶۸	مولتی ویبراتور ناپایدار (Astable) با Op-Amp .....
۶۹	نوسان ساز موج مربعی با فرکانس ثابت و عرض پالس قابل تغییر .....
۷۰	مدار اشmitt تریگر (Schmitt Trigger) با OpAmp .....
۷۱	نوسان ساز کنترل شده با ولتاژ (VCO) .....
۷۲	آزمایش اول: مولتی ویبراتور ناپایدار (Astable) .....

۷۴	..... آزمایش دوم: نوسان ساز موج مربعی با فرکانس ثابت و عرض پالس قابل تغییر
۷۶	..... آزمایش سوم: مولتی ویبراتور تک حالتی (Monostable)
۷۸	..... آزمایش چهارم: مدار اشmitt تریگر (Schmitt Trigger)
۸۰	..... آزمایش پنجم: نوسان ساز کنترل شده با ولتاژ (VCO)
۸۲	..... فصل پنجم: مدارات مولتی ویبراتور با آی سی های TTL
۸۳	..... مقدمه
۸۳	..... مولتی ویبراتور ناپایدار (Astable)
۸۴	..... مولتی ویبراتور تک حالتی (Monostable)
۸۵	..... مولتی ویبراتور دو حالتی (Bistable)
۸۶	..... آزمایش اول: مولتی ویبراتور ناپایدار (Astable)
۸۸	..... آزمایش دوم: مولتی ویبراتور تک حالتی (Monostable)
۹۰	..... آزمایش سوم: مولتی ویبراتور دو حالتی (Bistable)

## فصل اول

### مدارات مشتق گیر و انتگرال گیر

#### اهداف:

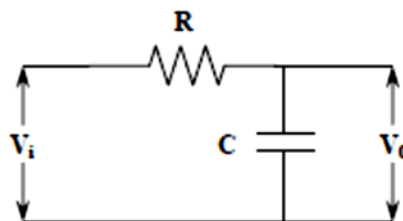
- یادگیری اصول مدارات مشتق گیر و انتگرال گیر پسیو و اکتیو
- یادگیری نکات عملی کار با انواع مدارات مشتق گیر و انتگرال گیر (RC و RL و OpAmp)

## مقدمه

هرگاه به دو سر یک خازن اختلاف پتانسیل اعمال شود خازن درون مدار شروع به اصطلاح شارژ شدن و ذخیره بار الکتریکی روی صفحات خود می‌کند که مدت زمان و میزان آن بستگی به ظرفیت خازن و میزان مقاومت درون مدار دارد. تا زمانی که ولتاژ دو سر خازن برابر با ولتاژ منبع گردد درون مدار جریانی برقرار خواهد بود بعد از شارژ شدن، خازن مانند مدار باز عمل می‌کند. در بسیاری از موارد از این خاصیت شارژ و دشارژ خازن در مدار و اتصال کوتاه و باز بودن آن در موقعیت های خاص، استفاده می‌شود.

## فیلتر پایین گذر

مدار زیر یک فیلتر پایین گذر را نشان می‌دهد، این مدار فرکانس های پایین را به خوبی عبور می‌دهد ولی فرکانس های بالا را به شدت تضعیف می‌کند. به این دلیل که راکتانس خازن مدار با افزایش فرکانس، کاهش می‌یابد. در فرکانس های خیلی بالا خازن مانند اتصال کوتاه عمل می‌کند و خروجی به سمت صفر می‌رود. همچنین برای مقادیر خاصی از  $R$ ,  $C$  معمولاً به عنوان انتگرال گیر نیز کاربرد دارد. به این خاطر که ولتاژ خروجی با انتگرال ولتاژ ورودی مدار متناسب است. شرط آنکه این مدار به صورت انتگرال گیر عمل کند آن است که مقدار  $RC$  خیلی بزرگتر از دوره تناوب سیگنال ورودی باشد.  $RC \gg T$



شکل ۱-۱

فرض کنید  $V_i$  ولتاژ ورودی مدار است و  $i$  جریان عبوری از مدار می‌باشد.

با توجه به قوانین کیرشهف، برای مدار بالا می‌توان نوشت:

$$V_i = iR + \frac{1}{C} \int_0^T i \cdot dt$$

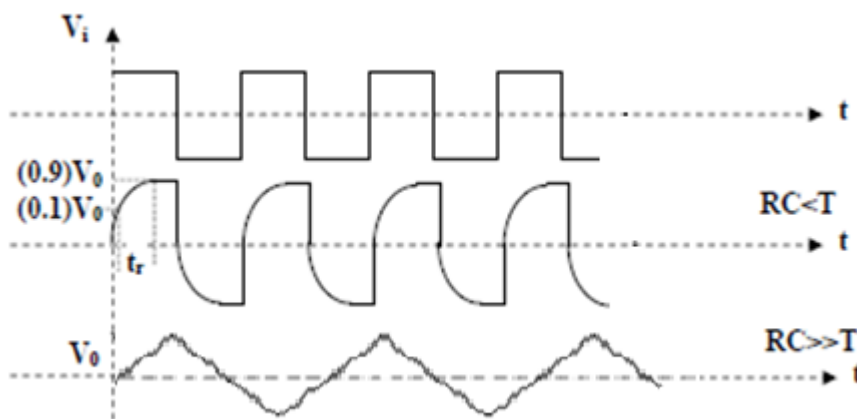
$$CV_i = iRC + \int_0^T i \cdot dt$$

از آنجایی که  $RC \gg T$ ، ترم  $\int_0^T i \cdot dt$  قابل صرف نظر کردن است.

$$CV_i = iRC$$

$$\int_0^T CV_i \cdot dt = \int_0^T iRC \cdot dt$$

$$V_o = \frac{1}{C} \int_0^T i \cdot dt = \frac{1}{RC} \int_0^T V_i \cdot dt$$

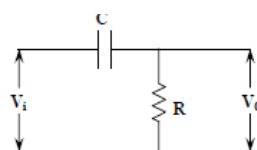


شکل ۱-۲

### فیلتر بالا گذر

مدار زیر یک فیلتر بالاگذر را نشان می‌دهد، بر عکس حالت قبل این مدار فرکانس‌های بالا را به خوبی عبور می‌دهد ولی فرکانس‌های پایین را به شدت تضعیف می‌کند به این دلیل که راکتانس خازن مدار با افزایش فرکانس، کاهش می‌یابد. در فرکانس‌های خیلی بالا خازن مانند اتصال کوتاه عمل می‌کند و خروجی به مقدار سیگنال ورودی نزدیک می‌شود. همچنین برای مقادیر خاصی از  $R$ ،  $C$  معمولاً بعنوان مشتق‌گیر نیز کاربرد دارد. به این خاطر که ولتاژ خروجی با مشتق ولتاژ ورودی مدار متناسب است. شرط آنکه این مدار به صورت مشتق‌گیر عمل کند آن است که مقدار  $RC$  خیلی کوچک‌تر از دوره تناوب سیگنال ورودی باشد.

$$RC \ll T$$



شکل ۱-۳

با توجه به قوانین کیرشف، برای مدار بالا می‌توان نوشت :

$$V_i = iR + \frac{1}{C} \int_0^T i \cdot dt$$

$$\frac{V_i}{R} = i + \frac{1}{RC} \int_0^T i \cdot dt$$

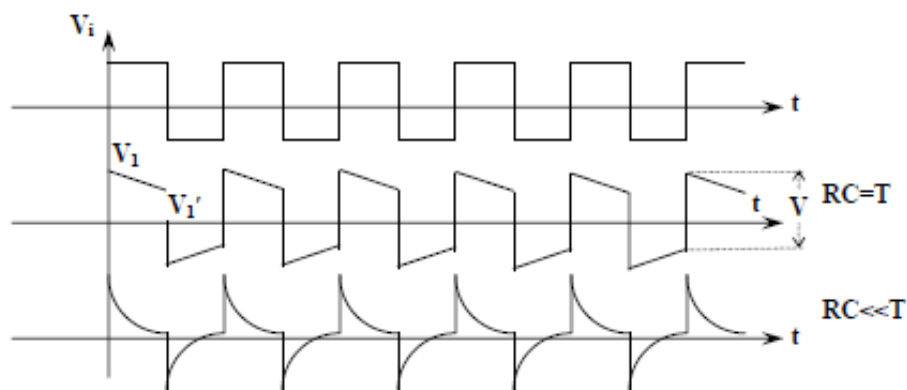
از آنجایی که  $RC \ll T$ ، داریم:

$$\frac{V_i}{R} = \frac{1}{RC} \int_0^T i \cdot dt$$

$$\frac{1}{R} \frac{d}{dt} V_i = \frac{1}{RC} i$$

$$RC \frac{d}{dt} V_i = R i$$

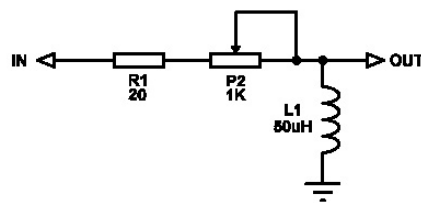
$$V_o = RC \frac{d}{dt} V_i$$



شکل ۴-۱



## مدار مشتق گیر RL



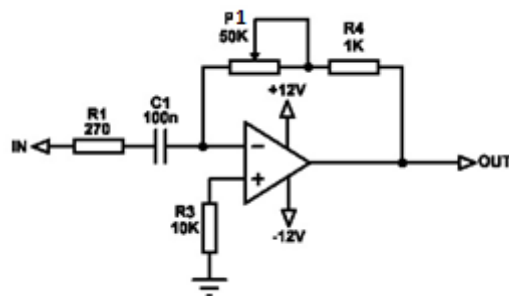
شکل ۵-۱

با توجه به قوانین کیرشهف، برای مدار بالا می توان نوشت:

$$V_i - iR - L i' = 0$$

$$\frac{V_i - iR}{L} = \frac{V_i}{L} - \frac{iR}{L} = i'$$

## مشتق گیر با Op Amp



شکل ۶-۱

جریان عبوری از شاخه خازنی با جریان عبوری از شاخه فیدبک برابر است. داریم:

$$V_i - R_1 i_c - V_c = 0$$

$$V_c = V_i - R_1 i_c$$

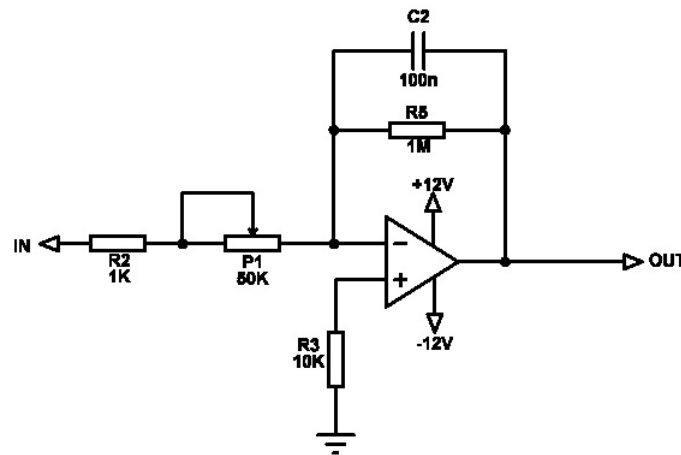
$$i_c = C \frac{dV_c}{dt}$$

$$i_r = \frac{-V_o}{P_1 + R_4}$$

$$i_c = i_r$$

$$V_o = -(P_1 + R_4)C \frac{dV_c}{dt}$$

## انتگرال گیر با OpAmp



شکل ۷-۱

مشابه بالا جریان عبوری از مقاومت  $R_2$  برابر است با مجموع جریان شاخه خازنی و جریان عبوری از شاخه فیدبک برابر است. داریم:

$$i_{r2} = \frac{V_i}{R_2 + P_1}$$

$$i_{r5} = \frac{-V_o}{R_5}$$

$$i_c = i_{r2} - i_{r5}$$

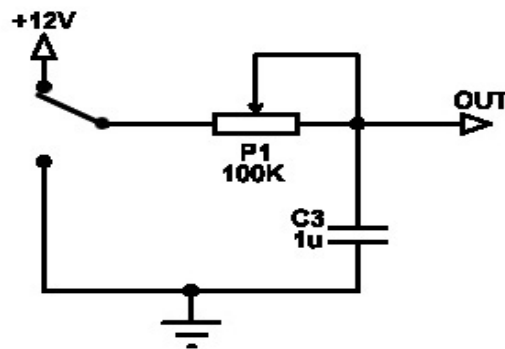
$$i_c = C \frac{dV_c}{dt} = -C \frac{dV_o}{dt}$$

$$V_o = -\frac{1}{C} \int i_c dt = -\frac{1}{C} \int (i_{r2} - i_{r5}) dt = -\frac{1}{C} \int \left( \frac{V_i}{R_2 + P_1} + \frac{V_o}{R_5} \right) dt$$

## آزمایش اول: شارژ و دشارژ خازن با ولتاژ DC

مراحل آزمایش:

(۱) جامپرهای شماره ۳ و ۱۰ را در Block14 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۸-۱

(۲) سیم‌های تغذیه (+12V, GND) را در Block14 متصل نمایید.

(۳) پتانسیومتر P1 را تا مقدار ماکزیمم بچرخانید.

(۴) اسیلوسکوپ را در حالت DC قرار داده و به خروجی متصل نمایید.

(۵) جامپر شماره ۱ را وارد نمایید تا ولتاژ 12Vdc وارد مدار شود و به خروجی توجه نمایید تا صعود ولتاژ خروجی را در واحد

زمان (شارژ) مشاهده نمایید. نتایج مشاهده را ثبت نمایید.

شکل ۹-۱

(۶) جامپر شماره ۱ را خارج نموده و جامپر شماره ۲ را وارد نمایید تا ورودی به زمین متصل شود و به خروجی توجه نمایید تا نزول ولتاژ خروجی را در واحد زمان (دشارژ) مشاهده نمایید. نتایج مشاهده را ثبت نمایید.

شکل ۱۰-۱

(۷) جامپر شماره ۱۰ را خارج نموده و جامپر شماره ۱۱ را جایگزین نمایید تا خازن 10u به جای خازن 1u در مدار قرار گیرد.  
(۸) مراحل (۵) و (۶) را تکرار نموده و نتایج حاصل را در جدول زیر ثبت نمایید.

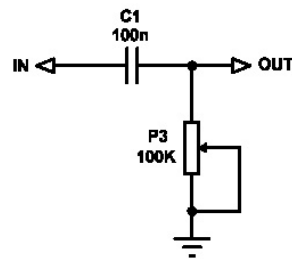
شکل ۱۱-۱

شكل ١-١٢

## آزمایش دوم: مدار مشتق گیر RC

مراحل آزمایش:

(۱) جامپرهای شماره ۵ و ۱۴ را در Block14 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۱-۱۳

(۲) سیگنال مربعی با فرکانس 200Hz و دامنه 10Vp-p به ورودی اعمال نمایید.

(۳) پتانسیومتر P3 را بطور تصادفی بچرخانید و اثر آن را در شکل موج خروجی مشاهده نمایید.

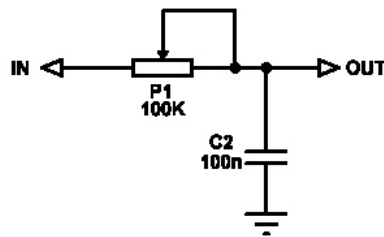
(۴) پتانسیومتر P3 را طوری تنظیم نمایید تا شکل موج سوزنی بدون اعوجاج در خروجی ظاهر شود. سپس شکل موج خروجی را رسم نمایید.

شکل ۱-۱۴

## آزمایش سوم: مدار انتگرال گیر RC

مراحل آزمایش:

(۱) جامپرهای شماره ۳ و ۹ را در Block14 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۱-۱۵

(۲) سیگنال مربعی با فرکانس 200Hz و دامنه 10Vp-p به ورودی اعمال نمایید.

(۳) پتانسیومتر P1 را بطور تصادفی بچرخانید و اثر آن را در شکل موج خروجی مشاهده نمایید.

(۴) پتانسیومتر P1 را طوری تنظیم نمایید تا شکل موج مثلثی با دامنه ماکزیمم و بدون اعوجاج در خروجی ظاهر شود. سپس

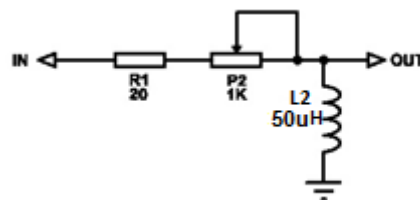
شکل موج خروجی را رسم نمایید.

شکل ۱-۱۶

## آزمایش چهارم: مدار مشتق گیر RL

مراحل آزمایش:

(۱) جامپرهای شماره ۴ و ۱۳ را در Block14 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۱-۱۷

(۲) سیگنال مربعی با فرکانس 10KHz و دامنه 10Vp-p به ورودی اعمال نمایید.

(۳) پتانسیومتر P2 را بطور تصادفی بچرخانید و اثر آن را در شکل موج خروجی مشاهده نمایید.

(۴) پتانسیومتر P2 را طوری تنظیم نمایید تا شکل موج سوزنی بدون اعوجاج در خروجی ظاهر شود. سپس شکل موج خروجی را رسم نمایید.

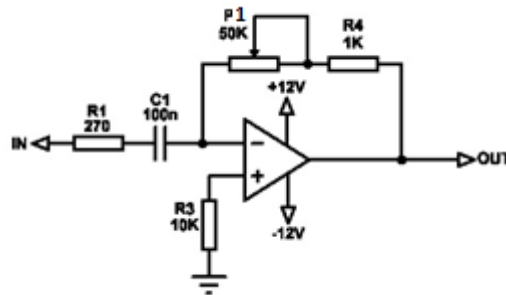
شکل ۱-۱۸



## آزمایش پنجم: مدار مشتق گیر با OpAmp

مراحل آزمایش:

(۱) جامپرهای شماره ۱ و ۳ را در Block13 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۱-۱۹

(۲) سیم‌های تغذیه (+12V, GND, -12V) را در Block13 متصل نمایید.

(۳) سیگنال مربعی با فرکانس 200Hz و دامنه 10Vp-p به ورودی اعمال نمایید.

(۴) پتانسیومتر P1 را بطور تصادفی بچرخانید و اثر آن را در شکل موج خروجی مشاهده نمایید.

(۵) پتانسیومتر P1 را طوری تنظیم نمایید تا شکل موج سوزنی بدون اعوجاج در خروجی ظاهر شود. سپس شکل موج خروجی

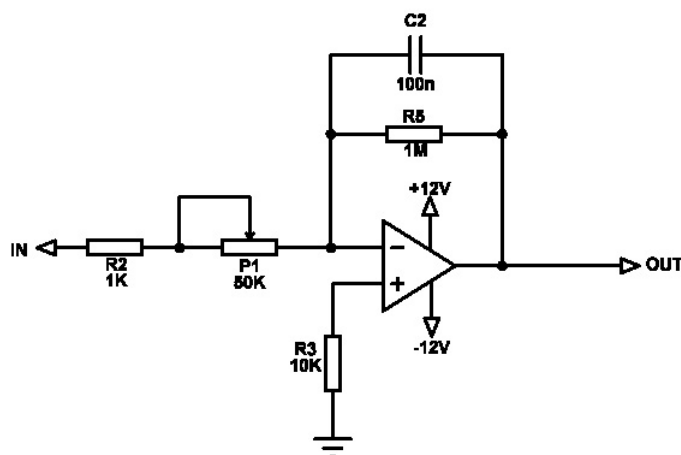
را رسم نمایید.

شکل ۱-۲۰

## آزمایش ششم: مدار انتگرال گیر با OpAmp

مراحل آزمایش:

(۱) جامپرهای شماره ۲ و ۴ را در Block13 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۱-۲۱

(۲) سیم‌های تغذیه (+12V, GND, -12V) را در Block13 متصل نمایید.

(۳) سیگنال مربعی با فرکانس 200Hz و دامنه 10Vp-p به ورودی اعمال نمایید.

(۴) پتانسیومتر P1 را بطور تصادفی بچرخانید و اثر آن را در شکل موج خروجی مشاهده نمایید.

(۵) پتانسیومتر P1 را طوری تنظیم نمایید تا شکل موج مثلثی با دامنه ماکزیمم و بدون اعوجاج در خروجی ظاهر شود. سپس

شکل موج خروجی را رسم نمایید.

شکل ۱-۲۲

## فصل دوم

### مدارات مولتی ویبراتور ترانزیستوری

#### اهداف:

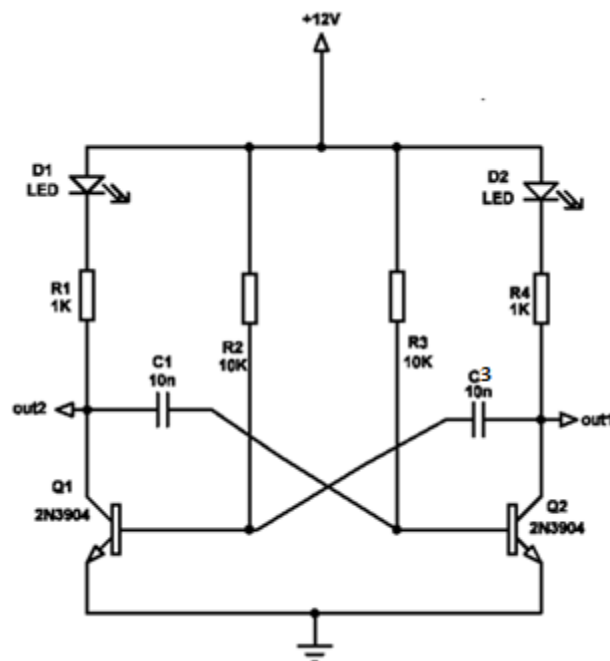
- یادگیری اصول مدارات مولتی ویبراتور ترانزیستوری
- یادگیری نکات عملی کار با مولتی ویبراتورهای مبتنی بر ترانزیستور

## مقدمه

مولتی ویبراتور به مدارهایی گفته می شود که در حالت جابه جایی بین دو حالت می باشد. این حالت ها یا پایدار هستند و یا ناپایدار. در صورتی که پایدار باشد، مدار با رسیدن به آن حالت تمایل به حفظ آن حالت دارد، و اگر ناپایدار باشد، بعد از گذشت زمانی، از آن حالت به حالت بعدی می رود. نوع فیدبک در تمامی مدارات مولتی ویبراتور از نوع فیدبک مثبت می باشد که باعث می شود تغییر از یک حالت به حالت دیگر به طور خود به خود کامل شود. بعنوان مثال می توان به مدارهایی که می تواند یک LED را خاموش و روشن کند که LED چشمک بزند، یا مداری که چراغی را روشن نگه می دارد تا اینکه یک کلید را بزنید و چراغ خاموش شود ولی بعد از چند ثانیه دوباره چراغ خودکار روشن می شود. اگر شما دوباره کلید را بزنید باز همین روند تکرار می شود و ... این موارد تنها چند کاربرد از کاربردهای مولتی ویبراتورها است.

## مولتی ویبراتور آ-استابل

مدار مولتی ویبراتور آستابل دارای هیچ حالت پایداری نیست این مولتی ویبراتور داری دو حالت ناپایدار است و دائماً مدار بدون وقفه بین آن دو در حال نوسان می باشد، به همین دلیل به آن نوسان ساز موج مربعی نیز گفته می شود. ایجاد نوسان به دلیل وجود فیدبک مثبت و قوی در مدار می باشد.



شکل ۲- ۱

در این مدار هر لحظه یکی از LED ها روشن است. یعنی اگر R و C به صورتی تنظیم شده باشند که فرکانس مدار یک هرتز باشد و مقاومت یک و دو با هم برابر باشند و همینطور مقاومت سه و چهار با هم و خازن یک و دو هم با هم، آنگاه در نیم ثانیه LED یک روشن است و در نیم ثانیه بعدی LED دو و بعد از آن دوباره LED یک روشن می شود و این چرخه ادامه می یابد. به روشن بودن LED یک حالت a و به روشن بودن LED دو حالت b می گوئیم. خروجی این مولتی ویبراتور، موج مربعی است.

در حالتی که  $Q_1$  قطع می باشد (در این حالت  $Q_2$  اشباع است) خازن  $C_3$  از طریق مسیر  $R_2$  در حال شارژ می باشد. این افزایش ولتاژ به معنی این است که ولتاژ بیس  $Q_1$  در حال افزایش می باشد. این افزایش تا زمانی ادامه پیدا می کند که  $V_{be}$  ترانزیستور به مرز روشن شدن برسد.

در این حالت  $Q_1$  روشن شده، به خاطر وجود فیدبک مثبت، به اشباع می رود و  $Q_2$  خاموش می شود. در این حالت مشابه با حالت قبل  $C_1$  از طریق  $R_3$  شارژ شده و این روند تکرار می شود. جریان بیس  $Q_1$  از  $V_{CC}$  و مقاومت  $R_2$  تأمین می شود.

$R_{B1}$  باید طوری تعیین شود که  $Q_1$  را در حالت اشباع نگه دارد. خازن  $C_3$  به سرعت شارژ می شود و بعد از شارژ کامل خازن  $C_3$  جریان این مسیر قطع می شود. این جریان چون از  $R_4$  می گذرد باعث کاهش ولتاژ کلکتور  $Q_2$  که در حالت خاموش است می گردد و تا قطع جریان این مسیر خروجی مربوط به ترانزیستور خاموش از  $V_{CC}$  کوچک تر خواهد بود.

خازن  $C_1$  به آرامی شارژ شده و ولتاژ بیس  $Q_2$  که در حالت خاموش است افزایش می دهد وقتی این ولتاژ به آستانه روشن شدن  $V_{be}$  ترانزیستور  $Q_2$  رسید  $Q_2$  روشن شده و کلکتور امیتر آن تقریباً صفر می شود. در این حالت به خاطر ولتاژ خازن  $C_3$  شارژ شده، ولتاژ دو سر  $Q_1$  منفی می شود، و  $Q_1$  به سرعت off می شود در این وضعیت  $Q_2$ : on و  $Q_1$ : off است. به این صورت ترانزیستورها به صورت یک در میان خاموش روشن خواهند شد و مدار مولتی ویبراتور آستابل را تشکیل خواهند داد.

شکل موج ایجاد شده روی کلکتور ترانزیستورها، با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه، تقریباً مربعی خواهد بود. زمان هر نیم پریود از رابطه زیر بدست می آید.

$$\tau = RC \ln(2)$$

در حالت مجموع نیز:

$$T = t_1 + t_2 = R_3 C_1 \ln(2) + R_2 C_3 \ln(2)$$

فرکانس آن که عکس دوره زمانی است، بدست می آید:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{R_3 C_1 \ln(2) + R_2 C_3 \ln(2)} \approx \frac{1.44}{R_3 C_1 + R_2 C_3}$$

برای حالت خاص که duty cycle برابر 50% باشد یعنی نیم پریودها برابر ( $\tau_1 = \tau_2$ ) هستند. مقادیر خازن و مقاومت ها با هم برابر هستند.

$$C_1 = C_3$$

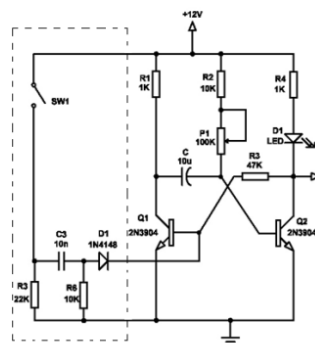
$$R_2 = R_3$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2R_3 C_2 \ln(2)} \approx \frac{0.721}{R_3 C_3}$$

### مولتی ویبراتور تک حالت (Monostable)

این مولتی ویبراتور، همانطور که از اسمش پیداست، دارای یک حالت پایدار می باشد. این به این معنی است که حالت دیگر آن ناپایدار می باشد. بنابراین می توان حدس زد که این مدار مانند یک تایمر است که برای مدت زمانی که تعیین می کنیم، در یک حالت (ناپایدار) بماند و بعد از آن به حالت پایدار برود و تا آمدن تحریک بعدی در این حالت بماند.

نمونه ای از کاربرد این مسأله را می توان در مورد روشنایی راهروی آپارتمان ها دید. در راهروها، با فشار کلید هر یک از طبقات، لامپ تمام طبقات روشن شده (حالت ناپایدار) و بعد از اتمام مدت آن، تمام لامپ ها خاموش می شوند. (حالت پایدار)



شکل ۲-۲

در حالت پایدار ترانزیستور Q2:on, Q1:off است. در این مدار هنگامی که کلید S زده شود یک تحریک، ضربه به مدار وارد می‌شود. با اعمال پالس تریگر و در اثر فیدبک مثبت (regeneration) Q1:on, Q2:off می‌شود که در این وضعیت ولتاژ خازن که از طریق VCC شارژ می‌شود روی بیس امیتر ترانزیستور Q2 افت کرده و آن را خاموش نگه می‌دارد در واقع خازن شروع به شارژ شدن می‌کند و جریان را به سوی خود می‌کشد و اجازه رفتن جریان به سوی بیس ترانزیستور را نمی‌دهد. در نتیجه ترانزیستور خاموش می‌ماند تا اینکه خازن شارژ شده و اجازه می‌دهد که جریان به سوی ترانزیستور حرکت کند. خازن که از طریق VCC و مقاومت Q1 شروع به دشارژ کرده باعث افزایش ولتاژ بیس ترانزیستور Q2 شده در نتیجه وقتی این ولتاژ به آستانه ولتاژ روشن شدن رسید این ترانزیستور روشن می‌شود و R2 که جریان بیس ترانزیستور Q2 را تأمین می‌کند باعث می‌شود ترانزیستور Q2 در حالت اشباع باقی بماند.

و در همین حالت می‌ماند تا اینکه ما دوباره کلید S را فشار دهیم و خازن را با اتصال کوتاه کردن دشارژ کنیم. این سیر دوباره شروع می‌شود و خازن همان کار قبلی را دوباره تکرار می‌کند.

وقتی Q1:on , Q2:off در این حالت ولتاژ خروجی ماکزیمم که ۱۰ ولت می‌باشد بر روی خروجی می‌افتد چون ترانزیستور دوم خاموش است.

در قسمت ورودی مقاومت و خازن پالس سوزنی منفی را عبور می‌دهد ولی مثبت را عبور نمی‌دهد که در حقیقت یک مشتق‌گیر می‌باشد که باید در شرایط مشتق‌گیری صدق کند:

$$f \ll f_c$$

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

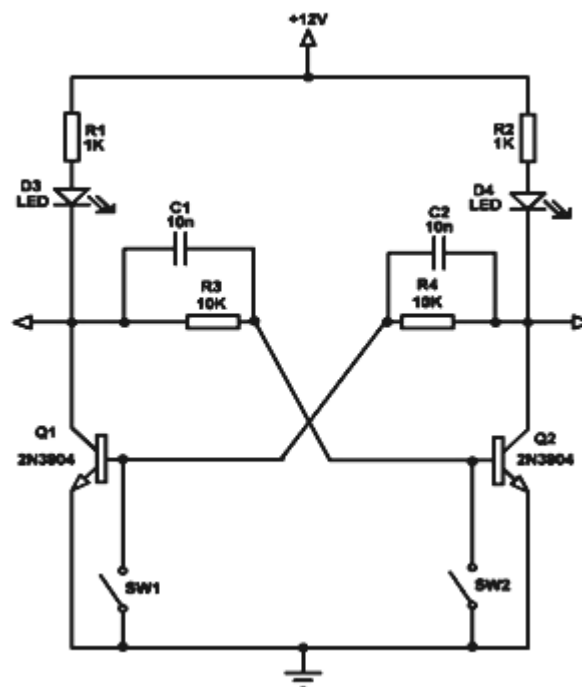
زمان ناپایداری در این مدار بطور تقریبی به صورت رابطه زیر می‌باشد با توجه به فرمول فوق می‌توان نتیجه گرفت که با کاهش مقاومت و مقدار خازن می‌توان زمان را کاهش داد که البته کاهش زیاد مقاومت باعث افزایش جریان شده و که باعث صدمه دیدن مدار خواهد شد لذا تا حدی این کاهش امکان پذیر می‌باشد.

$$T = (R_2 + P_1)C \ln 2$$

دیود در مدار فوق تعیین کننده‌ی لبه‌ی بالا رونده یا پائین رونده بودن خروجی است.

## مولتی ویبراتور دو حالتی (Bistable)

این مولتی ویبراتور نیز دارای دو حالت پایدار است. تفاوت این مولتی ویبراتور با استابل در این است که باید برای رفتن از یک حالت پایدار به حالت دیگر از یک تحریک خارجی استفاده کرد. اگر توجه کرده باشید کار این مولتی ویبراتور مانند کلیدی است که اگر ما اهرم آن را فشار دهیم در حالت باز قرار می گیرد و در همان حالت می ماند تا ما دوباره اهرم را فشار دهیم و این بار کلید بسته می شود و در همین حالت می ماند تا اینکه ما دوباره اهرم را فشار دهیم و آن را به حالت دیگر ببریم. کامپیوتر روبرویتان پر است از این مدار کارش این است که در یک حالت بماند (خاموش یا روشن یا به عبارت دیگر صفر و یک) تا تحریکی خارجی آن را به حالت دیگر ببرد. پس هرگاه که شما دارید اطلاعات کامپیوتر را تغییر می دهید، در واقع دارید با یک تحریک خارجی هریک از مولتی ویبراتورهای بی استابل را به یک حالت مطلوب و مورد نظر خود می برید. برای مثال با یک تحریک خارجی سنسور یک دزدگیر روشن می شود و آژیر به صدا در می آید و آژیر قطع نمی شود تا اینکه کلید ریست مدار دزدگیر زده شود. این هم یکی از کارهای اینگونه مدارات است.

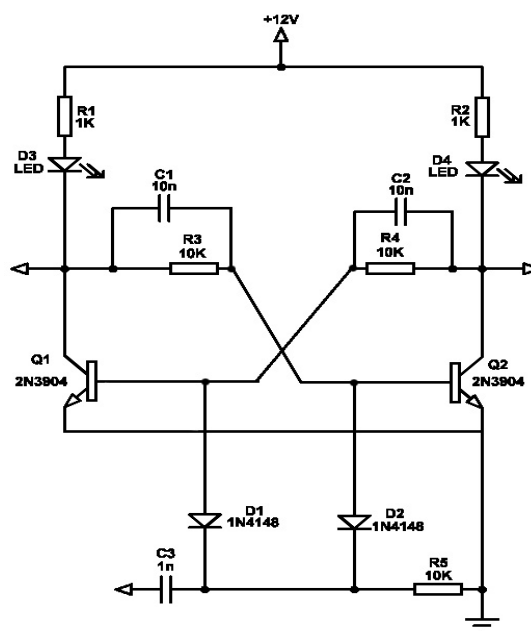


شکل ۲-۳



## فلیپ فلاپ T

در مولتی ویبراتورهای دو حالتی اگر سیگنال تریگر یک موج مربعی باشد در خروجی سیگنال مربعی با فرکانس دو برابر ورودی به دست می آید. به عبارت دیگر اساساً یک مولتی ویبراتور دو حالتی با ورودی تریگر مانند یک فلیپ فلاپ T عمل می کند. با اعمال هر پالس مربعی خروجی تغییر حالت می دهد. بنابر این می توان از آن به عنوان یک تقسیم کننده فرکانس بر ۲ نیز استفاده کرد.



شکل ۲-۴

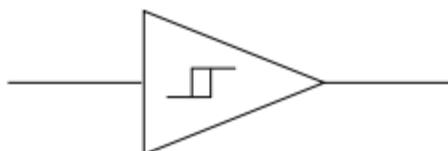
در حالت پایدار نمیدانیم که کدام ترانزیستور روشن و کدام خاموش است. یک حالت شانس وجود دارد. ترانزیستوری روشن خواهد بود که ولتاژ BE آن بیشتر باشد.

اگر D1 را ایده آل فرض کنیم با ولتاژ ۰٫۷ بر روی D1 دیگر Q1 نمی تواند خاموش گردد در حالی که خاموش می شود برای توجیه آن می توان گفت، در واقع وقتی D1 روشن می شود در یک لحظه جریان شدیدی از D1 عبور می کند و برای یک لحظه دیگر جریانی به بیس، Q1 نخواهد رسید و باعث خاموش شدن Q1 می شود و در اثر یک فیدبک مثبت باعث روشن شدن Q2 خواهد شد. در این حالت ولتاژ بیس Q2 در نتیجه آند D2 حدود ۰٫۷ بوده و با اعمال reset، D1 روشن شده و به دلیل عبور جریان شدید از آن، جریان بیس Q1 را به طور لحظه ای کاهش می یابد و در اثر regeneration وضعیت مدار عوض می شود یعنی Q2، on می شود. در این حالت مدار تا دریافت Trigger بعدی ثابت خواهد ماند.

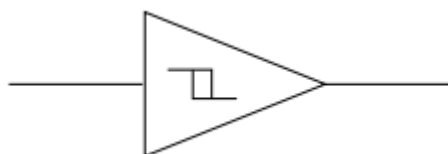
در این حالت اگر Q1 روشن باشد و ما reset را فعال کنیم تأثیری در وضعیت پایداری ندارد. مدار دارای دو حالت پایدار است. اگر طراحی مدار درست باشد در صورت روشن بودن یک ترانزیستور دیگری باید خاموش باشد. اگر چند مولتی ویبراتور بی استابل به صورت سری به دنبال هم قرار گیرند. در این صورت فرکانس پالس تریگر ورودی در خروجی های مختلف به ۲، ۴، ۸ تقسیم خواهد شد. ورودی Reset مدار به تمام طبقات متصل شده است و خروجی  $Q_3$  بزرگترین رقم و  $Q_0$  کوچکترین رقم خواهد بود.

## اشمیت تریگر

نوع دیگری از مولتی ویبراتورها بی استابل، اشمیت تریگر است.



شکل ۲-۵. اشمیت تریگر مستقیم



شکل ۲-۶. اشمیت تریگر معکوس

این مالتی ویبراتورها نیز دارای دو حالت پایدار هستند. منتها با این شرایط که برای عبور از هر حالت پایدار به حالت پایدار دیگر باید ولتاژ ورودی از یک سطح آستانه عبور کند. یعنی حالت پایدار مدار به دامنه وردی متصل است. سطح آستانه بالا (UTP) و سطح آستانه پایین (LTP) به عبارت دیگر اشمیت تریگرها را مقایسه کننده های دو سطحی می نامند. این دو سطح با هم برابر نیستند و مزیت اصلی این مولتی ویبراتورها هم در همین می باشد. با یک مثال ساده برتری اشمیت تریگر را نسبت به مقایسه کننده های معمولی شرح می دهیم:

فرض کنیم قرار است دمای یک سردخانه را توسط یک سنسور دماسنج کنترل کنیم. روش کار به این صورت می باشد که زمانی که دما از یک حدی بالاتر یا پایین تر رفت یک سرد کننده را روشن و خاموش می کنیم.

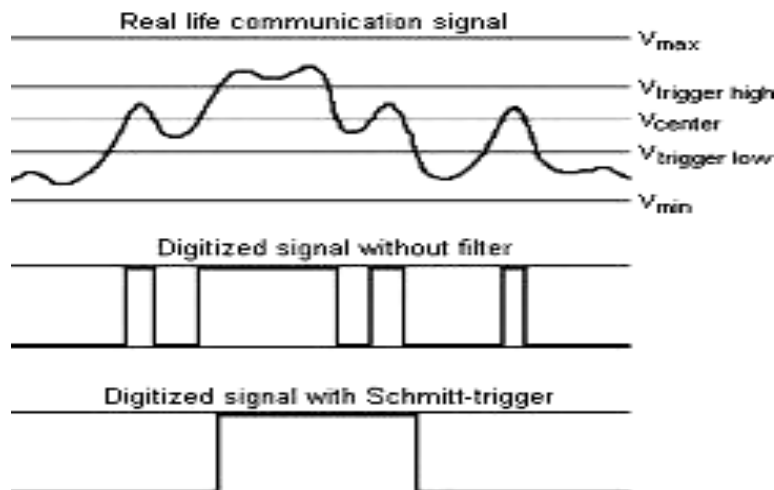
## حالت اول - مقایسه کننده یک سطحی

فرض کنیم دما پائین تر از حد مطلوب می باشد و سرد کننده خاموش می باشد. زمانی که گرمای هوا بیشتر شده و دما به سطح مطلوب برسد، سرد کننده روشن شده، هوا را خنک می کند. با روشن شدن سرد کننده دمای هوا پائین می آید و سرد کننده خاموش می شود. اما با خاموش شدن دوباره دما زیاد می شود و این خاموش و روشن شدن متناوباً تکرار می شود و در نهایت سرد کننده می سوزد.

## حالت دوم - مقایسه کننده دو سطحی

در این حالت دو سطح مقایسه داریم. یکی حداقل دما و یکی حداکثر دما. با رسیدن دما به حداقل دما، سردکننده خاموش می شود، اما تا زمانی که دما به حداکثر دمای قابل تحمل نرسیده، دوباره روشن نمی شود. می بینید که این روش ساده می تواند به راحتی علاوه بر صرفه جویی در مصرف برق، عمر دستگاه ها را نیز افزایش دهد. به همین جهت امروزه در تمام سیستم های خنک کننده از روش اشمیت استفاده می شود.

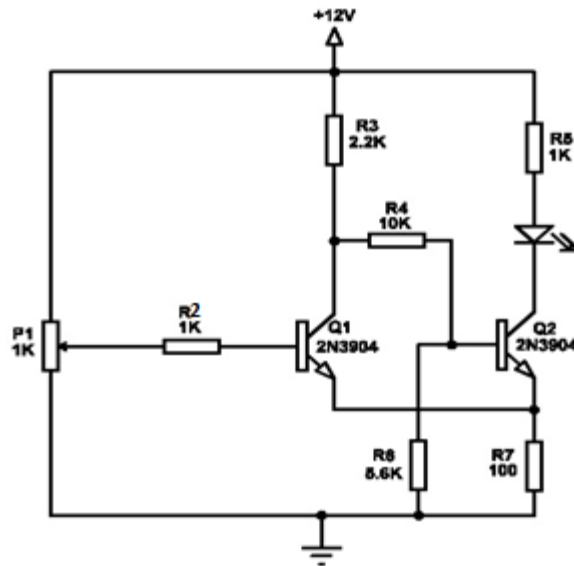
این شکل به خوبی مفهوم اشمیت تریگر در حذف نویز روی یک مقدار دیجیتالی را نشان می دهد:



شکل ۷-۲

می بینید که در صورتی که یک سیگنال دیجیتال همراه با نویز را با مقایسه کننده یک سطحی (شکل بالا) بخواهیم آشکارسازی نمائیم، به جای یک بیت، چندین بیت شناسائی خواهد شد.

در ادامه به تحلیل عملکرد مدار اشmitt تریگر می پردازیم:



شکل ۸-۲

در ابتدا با فرض  $Q_1$  قطع و  $Q_2$  اشباع و با صرف نظر از جریان بیس  $I_{B2}$  در مقابل جریان مقاومت های  $R_4$  و  $R_6$  ولتاژ کلکتور  $Q_2$  و ولتاژ بیس  $Q_2$  به صورت زیر به دست می آید.

$$V_{CC} - I_{C2} \times R_5 - 3V - V_{CE2}(sat) - I_{C2} \times R_7 = 0$$

$$I_{C2} = \frac{8.8V}{1.1} = 8mA$$

$$V_{C2} = 12 - 8 - 3 \approx 0V$$

$$V_E = I_{C2} \times R_7 = 0.8V$$

$$V_{B2} = 0.8 + 0.7 = 1.5V$$

با توجه به محاسبات فوق برای آنکه  $Q_1$  قطع باشد لازم است:

$$v_i < V_E + V_{BE1} \approx 0.8 + 0.5 = 1.3V$$

به عبارت دیگر وقتی ولتاژ ورودی از مقادیر کم در حال افزایش است تا زمانی که ورودی کمتر از  $1.3V$  است  $Q_1$  قطع است و  $Q_2$  در ناحیه اشباع کار می کند. به محض اینکه ورودی بیش از  $1.3V$  شود عمل تشدید و فید بک بازسازنده در مدار آغاز و در نهایت باعث تغییر حالت مدار، یعنی روشن شدن  $Q_1$  و قطع شدن  $Q_2$  می شود.

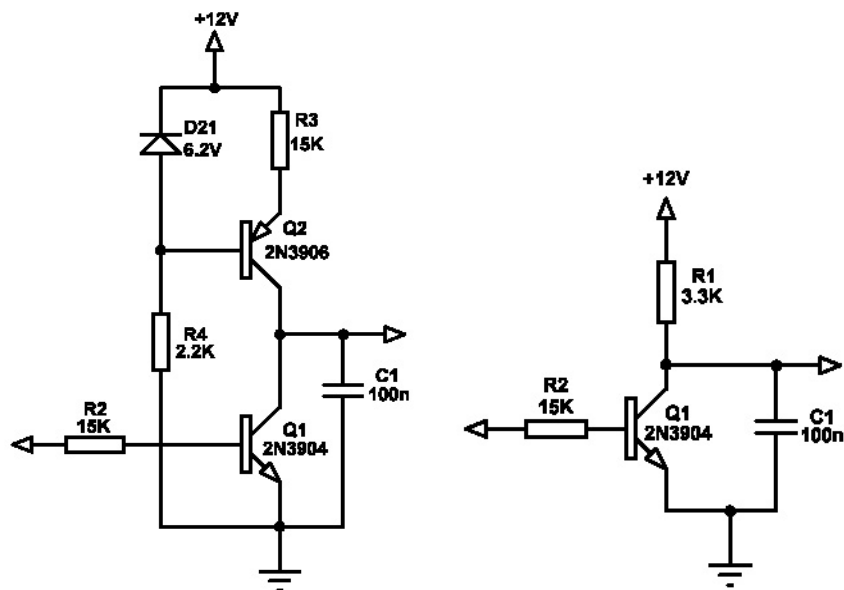
تا اینجا حالتی را در نظر گرفتیم که ورودی در حال افزایش بود، حال کاهش ولتاژ ورودی از مقادیر بزرگ و مشخص کردن نقطه تغییر حالت ترانزیستورها را مورد بررسی قرار می‌دهیم. فرض کنید  $Q_1$  روشن است و  $Q_2$  قطع است.

تا زمانی که  $V_{BE2} < 0.5$  است  $Q_2$  قطع می‌ماند. اما با کاهش مقدار  $v_i$  مقدار  $V_{BE2}$  افزایش می‌یابد. اما در نقطه بحرانی عمل تشدید صورت می‌گیرد،  $Q_2$  روشن و  $Q_1$  قطع می‌شود.

### مولد موج مورب (Ramp)

موج مورب شکل موجی است که در فاصله زمانی  $T$  از مقدار اولیه به طور خطی نسبت به زمان افزایش یابد و پس از رسیدن به مقدار ثانویه به طور جهشی به مقدار اولیه خود باز گردد و این عمل به طور متناوب با دوره تناوب  $T$  تکرار شود.

موج مورب را به طریق مختلف می‌توان ایجاد کرد اما نحوه عملکرد در تمام روش‌ها تقریباً یکسان است و بر اساس شارژ و دشارژ خازن است. بین موج مورب ایده‌آل و واقعی تفاوتی هست که به آن خطای شیب می‌گویند.

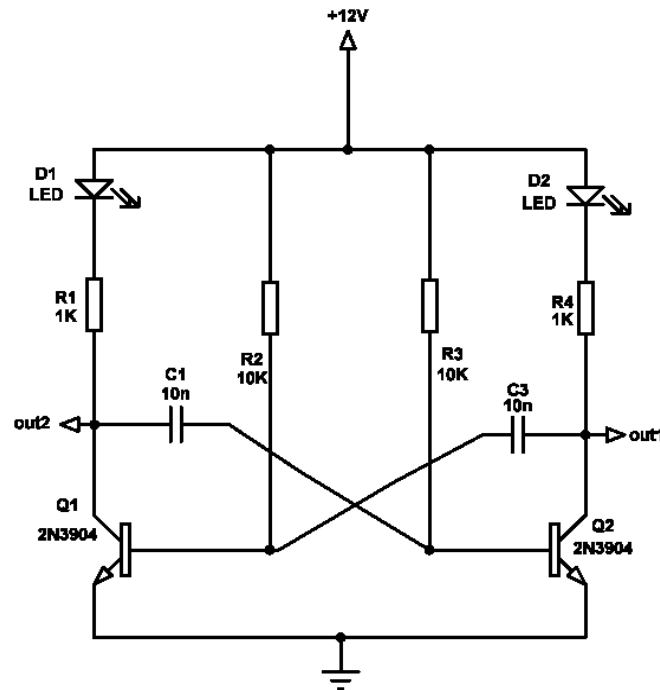


شکل ۹-۲

## آزمایش اول: مولتی وایبراتور ناپایدار (Astable)

مراحل آزمایش :

(۱) جامپرهای شماره ۳ و ۴ و ۸ و ۹ را در Block1 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۱۰-۲

(۲) سیم‌های تغذیه (+12V, GND) را در Block1 متصل نمایید.

(۳) چه پاسخی در خروجی مشاهده می‌کنید؟

(۴) توضیح دهید کدام المان‌ها سرعت چشمک زدن LED را تعیین می‌کنند؟

(۵) جامپر شماره ۴ را خارج نموده و جامپر شماره ۲ را جایگزین نمایید.

(۶) پتانسیومتر P1 را به طور تصادفی بچرخانید و نتیجه را در خروجی مشاهده نمایید.

(۷) جامپرهای شماره ۳ و ۴ و ۶ و ۷ را قرار دهید. تا مدار با مقادیر جدید حاصل شود.

(۸) اسیلوسکوپ را به یکی از خروجی‌ها متصل نمایید.

(۹) فرکانس خروجی را اندازه‌گیری نموده و شکل موج خروجی را رسم کنید.

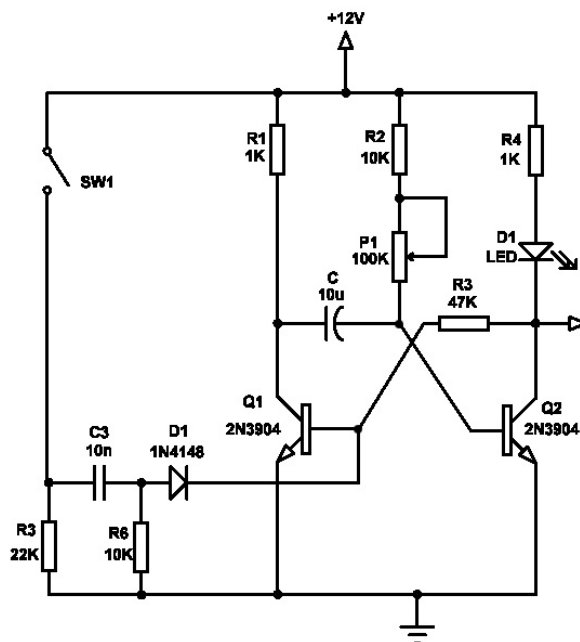
شکل ۲-۱۱

- (۱۰) جامپر شماره ۴ را خارج نموده و جامپر شماره ۲ را جایگزین نمایید.
- (۱۱) پتانسیومتر  $P1$  را به طور تصادفی بچرخانید و نتیجه را در شکل موج خروجی مشاهده نمایید.
- (۱۲) حداکثر و حداقل فرکانس خروجی چقدر است؟

## آزمایش دوم: مولتی‌ویبراتور تک‌حالته (Monostable)

مراحل آزمایش:

(۱) جامپر شماره ۱ را در Block2 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۱۲-۲

(۲) سیم‌های تغذیه (+12V, GND) را در Block2 متصل نمایید.

(۳) کلید SW1 را به صورت لحظه‌ای فشرده و نتیجه را در LED مشاهده نمایید.

(۴) پتانسیومتر P1 را به طور تصادفی چرخانده و با فشردن لحظه‌ای SW1، نتیجه را در LED مشاهده نمایید.

(۵) جامپر شماره ۱ را خارج نموده و جامپر شماره ۲ را جایگزین نمایید.

(۶) سیگنال ژنراتور را روی موج مربعی با فرکانس 5KHz و دامنه 5Vp-p قرار داده و به ورودی اعمال نمایید.

اسیلوسکوپ را به ورودی و خروجی متصل نموده و شکل موج خروجی را نسبت به ورودی مشاهده نمایید. (شکل ۱۳-۲)



شکل ۲-۱۳

(۷) پتانسیومتر P1 را به طور تصادفی چرخانده نتیجه را در شکل موج خروجی مشاهده نمایید.

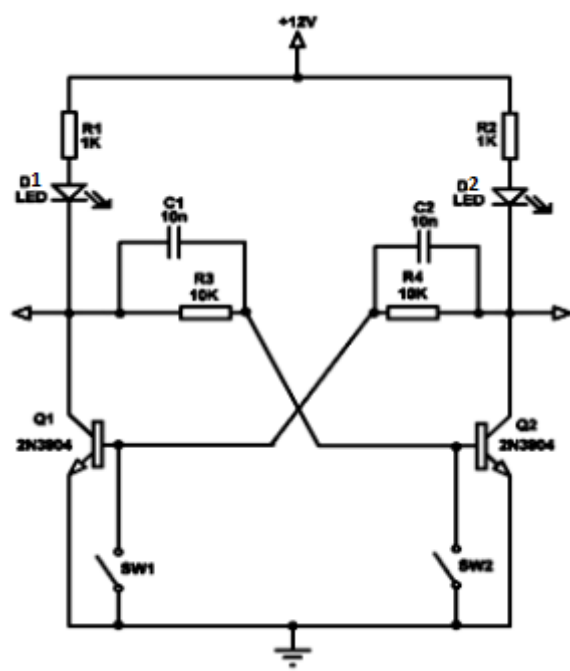
(۸) پتانسیومتر P1 را در وسط قرار داده و شکل موج‌های ورودی و خروجی را رسم نمایید.

(۹) نقش C3 و R6 در این مدار چیست؟

## آزمایش سوم: مولتی ویبراتور دو حالته (Bistable)

مراحل آزمایش:

(۱) سیم‌های تغذیه (GND, +12V) را در Block4 متصل نمایید.



شکل ۱۴-۲

(۲) با فشردن کلیدهای SW1 و SW2 به صورت تصادفی، نتیجه را در LEDها مشاهده نمایید.

(۳) هر دو کلید SW1 و SW2 را با هم بفشارید و نتیجه را در LEDها مشاهده نمایید.

(۴) جدول صحت مدار را رسم نمایید.

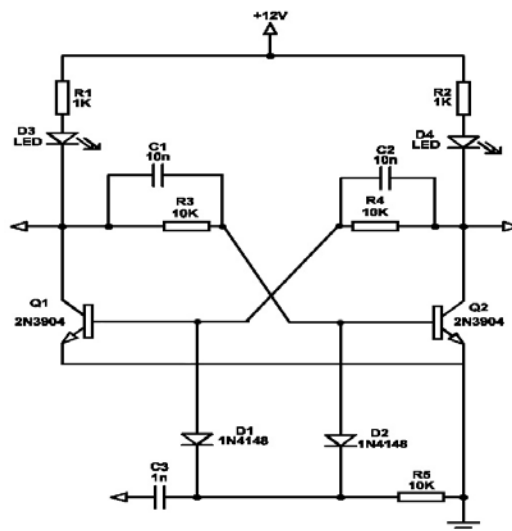
جدول ۱-۲

SW1	SW2	LED1	LED2
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

## آزمایش چهارم: تقسیم کننده فرکانس

مراحل آزمایش:

(۱) جامپر شماره ۱ و ۲ را در Block4 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۲-۱۵

(۲) سیم‌های تغذیه (GND, +12V) را در Block4 متصل نمایید.

(۳) سیگنال ژنراتور را روی موج مربعی با فرکانس 1KHz و دامنه 5Vp-p قرار داده و به ورودی اعمال نمایید.

(۴) شکل موج  $V_{in}$  و  $V_{out1}$  را به طور همزمان در اسیلوسکوپ مشاهده نمایید.

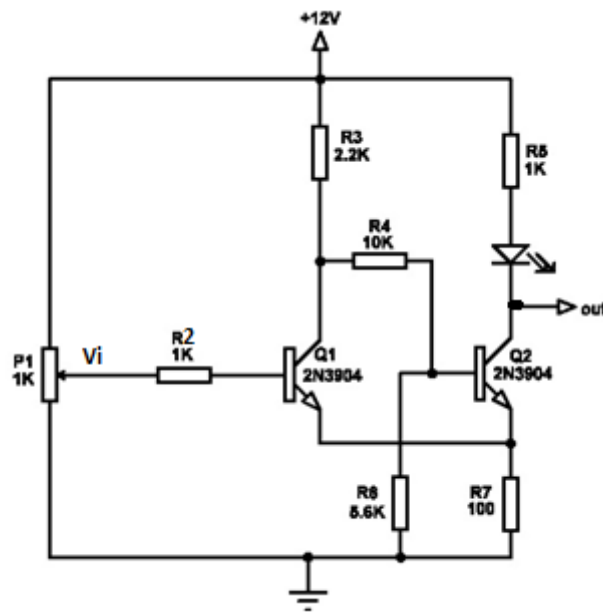
شکل ۲-۱۶

(۵) چه نسبتی بین فرکانس سیگنال‌های ورودی و خروجی وجود دارد؟

## آزمایش پنجم: اشmitt تریگر (Schmitt Trigger)

مراحل آزمایش:

(۱) جامپر شماره ۲ را در Block5 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۱۷-۲

(۲) سیم‌های تغذیه (+12V, GND) را در Block5 متصل نمایید.

(۳) پتانسیومتر P1 را تا منتهی‌الیه سمت راست بچرخانید تا ولتاژ 0V در ورودی قرار گیرد. سپس به آرامی پتانسیومتر را به

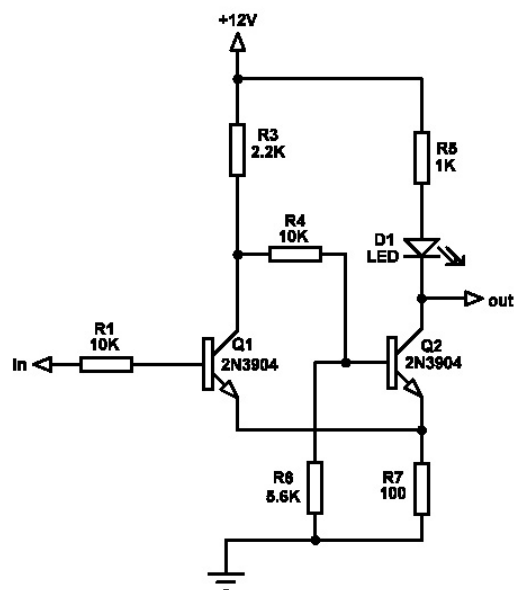
سمت چپ بچرخانید و به LED توجه نمایید. در لحظه خاموش شدن LED، ولتاژ ورودی را اندازه‌گیری و ثبت نمایید.

(۴) پتانسیومتر P1 را تا منتهی‌الیه سمت چپ بچرخانید تا ولتاژ 12V در ورودی قرار گیرد. سپس به آرامی پتانسیومتر را به

سمت راست بچرخانید و به LED توجه نمایید. در لحظه روشن شدن LED، ولتاژ ورودی را اندازه‌گیری و ثبت نمایید.

(۵) با توجه به ولتاژهای بدست آمده، منحنی خروجی نسبت به ورودی را رسم کنید.

(۶) جامپر شماره ۲ را خارج نموده و جامپر شماره ۱ را جایگزین نمایید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۲-۱۸

۷) سیگنال سینوسی با فرکانس 1KHz و دامنه 6Vp-p به ورودی اعمال نمایید.

۸) شکل موج خروجی را نسبت به ورودی رسم نمایید.

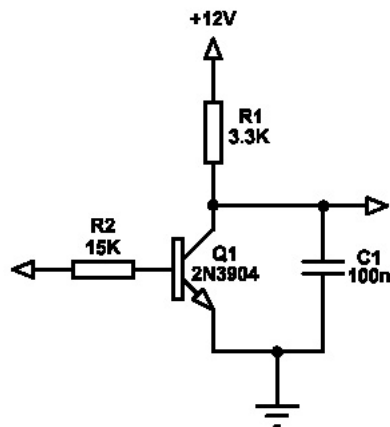
شکل ۲-۱۹

۹) دامنه سیگنال ورودی را به طور تصادفی تغییر داده و نتیجه آن را در شدت نور LED و شکل موج خروجی بررسی نمایید.

## آزمایش ششم: مولد موج مورب (Ramp)

مراحل آزمایش:

(۱) جامپر شماره ۱ و ۳ را در Block3 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۲-۲۰

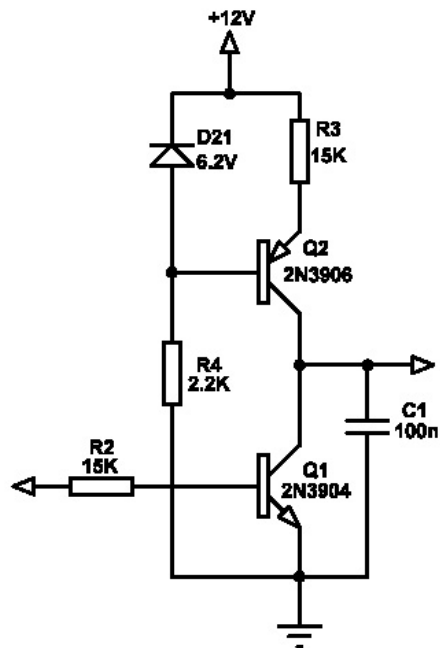
(۲) سیم‌های تغذیه (+12V, GND) را در Block3 متصل نمایید.

(۳) موج مربعی 1KHz با دامنه 5Vp-p با ورودی اعمال نمایید.

(۴) شکل موج‌های ورودی و خروجی را به طور همزمان در اسیلوسکوپ مشاهده نموده و رسم نمایید.

شکل ۲-۲۱

(۵) جامپرهای شماره ۱ و ۳ را خارج نموده و جامپرهای شماره ۲ و ۴ را قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۲-۲۲

(۶) مراحل (۳) و (۴) را تکرار نمایید.

شکل ۲-۲۳

(۷) توضیح دهید که تفاوت بین سیگنال خروجی دو مدار فوق چیست و از کجا ناشی شده است؟

## فصل سوم

### مدارات مولتی ویبراتور با آی سی 555

#### اهداف:

- یادگیری اصول مدارات مولتی ویبراتور با آی سی 555
- یادگیری نکات عملی کار با مولتی ویبراتورهای مبتنی بر آی سی 555

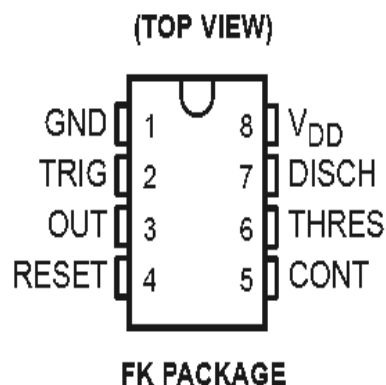


## مقدمه

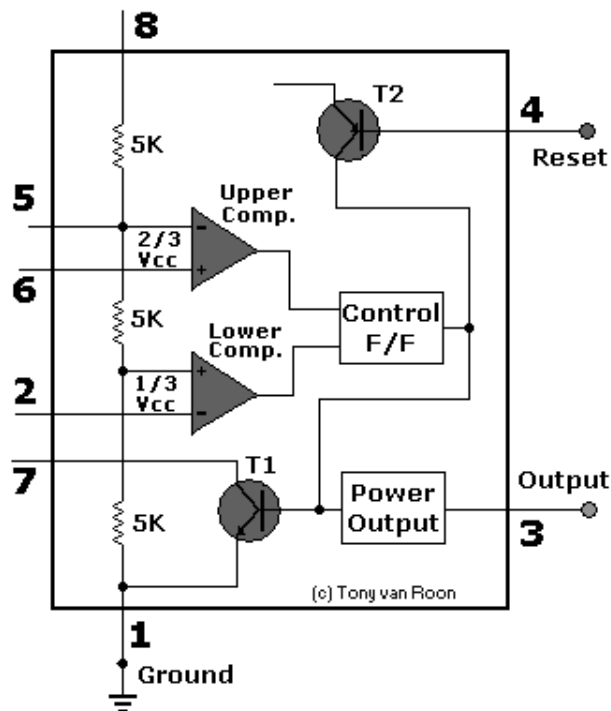
آی سی ۵۵۵ جزء آی سی های تایمر محسوب می شود. دارای کاربرد فراوانی در مدارات و بخصوص در تکنیک پالس می باشد. به علت ساختمان و نوع طراحی، با این IC و چند عدد مقاومت و خازن می توان انواع مدارات منواستابل و آستابل و مدارات تایمر و مولد شکل موج را طراحی و اجرا نمود.

مزیت این IC تولید تایم بیس های (time base) نسبتاً دقیق (بدون استفاده از کریستال، تقریباً مستقل از تغییرات ولتاژ منبع تغذیه و حرارت می باشد. این IC در بسته های ۸ پایه DIP دو ردیف پایه قرینه در طرفین (Dual Inline Package) و نوع دیگر Metal can package (قابلمه ای) که در انواع قدیمی تر و یا در جاهایی که دفع حرارت بیشتر مورد نیاز باشد، ساخته می شود.

ولتاژ تغذیه IC چیزی بین ۵ تا ۱۵ ولت و حداکثر ۱۸ ولت است. خروجی این IC (پایه ۳) دارای دو سطح ولتاژ بالا نزدیک به VCC و پائین نزدیک به (GND) است و باری را که تا ۲۰۰ میلی آمپر جریان بکشد، می تواند تغذیه کند. از این رو مستقیماً بسیاری از رله ها و یا بلندگوها و... را بدون استفاده از طبقات تقویت کننده جریان اضافی با این IC می توان تحریک نمود. برای بررسی نحوه کار IC ابتدا مدار داخلی آن را به صورت شماتیک بررسی می کنیم.



شکل ۱-۳



شکل ۲-۳

## پایه‌های IC:

### تغذیه

پایه ۸ به یک ولتاژ مثبت و پایه ۱ به زمین وصل می‌شود. تا تغذیه IC فراهم گردد در شمای داخلی خطوط تغذیه فلیپ فلاپ، مقایسه کننده، بافر تقویت کننده جریان و VREF رسم نشده است، با توجه به شکل ولتاژ VCC روی سه عدد مقاومت ۵ کیلو اهمی (وجه تسمیه این IC یعنی ۵۵۵) تقسیم شده و با توجه به امپدانس ورودی زیاد مقایسه کننده‌ها، ولتاژهای  $\frac{2}{3}VCC$  و  $\frac{1}{3}VCC$  را به ترتیب در ورودی منفی تقویت کننده اول و ورودی مثبت مقایسه کننده دوم بوجود می‌آورد.

### خروجی

پایه ۳ از طریق یک تقویت کننده جریان، ولتاژ خروجی فلیپ فلاپ را برای استفاده به خارج IC منتقل می‌کند.

## تریگر

چنانچه ولتاژ پایه ۲ از  $\frac{1}{3}V_{CC}$  کمتر شود، با توجه به ورودی‌های مقایسه کننده آنالوگ دوم خروجی این مقایسه کننده بالا رفته و باعث ست شدن فلیپ فلاپ  $Q=1$  ( که با لبه بالا رونده کار می‌کند) می‌گردد. یعنی خروجی فلیپ فلاپ یا خروجی خود IC در این حالت بالا می‌رود و حتی اگر ولتاژ پایه ۲ باز هم از  $\frac{1}{3}V_{CC}$  بیشتر شود و خروجی مقایسه کننده پایین بیاید تغییری در خروجی مشاهده نمی‌شود.

چنانچه ولتاژ پایه ۶ از  $\frac{2}{3}V_{CC}$  یا ولتاژ پایه ۵ بیشتر شود، با توجه به ورودی‌های مقایسه کننده اول، خروجی مقایسه کننده High شده و فلیپ فلاپ را Reset و خروجی IC را صفر می‌کند.

## دشارژ

همانطور که از روی شکل پیداست، هنگامی که فلیپ فلاپ ست باشد خروجی  $Q'$  فلیپ فلاپ ترانزیستور  $Q1$  را قطع خواهد کرد ولتاژ بیس صفر می‌شود، اما در هنگام Reset ترانزیستور اشباع شده، پایه ۷ به زمین وصل می‌شود. از این عمل بیشتر برای تخلیه خازن و رفتن به سیکل بعدی تایمینگ استفاده می‌شود. ولی بسته به نوع مدار و نظر طراح، می‌تواند استفاده‌های دیگری هم داشته باشد.

## کنترل ولتاژ

اگر بخواهیم ولتاژ آستانه بالایی ( $V_U$ ) و آستانه پایینی ( $V_L$ ) به ترتیب در ورودی منفی مقایسه کننده اول و ورودی مثبت مقایسه کننده دوم، همان  $2/3V_{CC}$  و  $V_{CC}/3$  بماند با پایه (۵) کاری نداریم فقط برای تثبیت تغییرات ناگهانی ولتاژ (ناشی از عدم تثبیت تغذیه یا عوامل دیگر بخصوص در زمان تغییر وضعیت فلیپ فلاپ) این پایه را با یک خازن  $0.001$  تا  $0.1$  میکرو فاراد با کیفیت خوب وصل می‌کنیم. آزاد گذاشتن این پایه در فرکانس‌های کم و جاهائی که منبع تغذیه دارای تثبیت خوبی است و نویز کم است، اشکالی ندارد. اما چنانچه بخواهیم ولتاژهای آستانه را خودمان تغییر داده یا کنترل کنیم با اعمال هر منبع ولتاژی (با مقاومت داخلی در حدود کمتر از ۵ کیلو اهم) به پایه ۵، همان ولتاژ برابر  $V_U$  و نصف آن برابر  $V_L$  خواهد بود. از این پایه برای مدولاسیون پهنای پالس یا کنترل تاخیر بوسیله ولتاژ .... استفاده می‌شود.

## Reset

پایه ۴ در صورت عدم استفاده معمولاً با یک مقاومت یا به طور مستقیم به پایه ۸ (VCC) وصل می‌شود، تا احتمالاً نویز یا الکتریسیته القایی باعث تحریک ناخواسته آن نشود. در صورتیکه بخواهیم از این پایه استفاده کنیم معمولاً آن را با یک مقاومت به VCC وصل می‌کنیم و هنگامیکه این پایه حتی برای یک لحظه زمین شود، ترانزیستور Q2 اشباع شده  $V_{ref}$  رابه فلیپ فلاپ اعمال کرده باعث ریست شدن آن می‌شود. Reset شدن فلیپ فلاپ توسط پایه ۴ مستقل از وضعیت پایه‌های ۲ و ۶ بوده و خروجی IC حتماً Low می‌شود.

## طرز کار 555

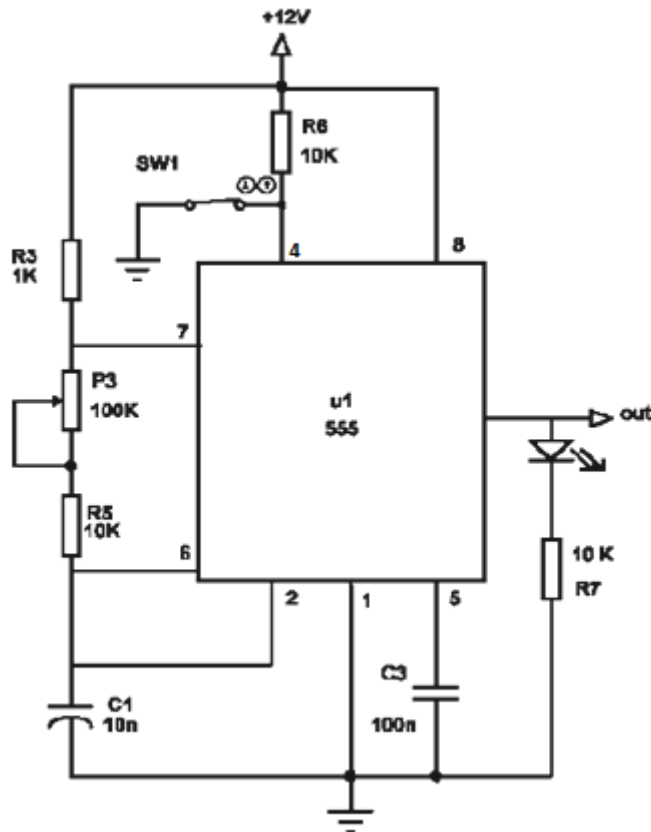
این مدار شامل دو مقایسه کننده با یک فلیپ فلاپ RS؛ ترانزیستور تخلیه، بافر خروجی و مقسم ولتاژ شامل سه مقاومت ۵کیلو اهمی می‌باشد. مقسم مقاومتی، ولتاژ پایه معکوس کننده مقایسه کننده ۱ را در ولتاژ  $\frac{2}{3}V_{CC}$  و ولتاژ پایه غیر معکوس کننده ۲ را در ولتاژ  $\frac{1}{3}V_{CC}$  قرار می‌دهد.

چنانچه ورودی تریگر کمتر از ولتاژ پایه معکوس کننده مقایسه کننده (۲)،  $V_{CC}/3$  شود، خروجی این مقایسه کننده در سطح ولتاژ بالا قرار گرفته و خروجی فلیپ فلاپ Q در سطح ولتاژ بالا قرار خواهد گرفت و ترانزیستور تخلیه قطع می‌شود.

از طرف دیگر اگر ورودی آستانه که به پایه غیر معکوس کننده مقایسه کننده (۱) اعمال می‌شود بیش از  $\frac{2}{3}V_{CC}$  شود خروجی در سطح ولتاژ بالا قرار گرفته و فلیپ فلاپ ریست می‌شود و در نتیجه ترانزیستور تخلیه وصل (اشباع) خواهد شد.

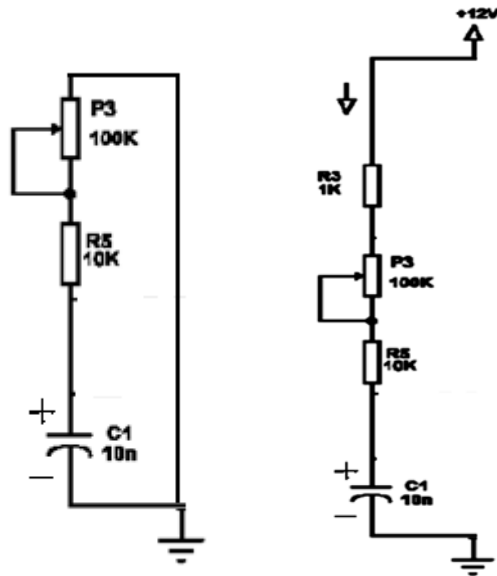
چند نمونه از کاربردها:

### مولتی ویبراتور Astable با 555



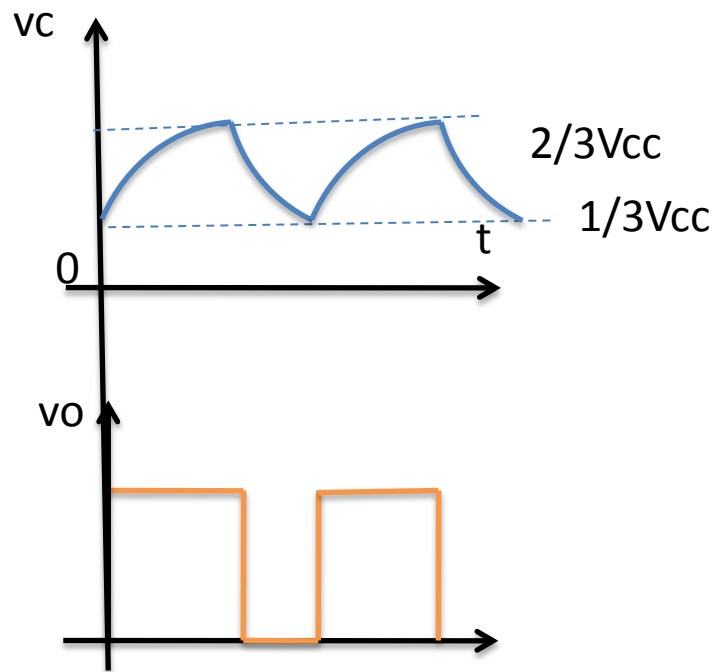
شکل ۳-۳

مدار ساده مولتی ویبراتور آستابل یک مولد مربعی نیز می باشد که نیازی به ورودی تریگر ندارد. مدت زمانی که خروجی در حالت بالا و یا پایین قرار دارد به ترتیب با مقاومت های  $R_3$  و  $R_5 + P_3$  مشخص می شود. وقتی ولتاژ خروجی در حالت بالا قرار دارد در این صورت ولتاژ خازن با ثابت زمانی  $T = (R_5 + P_3 + R_3)C$  به سمت  $V_{CC}$  میل می کند.



شکل ۳-۴

هنگامیکه که ولتاژ آن به  $\frac{2}{3}V_{CC}$  رسید ولتاژ خروجی به سطح ولتاژ پایین تغییر حالت می‌دهد و خازن از طریق مقاومت  $\frac{2}{3}V_{CC}$  را تخلیه خواهد شد. همچنین وقتی به  $V_{CC}/3$  برسد تغییر حالت خروجی دوباره اتفاق می‌افتد.



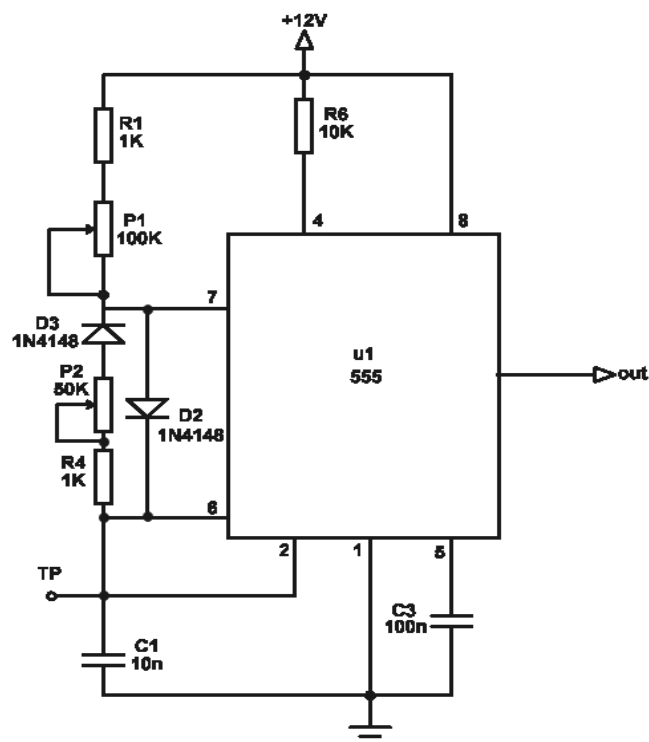
شکل ۳-۵

$$f = \frac{1}{T_1 + T_2}$$

$$T_1 = \ln 2 (R_5 + P_3 + R_3)C \text{ شارژ}$$

$$T_2 = \ln 3 (R_5 + P_3)C \text{ دشارژ}$$

نوسان ساز موج مربعی با زمان پالس و دوره تناوب قابل تغییر



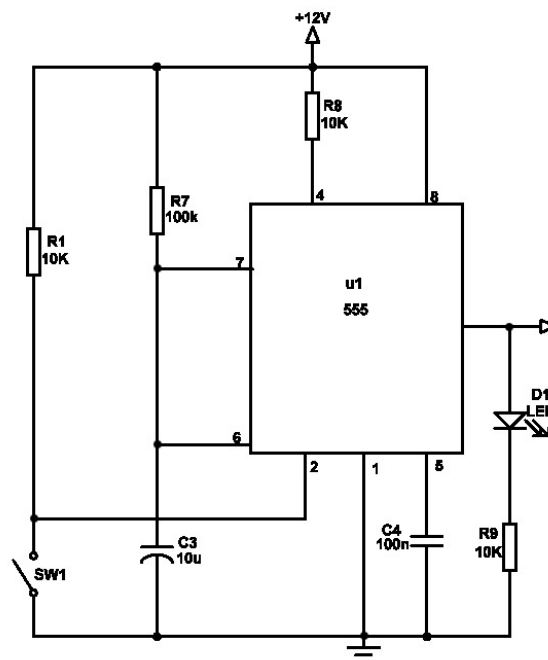
شکل ۳-۶

عملکرد این مدار مشابه مدار قبل می باشد با این تفاوت که به دلیل استفاده از مقاومت های متغیر و مجزا برای مرحله شارژ و دشارژ خازن، میزان ثابت زمانی هر کدام متفاوت و قابل کنترل می باشد.

$$T_1 = \ln 2 (R_1 + P_1)C \text{ شارژ}$$

$$T_2 = \ln 3 (R_4 + P_2)C \text{ دشارژ}$$

## مولتی ویبراتور مونو استابل



شکل ۳-۷

در حالت پایدار مدار مونو استابل، ولتاژ خروجی تقریباً صفر است و خازن تخلیه می‌باشد. در این حالت فلیپ فلاپ داخل ۵۵۵ ریست بوده و ترانزیستور اول در حالت اشباع می‌باشد. با اعمال پالس باریک در ورودی تریگر پایه ۲ با سطح ولتاژ کمتر از  $\frac{V_{CC}}{3}$ ، مولتی ویبراتور تریگر می‌شود و بنابراین خروجی در سطح پایین قرار می‌گیرد و ترانزیستور قطع می‌شود. به این ترتیب خازن از طریق مقاومت R7 با ثابت  $\tau = R_7 C_3$  به سمت مقدار نهایی شارژ می‌شود.

زمانیکه ولتاژ خازن به  $\frac{2 V_{CC}}{3}$  برسد فلیپ فلاپ داخلی ریست شده و خروجی فلیپ فلاپ تغییر حالت می‌دهد. در نتیجه ترانزیستور اشباع شده و خازن به سرعت تخلیه می‌گردد.

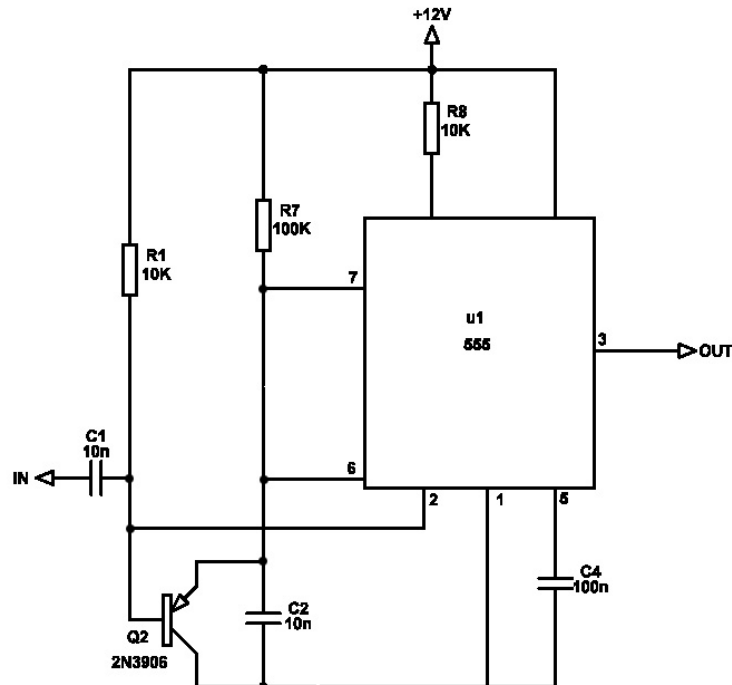
با توجه به شارژ خازن C از مقدار تقریبی 0 تا  $\frac{2 V_{CC}}{3}$  با ثابت زمانی  $\tau = R_7 C_3$  بنابراین زمان دوام پالس خروجی بصورت زیر بدست می‌آید.

$$T = R_7 C_3 RC \ln \left( \frac{V_{CC}-0}{V_{CC}-\frac{2}{3}V_{CC}} \right) = R_7 C_3 \ln (3) \approx 1.1 R_7 C_3$$

زمان دوام پالس تریگر نباید از پهنای پالس خروجی بزرگ‌تر باشد. در این صورت در پایان هر پالس خروجی زمان سنج خود را تریگر خواهد نمود و کنترل زمان سنج از دست خواهد رفت.



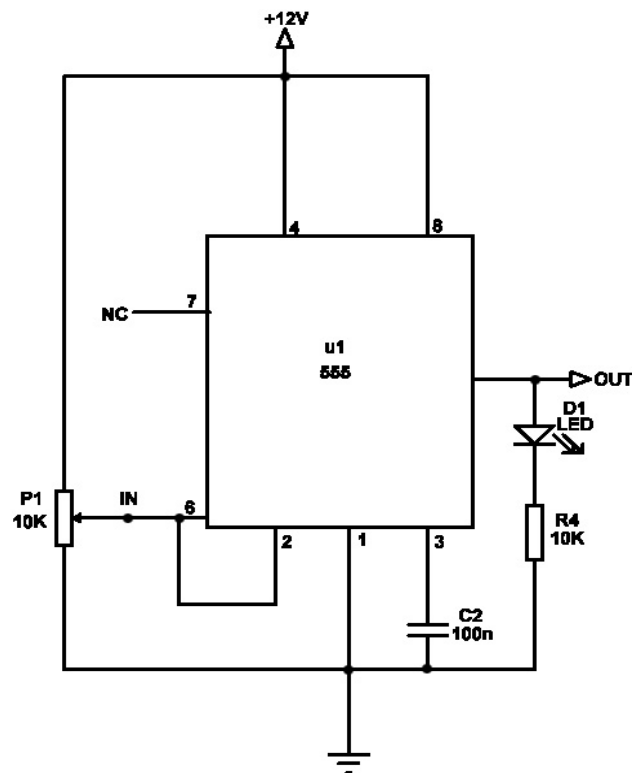
## مولتی ویبراتور مونو استابل دوباره تریگر شونده



شکل ۳-۸

تفاوت این مدار با حالت قبل در آنست که یک ترانزیستور PNP بین ورودی تریگر و پایه 6 اضافه شده است و کلکتور آن زمین می‌باشد. بنابراین در مدت زمان شارژ خازن از 5V تا  $\frac{2V_{CC}}{3}$ ، اگر پالس تریگری مجدداً به مدار اعمال شود ترانزیستور وصل و اشباع می‌شود و خازن را سریعاً تخلیه می‌کند و سیکل جدید پر شدن خازن مجدداً از صفر ولت شروع می‌شود و به همین علت مونواستابل دوباره تریگر شونده نامیده می‌شود.

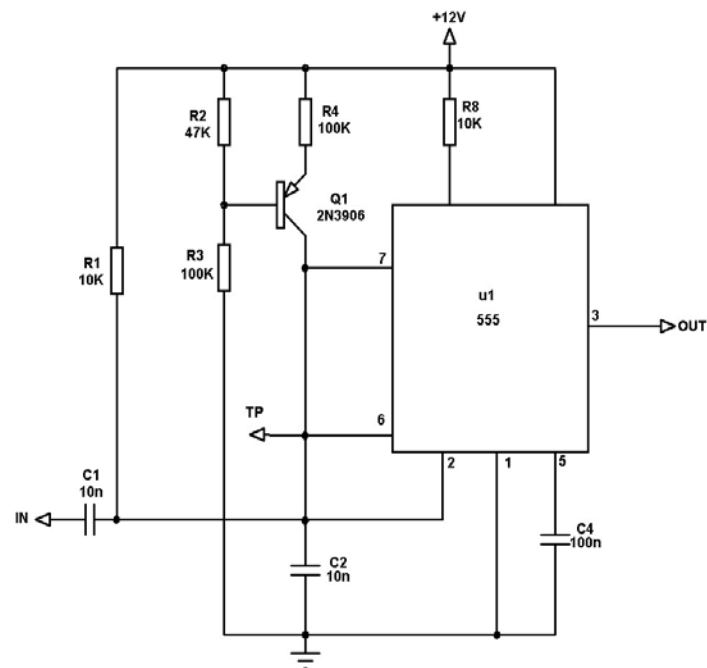
### اشمیت تریگر (Schmitt Trigger) با 555



شکل ۳-۹

سیگنال ورودی به پایه‌های آستانه و تریگر به طور همزمان اعمال می‌شود. وقتی ولتاژ ورودی کمتر از  $\frac{V_{CC}}{3}$  باشد ولتاژ خروجی تقریباً  $V_{CC}$  و اگر ولتاژ ورودی بیش از  $\frac{2V_{CC}}{3}$  شود ولتاژ خروجی تقریباً صفر می‌شود. باید توجه کرد که سیگنال ورودی اشمیت تریگر نباید کمتر از صفر و یا بیشتر از  $V_{CC}$  باشد.

## مولد موج مورب (Ramp) با 555



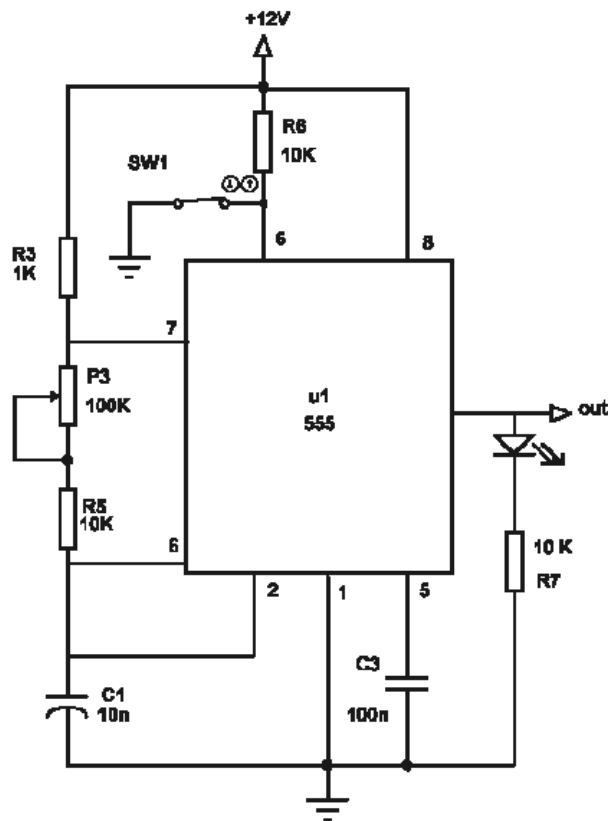
شکل ۳-۱۰

با استفاده از مدار مولتی ویبراتور آستابل می توان یک مولد موج مورب (دندان اره ای) بدست آورد. برای این منظور بایستی خازن C2 با استفاده یک منبع جریان ثابت شارژ نمود. در مدار بالا از یک ترانزیستور به عنوان منبع جریان استفاده شده است. جریان پر شدن خازن همان جریان کلکتور می باشد. خازن از ولتاژ  $\frac{V_{cc}}{3}$  تا  $\frac{2V_{cc}}{3}$  با جریان ثابت پر می شود. خازن از طریق مقاومت خارجی ترانزیستور از طریق پایه تخلیه 7 به درون 555 تخلیه می شود. با توجه به آن که ورودی تریگر به ولتاژ خازن متصل شده است بنابراین مدار یک نوسان ساز دائمی موج مورب است. لذا در مواردی که تنها لازم است یک پالس مورب تولید شود، می توان به ورودی تریگر پالس مناسب اعمال نمود.

## آزمایش اول: مولتی ویبراتور ناپایدار (Astable)

مراحل آزمایش:

(۱) جامپرهای شماره ۳ و ۶ و ۸ و ۹ را در Block6 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۱۱-۳

(۲) سیم‌های تغذیه (+12V, GND) را در Block6 متصل نمایید.

(۳) چه پاسخی در خروجی مشاهده می‌کنید؟

(۴) توضیح دهید کدام المان‌ها سرعت چشمک زدن LED را تعیین می‌کنند؟

(۵) پتانسیومتر P3 را به طور تصادفی بچرخانید و نتیجه را در LED مشاهده نمایید.

(۶) جامپر شماره ۸ را خارج نموده و جامپر شماره ۷ را جایگزین نمایید.

(۷) پتانسیومتر P3 را در حالت وسط قرار داده و شکل موج‌های نقاط OUT و TP را در اسیلوسکوپ مشاهده نموده و رسم

نمایید.

شکل ۳-۱۲

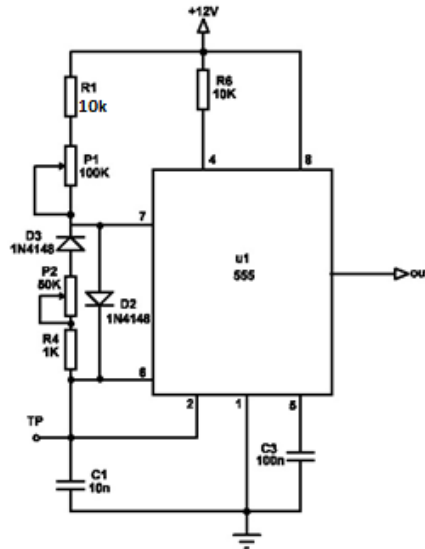
۸) حداکثر و حداقل فرکانس خروجی چقدر است؟

۹) کلید SW1 را بفشارید و نتیجه را در خروجی مشاهده نمایید. نقش این کلید در مدار چیست؟

## آزمایش دوم: نوسان ساز موج مربعی با زمان پالس و دوره تناوب قابل تغییر

مراحل آزمایش:

(۱) جامپرهای شماره ۲ و ۴ و ۵ و ۷ را در Block6 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۳-۱۳

(۲) سیم‌های تغذیه (+12V, GND) را در Block6 متصل نمایید.

(۳) سیگنال‌های OUT و TP را در اسیلوسکوپ مشاهده نمایید.

شکل ۳-۱۴

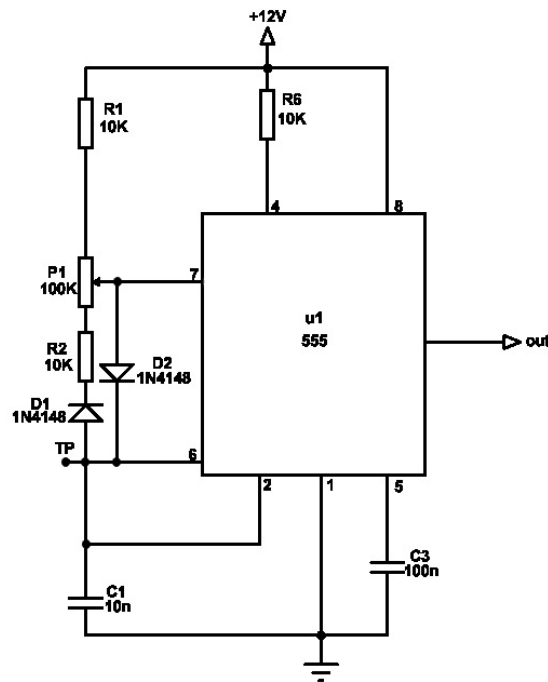
(۴) پتانسیومترهای P1 و P2 را به طور تصادفی تغییر داده و نتیجه را در شکل موج خروجی مشاهده نمایید. توضیح دهید

هرکدام از این پتانسیومترها چه نقشی در مدار دارند؟

## آزمایش سوم: نوسان ساز موج مربعی با فرکانس ثابت و عرض پالس قابل تغییر

مراحل آزمایش:

(۱) جامپرهای شماره ۱ و ۲ و ۴ و ۷ را در Block6 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۳-۱۵

(۲) سیم‌های تغذیه (+12V, GND) را در Block6 متصل نمایید.

(۳) سیگنال‌های OUT و TP را در اسیلوسکوپ مشاهده نمایید.

شکل ۳-۱۶

۴) پتانسیومتر P1 را با طور تصادفی چرخانده و نتیجه را در خروجی مشاهده نمایید. نقش این پتانسیومتر در خروجی چیست؟

۵) پتانسیومتر P1 را تا منتهی‌الیه سمت چپ چرخانده سپس شکل موج نقاط OUT و TP را رسم نمایید.

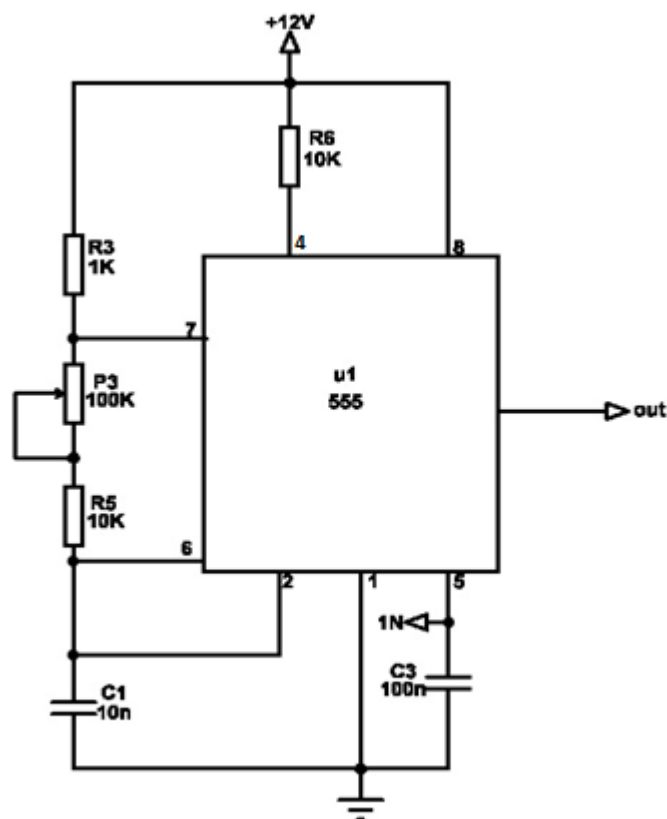
۶) پتانسیومتر P1 را تا منتهی‌الیه سمت راست چرخانده و سپس شکل موج نقاط OUT و TP را رسم نمایید.



## آزمایش چهارم: نوسان ساز کنترل شده با ولتاژ (VCO)

### مراحل آزمایش:

(۱) جامپرهای شماره ۳ و ۶ و ۷ را در Block6 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۳-۱۷

(۲) سیم‌های تغذیه (+12V, GND) را در Block6 متصل نمایید.

(۳) پتانسیومتر P3 را طوری تنظیم نمایید تا فرکانس مربعی 1KHz در خروجی تشکیل شود.

(۴) یک ولتاژ متغیر بین 0V تا 12V به ورودی IN2 (پین شماره ۵ آی سی) اعمال نمایید و نتیجه را در فرکانس خروجی

مشاهده نمایید. (اگر از ولتاژ 0V-15V منبع تغذیه استفاده می‌کنید باید دقت داشته باشید. زیرا ولتاژ پین پنجم آی سی

555 در این مدار نباید ولتاژی بیش از 12V داشته باشد و در صورت اعمال ولتاژ بالاتر از 12V احتمال سوختن آی سی

وجود دارد)

شکل ۱۸-۳

(۵) فرکانس خروجی را به ازای مقادیر ولتاژ ورودی طبق جدول زیر اندازه گیری و ثبت نمایید.

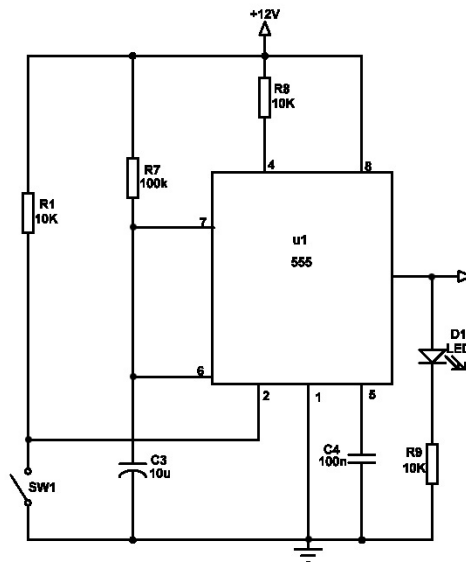
جدول ۱-۳

Vin	3V	5V	7V	9V	11V
Fout					

## آزمایش پنجم: مولتی ویبراتور تک حالت (Monostable)

مراحل آزمایش:

(۱) جامپرهای شماره ۱ و ۵ و ۷ و ۸ را در Block7 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۳-۱۹

(۲) سیم‌های تغذیه (+12V, GND) را در Block7 متصل نمایید.

(۳) کلید SW1 را به صورت لحظه‌ای فشرده و نتیجه را در LED مشاهده نمایید.

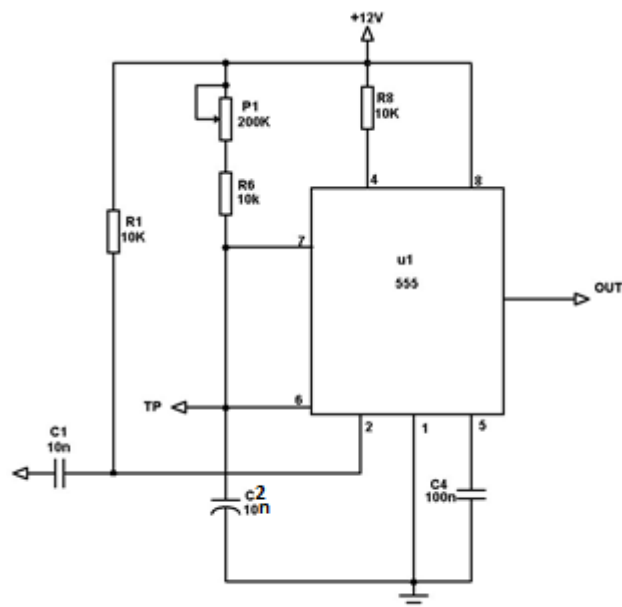
(۴) اسیلوسکوپ را به  $T_p$  و خروجی متصل نمایید و نتیجه را در اسیلوسکوپ مشاهده نمایید.

شکل ۳-۲۰

- (۵) جامپر شماره ۵ را خارج نموده و جامپر شماره ۴ را جایگزین نمایید.
- (۶) پتانسیومتر P1 را به طور تصادفی چرخانده و با فشردن لحظه‌ای SW1، نتیجه را در LED مشاهده نمایید.
- (۷) اسیلوسکوپ را به Tp و خروجی متصل نمایید و نتیجه را در اسیلوسکوپ مشاهده نمایید. توضیح دهید خازن تا چه سطح ولتاژی شارژ و دشارژ می‌شود.

شکل ۳-۲۱

- (۸) جامپر شماره ۷ را خارج نموده و جامپر شماره ۶ را جایگزین نمایید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۳-۲۲

۹) سیگنال ژنراتور را روی موج مربعی با فرکانس 200Hz و دامنه 12Vp-p قرار داده و به ورودی اعمال نمایید.

۱۰) اسیلوسکوپ را به ورودی و خروجی متصل نموده و شکل موج خروجی را نسبت به ورودی مشاهده نمایید.

۱۱) پتانسیومتر P1 را به طور تصادفی چرخانده نتیجه را در شکل موج خروجی مشاهده نمایید.

۱۲) پتانسیومتر P1 را در وسط قرار داده و شکل موج‌های IN و OUT و TP را رسم نمایید.

شکل ۳-۲۳. IN & OUT

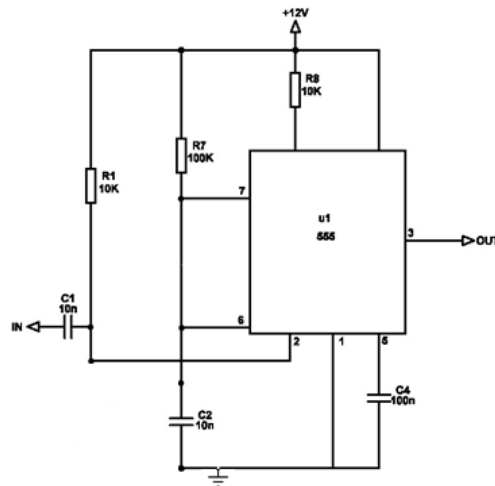
شکل ۳-۲۴. IN & TP

۱۳) حداکثر و حداقل زمان پالس در این مدار چقدر است؟

## آزمایش ششم: مولتی ویبراتور تک حالت دوباره تریگر شونده

### مراحل آزمایش:

(۱) جامپرهای شماره ۱ و ۵ و ۶ را در Block7 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۳-۲۵

(۲) سیم‌های تغذیه (+12V, GND) را در Block7 متصل نمایید.

(۳) سیگنال ژنراتور را روی موج مربعی با فرکانس 100Hz و دامنه 12Vp-p قرار داده و به ورودی اعمال نمایید.

(۴) اسیلوسکوپ را به ورودی و خروجی متصل نموده و شکل موج خروجی را نسبت به ورودی مشاهده نمایید.

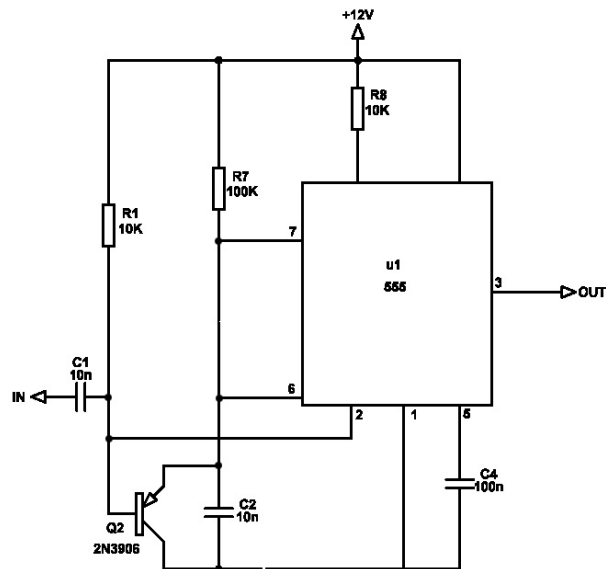
(۵) زمان پالس را اندازه‌گیری و ثبت نمایید.

(۶) فرکانس ورودی را به آرامی بالا ببرید تا دوره تناوب سیگنال ورودی از زمان پالس سیگنال خروجی کمتر شود. چه اتفاقی

در این هنگام در مدار رخ می‌دهد؟

شکل ۳-۲۶

(۷) اکنون جامپر شماره ۲ را اضافه نمایید تا ترانزیستور Q2 وارد مدار گردد.



شکل ۳-۲۷

(۸) تأثیر این ترانزیستور را در سیگنال خروجی مشاهده نمایید.

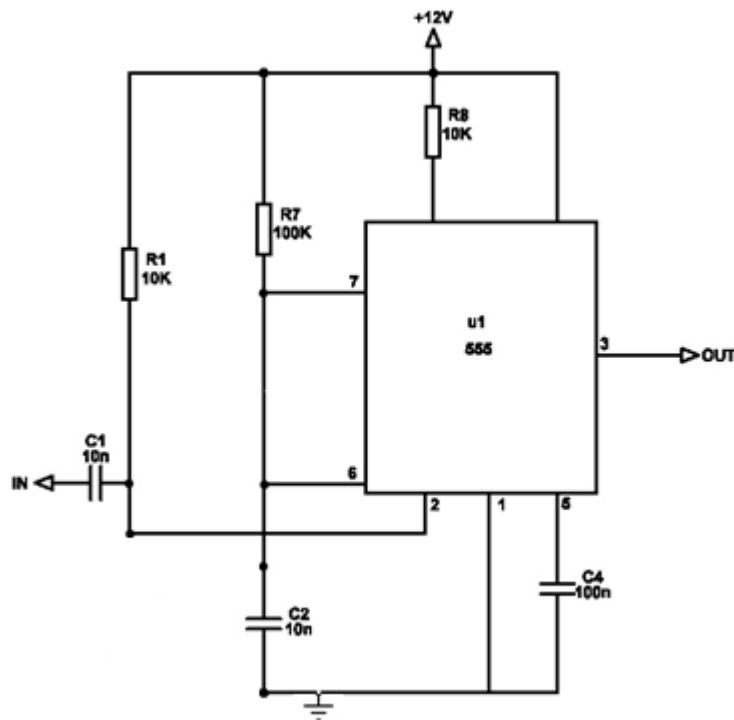
شکل ۳-۲۸

(۹) توضیح دهید نقش این ترانزیستور در مدار چیست و چگونه مشکل بالا را مرتفع می کند؟

## آزمایش هفتم: مولد موج مورب (Ramp)

مراحل آزمایش:

(۱) جامپرهای شماره ۱ و ۵ و ۶ را در Block7 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۳-۲۹

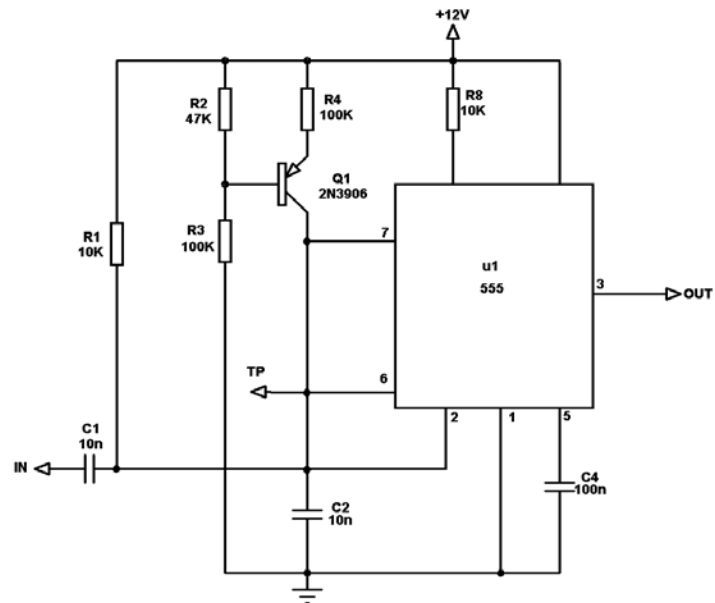
(۲) سیم‌های تغذیه (+12V, GND) را در Block7 متصل نمایید.

(۳) سیگنال ژنراتور را روی موج مربعی با فرکانس 200Hz و دامنه 12Vp-p قرار داده و به ورودی اعمال نمایید.

(۴) اسیلوسکوپ را به نقطه TP



۵) جامپر شماره ۵ را خارج نموده و جامپر شماره ۳ را جایگزین نمایید تا شکل زیر حاصل شود.



شکل ۳-۳۱

۶) چه تغییری در شکل موج نقطه TP حاصل شده است؟ چرا؟

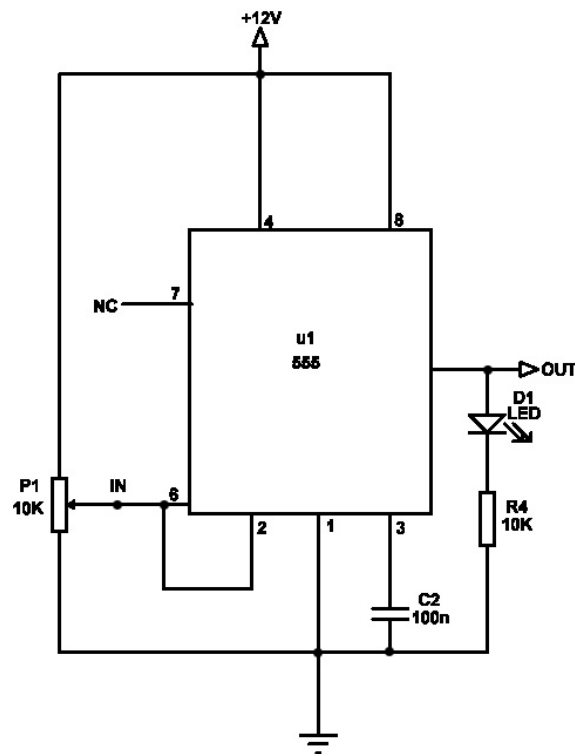
۷) شکل موج ایجاد شده را رسم نمایید.

شکل ۳-۳۲

## آزمایش هشتم: اشمیت تریگر (Schmitt Trigger)

مراحل آزمایش:

(۱) جامپرهای شماره ۲ و ۳ را در Block8 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۳-۳۳

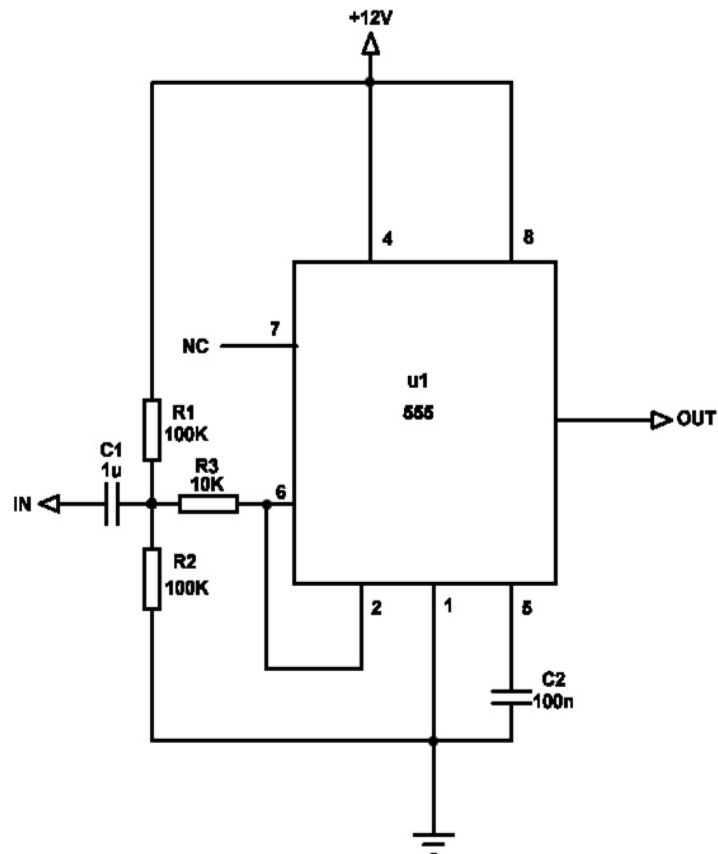
(۲) سیم‌های تغذیه (+12V, GND) را در Block8 متصل نمایید.

(۳) پتانسیومتر P1 را تا منتهی‌الیه سمت راست بچرخانید تا ولتاژ 0V در ورودی قرار گیرد. سپس به آرامی پتانسیومتر را به سمت چپ بچرخانید و به LED توجه نمایید. در لحظه خاموش شدن LED، ولتاژ ورودی را اندازه‌گیری و ثبت نمایید.

(۴) پتانسیومتر P1 را تا منتهی‌الیه سمت چپ بچرخانید تا ولتاژ 12V در ورودی قرار گیرد. سپس به آرامی پتانسیومتر را به سمت راست بچرخانید و به LED توجه نمایید. در لحظه روشن شدن LED، ولتاژ ورودی را اندازه‌گیری و ثبت نمایید.

(۵) با توجه به ولتاژهای بدست آمده، منحنی خروجی نسبت به ورودی را رسم کنید.

(۶) جامپر شماره ۲ را خارج نموده و جامپر شماره ۱ را جایگزین نمایید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۳- ۳۴

۷) سیگنال سینوسی با فرکانس 1KHz و دامنه 5Vp-p به ورودی اعمال نمایید.

۸) شکل موج خروجی را نسبت به شکل موج ورودی پایه ۲ آی سی رسم نمایید. سطح ولتاژهایی از موج ورودی که خروجی در آن تغییر وضعیت داده را اندازه گیری کنید.

شکل ۳- ۳۵

## فصل چهارم

### مدارات مولتی ویبراتور با OpAmp

#### اهداف:

- یادگیری اصول مدارات مولتی ویبراتور با OpAmp
- یادگیری نکات عملی کار با مولتی ویبراتورهای مبتنی بر OpAmp

## مقدمه

تقویت کننده‌های عملیاتی (Op-Amp (Operational Amplifier) از مهمترین مدارهای مجتمع آنالوگ هستند. این تقویت کننده‌ها با کوپلاژ مستقیم، بهره بسیار بالا، دارای مقاومت ورودی بسیار بزرگ و مقاومت خروجی خیلی کم می‌باشد. این مشخصات مناسب علی‌رغم محدودیت‌هایی مانند پاسخ فرکانس و سرعت چرخش (slew rate) کاربردهای متنوعی از این تقویت کننده‌ها را در مدارهای الکترونیکی و از جمله مدارهای پالس به همراه داشته است.

تقویت کننده‌های عملیاتی به دو صورت یکی با ولتاژ تغذیه و دیگری بدون ولتاژ تغذیه مطابق شکل زیر نشان داده می‌شوند. در شکل (ب) اتصالات منابع تغذیه که بالایی ولتاژ تغذیه مثبت (+VCC) و پایینی ولتاژ تغذیه منفی (-VCC) است نشان داده شده و در شکل (الف) اتصالات منابع تغذیه حذف شده است. که هر دو سمبل، نشان دهنده شکل تقویت کننده عملیاتی می‌باشد. که در اینجا تمام مدارات مطابق شکل (الف) رسم شده است. در این سمبل‌ها یکی از ورودی‌ها با علامت (+) و دیگری با علامت (-) مشخص شده است، که ورودی با علامت (+) را ورودی مثبت و ورودی با علامت (-) را ورودی منفی تقویت کننده عملیاتی گویند.

## ولتاژ تفاضلی تقویت کننده‌های عملیاتی

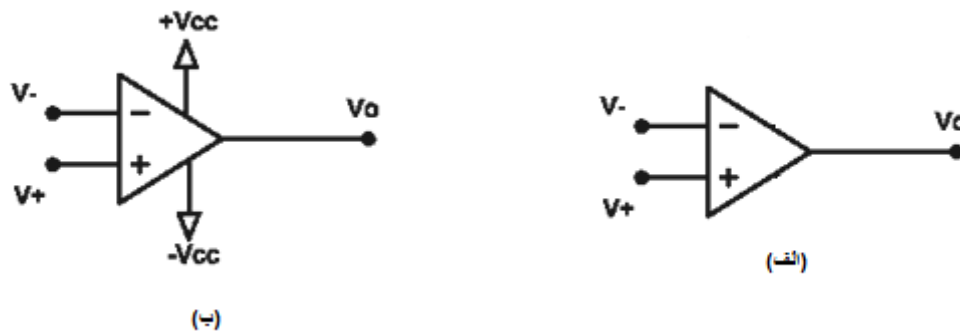
ولتاژ تفاضلی تقویت کننده‌های عملیاتی بصورت زیر تعریف می‌شود.

$$V_d = V^+ - V^-$$

یعنی اختلاف ولتاژ بین ورودی مثبت و ورودی منفی تقویت کننده عملیاتی را ولتاژ تفاضلی گویند. تقویت کننده‌های عملیاتی اکثراً با گین تفاضلی (حلقه باز) مشخص می‌شوند، که معمولاً گین این تقویت کننده‌ها با ورودی‌های DC و در فرکانس‌های خیلی کم، برابر ۱۰۰۰۰۰ یا بیشتر می‌باشد و مقدار این گین را با Ad نشان می‌دهند.

ولتاژ خروجی تقویت کننده‌های عملیاتی در حالت ایده‌آل بصورت زیر می‌باشد.

$$V_o = A_d(V^+ - V^-) = A_d V_d$$



شکل ۴-۱

بنابراین پاسخ خروجی تقویت کننده عملیاتی به اختلاف ولتاژ بین ورودی‌ها بستگی دارد چرا که اساس تقویت کننده‌های عملیاتی، تقویت کننده‌های تفاضلی می‌باشند. در هنگام استفاده از تقویت کننده‌های عملیاتی، بایستی به پایه‌های ورودی مثبت و منفی آن دقت کافی داشت تا اشتباه وصل نشوند. ولتاژ اعمالی به پایه‌های ورودی مثبت و منفی تقویت کننده عملیاتی می‌تواند ولتاژی با دامنه مثبت یا منفی باشد. اگر ولتاژ به ورودی مثبت اعمال شود تقویت کننده عملیاتی در حالت ورودی مستقیم بوده و اگر ولتاژ به ورودی منفی اعمال شود، تقویت کننده عملیاتی در حالت ورودی معکوس خواهد بود.

### اشباع

**ولتاژ اشباع مثبت:** ماکزیمم ولتاژ مثبتی که خروجی تقویت کننده عملیاتی می‌تواند داشته باشد، که در حالت ایده‌آل برابر ولتاژ تغذیه مثبت ( $+V_{CC}$ ) است، به ولتاژ اشباع مثبت تقویت کننده عملیاتی معروف است، که با  $+V_{sat}$  نشان می‌دهیم.

**ولتاژ اشباع منفی:** ماکزیمم ولتاژ منفی از نظر قدر مطلق که خروجی تقویت کننده عملیاتی می‌تواند داشته باشد، که در حالت ایده‌آل برابر ولتاژ تغذیه منفی ( $-V_{CC}$ ) است به ولتاژ اشباع منفی تقویت کننده عملیاتی معروف است که با  $-V_{ast}$  نشان می‌دهیم.

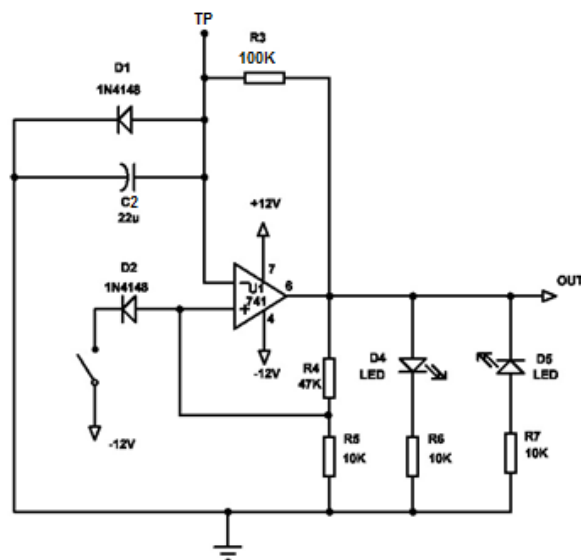
چون در عمل تقویت کننده‌های عملیاتی ایده‌آل نیستند لذا ولتاژ اشباع مثبت همیشه کم‌تر از ولتاژ تغذیه مثبت بوده و ولتاژ اشباع منفی از نظر قدر مطلق کمتر از ولتاژ تغذیه منفی می‌باشد.

$$|-V_{sat}| < |-V_{cc}|$$

$$+V_{sat} < +V_{cc}$$

که بطور نمونه مقادیر ولتاژهای اشباع مثبت و منفی با ولتاژ تغذیه  $\pm 15$  ولت، برابر  $\pm 13$  ولت می باشد. که این مقدار در تقویت کننده های عملیاتی متفاوت می باشد. بنابراین در عمل بعلت کم تر بودن ولتاژ اشباع از ولتاژ تغذیه، ناحیه عملکرد فعال تقویت کننده های عملیاتی بین ولتاژهای  $-V_{sat}$  و  $+V_{sat}$  محدود می شود.

### مولتی ویبراتور تک حالت (Monostable)

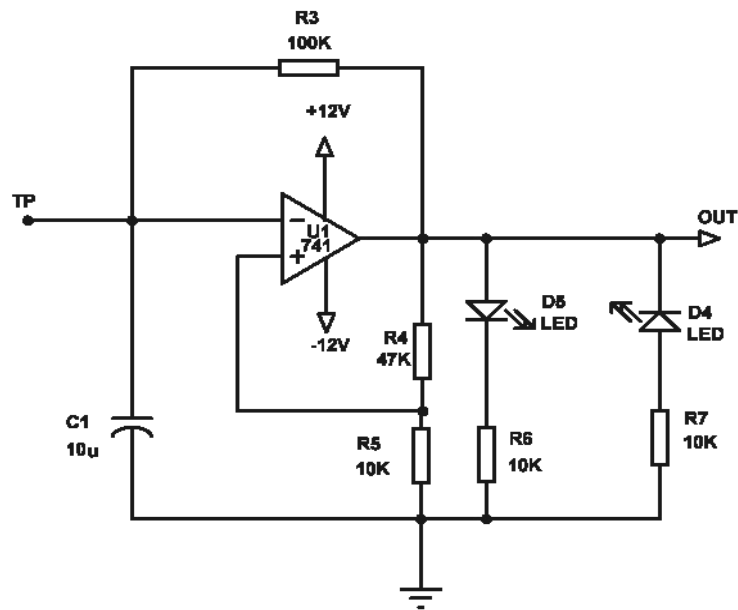


شکل ۴-۲

مدار فوق یک مولتی ویبراتور مونو استابل را با Op-Amp نشان می دهد. در شرایط پایدار مدار، ولتاژ خروجی مثبت است. خازن ها کاملاً پر شده اند و مدار باز هستند. دیود D1 در حالت هدایت بوده و ولتاژ خازن C1 برابر  $V_D = 0.7$  است. ولتاژ پایه منفی برابر  $0.7V$  و ولتاژ پایه مثبت برابر  $V_O = \frac{R_5}{R_4 + R_5} V_O$  است. با توجه به  $\beta V_O > 0.7V$  فرض اولیه درست می باشد.

با اعمال پالس تریگر در لحظه  $t = 0^+$ ، و با فرض آنکه دامنه آن از مقدار  $\beta V_O - 0.7V$  بزرگ تر باشد ولتاژ خروجی به مقدار  $v_O = -V_O$  تغییر حالت می دهد. ازین لحظه دیود D1 در حالت معکوس قرار می گیرد و قطع می شود و در نتیجه خازن از طریق مقاومت R3 از مقدار اولیه  $0.7V$  تا ولتاژ منفی  $-V_O$  پر می شود. اما در لحظه  $t = T$  که ولتاژ خازن که به پایه ی منفی Op-Amp نیز متصل است به مقدار  $V_C = -\beta V_O$  برسد، مجدداً حالت خروجی عوض شده و  $v_O = +V_O$  خواهد شد تا پالس تریگر بعدی اعمال شود. در این لحظه گرچه خروجی به حالت پایدار خود باز می گردد. اما عمل مدار خاتمه نیافته است و لازم است خازن C در جهت عکس پر شود. ولتاژ خازن از مقدار اولیه  $-\beta V_O$  با همان ثابت زمانی به سمت  $+V_O$  میل می کند.

## مولتی ویبراتور ناپایدار (Astable) با Op-Amp



شکل ۴-۳

در این مدار  $v_i$  اختلاف ولتاژ بین دو ورودی Op-Amp است:

$$v_i = v_c - \beta V_o$$

که برای مقادیر مختلف  $v_i$ ، خروجی مدار دارای دو مقدار ثابت است:

$$v_i < 0 \quad v_o = V_o$$

$$v_i > 0 \quad v_o = -V_o$$

بنابر این چنانچه فرض شود که در لحظه  $t = 0^+$ ، ولتاژ خازن که همان ولتاژ پایه منفی Op-Amp است از ولتاژ پایه منفی

$-\beta V_o$  کوچکتر است در این صورت ولتاژ خروجی  $v_o = -V_o$  خواهد بود. در نتیجه از این به بعد خازن C از طریق مقاومت R از

مقدار اولیه  $-\beta V_o$  با ثابت زمانی  $\tau = RC$  به سمت مقدار نهایی  $V_o$  پر می‌شود.

پس معادله شارژ خازن در لحظه  $t = 0$  بصورت رابطه زیر است.

$$V_c(t) = V_o \left( 1 - (1 + \beta) e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

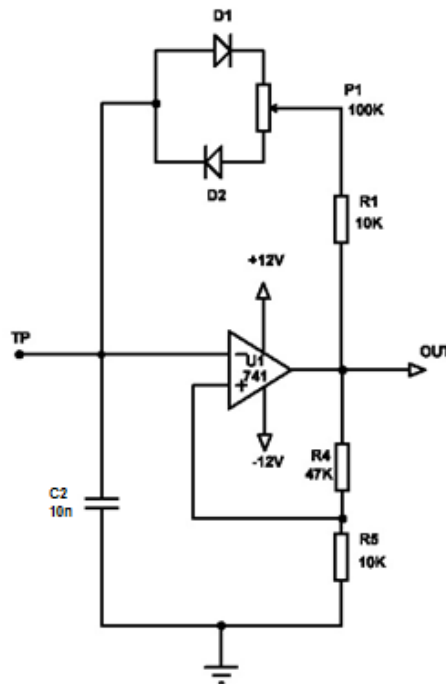


در لحظه  $t = \frac{T}{2}$  که ولتاژ خازن برابر  $\beta V_o$  می‌شود که تغییر حالت خروجی از  $+V_o$  به  $-V_o$  اتفاق می‌افتد. این بار خازن به صورت نمایی دشارژ شده و از مقدار اولیه  $\beta V_o$  به ولتاژ نهایی  $-V_o$  می‌رسد. در فاصله زمانی  $\frac{T}{2} < t < T$  مقدار ولتاژ خازن از رابطه بالا به دست می‌آید با این تفاوت که به جای  $V_o$  لازم است در رابطه  $-V_o$  قرار داد.

### نوسان ساز موج مربعی با فرکانس ثابت و عرض پالس قابل تغییر

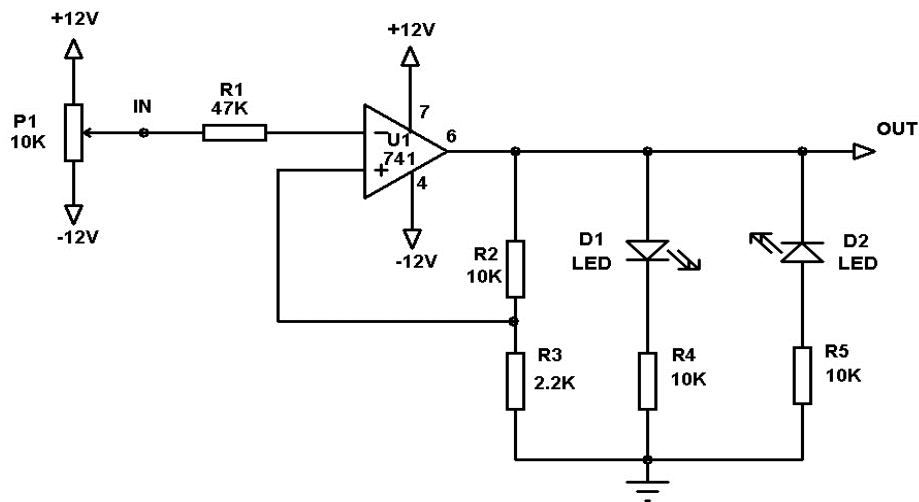
چنانچه لازم باشد در سیگنال مربعی تولید شده  $T_1 \neq T_2$  باشد می‌توان به جای مقاومت  $R$  درون مدار بالا از مدار زیر استفاده نمود.

که در آن از مقاومت، پتانسیومتر و دو دیود استفاده شده است. بنابراین ثابت زمانی شارژ و دشارژ خازن متفاوت می‌شود.



شکل ۴-۴

## مدار اشمیت ترینگر (Schmitt Trigger) با Op-Amp



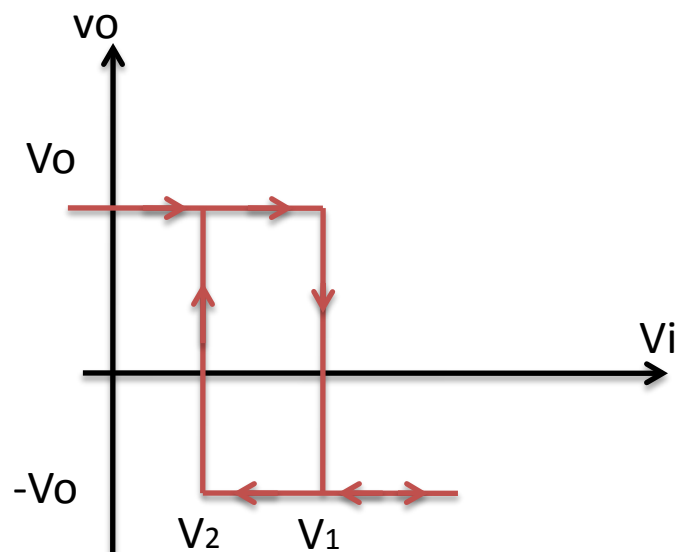
شکل ۴-۵

در اینجا با استفاده از دو مقاومت  $R2$  و  $R3$  بخشی از سیگنال خروجی را به پایه مثبت Op-Amp فیدبک می‌نمایند. فیدبک مدار از نوع مثبت است. در این مدار با فرض آنکه حد نهایی خروجی مقدار ثابت  $V_o$  است. چون ورودی  $v_i$  به پایه معکوس کننده داده شده است به ازای  $V_1 < v_i$  خروجی مقدار ثابت  $v_o = +V_o$  باقی می‌ماند و در این حالت  $V_1$  از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$V_1 = V_o \left( \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right)$$

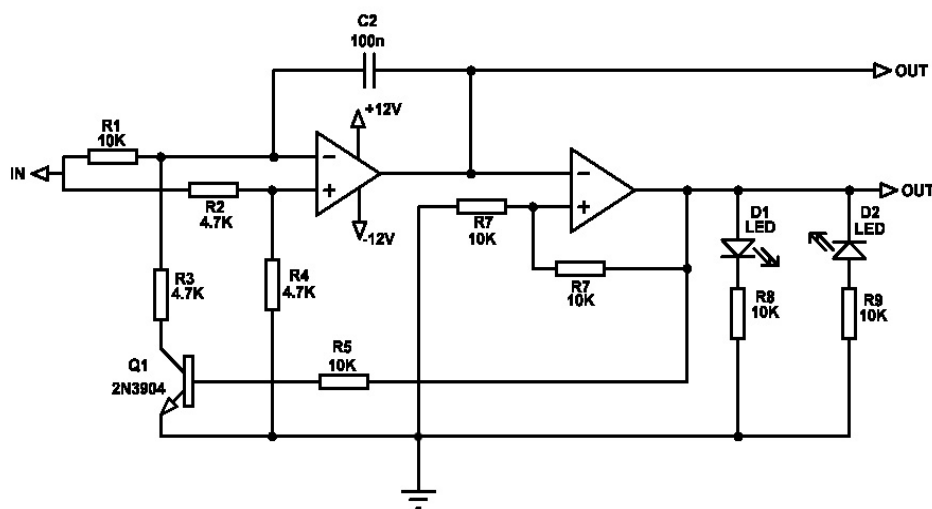
$V_1 < v_i$  خروجی مقدار ثابت  $v_o = +V_o$  باقی می‌ماند و با افزایش ولتاژ ورودی به محض اینکه به ولتاژ بحرانی  $V_1$  برسد خروجی تغییر حالت داده و ولتاژ خروجی  $v_o = -V_o$  خواهد شد. و تا زمانی که  $v_i > V_1$  باشد خروجی  $-V_o$  باقی می‌ماند. با کاهش ورودی تا زمانیکه  $v_i < V_2$  باشد تغییری در حالت خروجی رخ نمی‌دهد. و در  $v_i = V_2$  خروجی مجدداً  $+V_o$  می‌شود. چون  $V_1 > V_2$  است پس در مشخصه انتقال مدار هیستریزس وجود دارد.

$$V_2 = -V_o \left( \frac{R_3}{R_3 + R_2} \right)$$



شکل ۴-۶

نوسان ساز کنترل شده با ولتاژ (VCO)



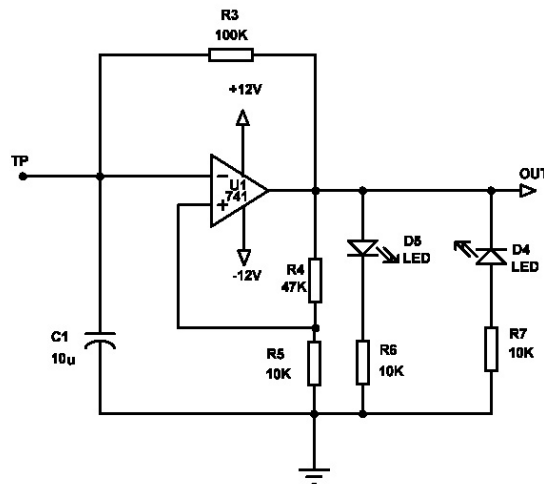
شکل ۴-۷

نوسان ساز کنترل شده با ولتاژ (VCO) برای کنترل فرکانس نوسان توسط ولتاژ طراحی شده است که در آن فرکانس نوسان متناسب با ولتاژ DC ورودی، تغییر می کند. در مدار مولد موج مربعی با اعمال ولتاژ در ورودی Op-Amp مداری بدست می آید که فرکانس آن متغیر است.

## آزمایش اول: مولتی ویبراتور ناپایدار (Astable)

### مراحل آزمایش:

(۱) جامپرهای شماره ۱ و ۵ و ۶ و ۷ را در Block9 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۴- ۸

(۲) سیم‌های تغذیه (+12V, GND, -۱۲) را در Block9 متصل نمایید.

(۳) چه پاسخی در خروجی مشاهده می‌کنید؟

(۴) توضیح دهید کدام المان‌ها سرعت چشمک زدن LEDها را تعیین می‌کنند؟

(۵) جامپر شماره ۵ را خارج نموده و جامپر شماره ۴ را جایگزین نمایید.

(۶) پتانسیومتر P2 را به طور تصادفی بچرخانید و نتیجه را در LED مشاهده نمایید.

(۷) جامپر شماره ۱ را خارج نموده و جامپر شماره ۲ را جایگزین نمایید.

(۸) پتانسیومتر P2 را در حالت وسط قرار داده و شکل موج‌های نقاط OUT و TP را در اسیلوسکوپ مشاهده نموده و رسم

نمایید.

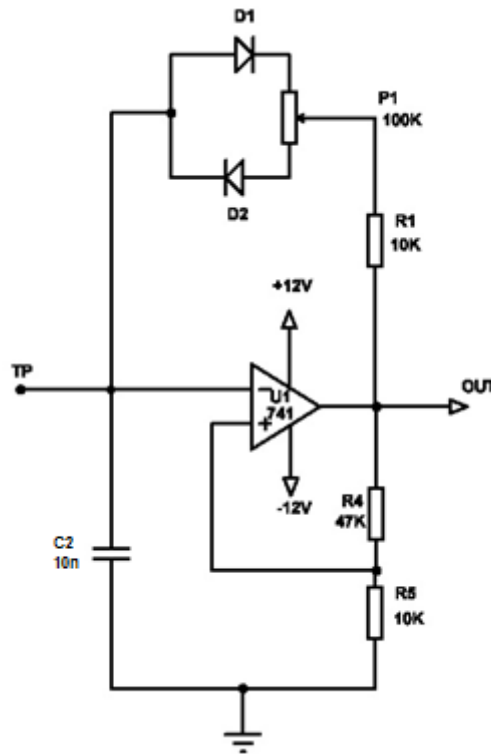
شکل ۴- ۹

۹) حداکثر و حداقل فرکانس خروجی چقدر است؟

## آزمایش دوم: نوسان ساز موج مربعی با فرکانس ثابت و عرض پالس قابل تغییر

مراحل آزمایش:

(۱) جامپرهای شماره ۲ و ۳ را در Block9 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۴-۱۰

(۲) سیم‌های تغذیه (+12V, GND, -12V) را در Block9 متصل نمایید.

(۳) اسیلوسکوپ را به نقاط OUT و TP متصل نمایید.

(۴) پتانسیومتر P1 را با طور تصادفی چرخانده و نتیجه را در خروجی مشاهده نمایید. نقش این پتانسیومتر در خروجی چیست؟

(۵) پتانسیومتر P1 را تا منتهی‌الیه سمت چپ چرخانده سپس شکل موج نقاط OUT و TP را رسم نمایید.

شکل ۴- ۱۱

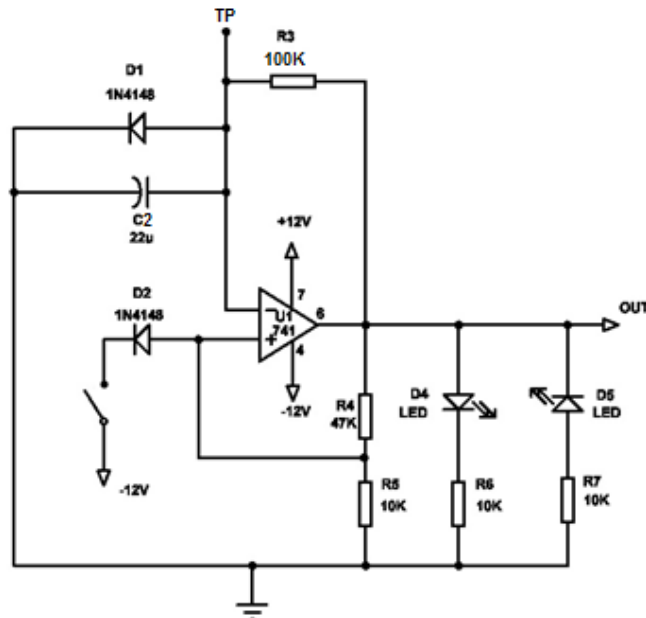
۶) پتانسیومتر P1 را تا منتهی الیه سمت راست چرخانده و سپس شکل موج نقاط OUT و TP را رسم نمایید.

شکل ۴- ۱۲

## آزمایش سوم: مولتی ویبراتور تک حالت (Monostable)

مراحل آزمایش:

(۱) جامپرهای شماره ۳ و ۴ و ۶ و ۷ را در Block10 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۴-۱۳

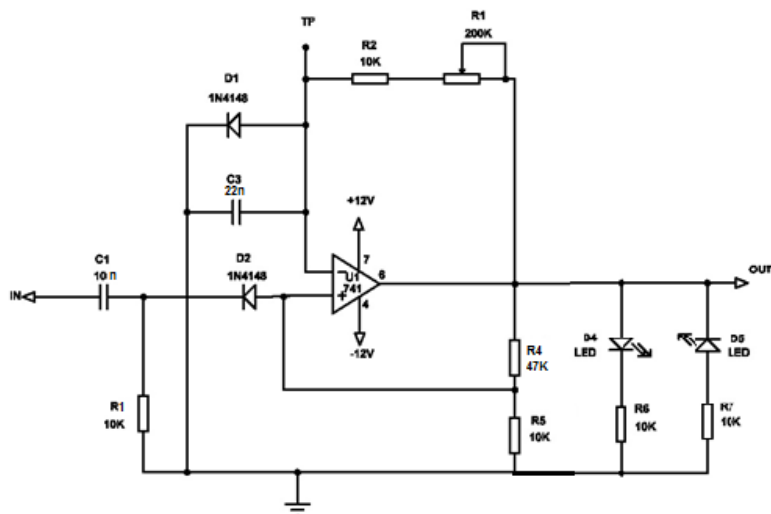
(۲) سیم‌های تغذیه (+12V, GND, -12V) را در Block10 متصل نمایید.

(۳) کلید SW1 را به صورت لحظه‌ای فشرده و نتیجه را در LED مشاهده نمایید.

(۴) جامپر شماره ۳ را خارج نموده و جامپر شماره ۲ را جایگزین نمایید.

(۵) پتانسیومتر P1 را به طور تصادفی چرخانده و با فشردن لحظه‌ای SW1، نتیجه را در LED مشاهده نمایید.

(۶) جامپر شماره ۴ را خارج نموده و جامپرهای شماره ۵ و ۱ را وارد مدار نمایید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۴-۱۴



- (۷) سیگنال ژنراتور را روی موج مربعی با فرکانس 500Hz و دامنه 12Vp-p قرار داده و به ورودی اعمال نمایید.
- (۸) اسیلوسکوپ را به ورودی و خروجی متصل نموده و شکل موج خروجی را نسبت به ورودی مشاهده نمایید.
- (۹) پتانسیومتر P1 را به طور تصادفی چرخانده نتیجه را در شکل موج خروجی مشاهده نمایید.
- (۱۰) پتانسیومتر P1 را در وسط قرار داده و شکل موج‌های IN و OUT و TP را رسم نمایید.

شکل ۴-۱۵. IN & OUT

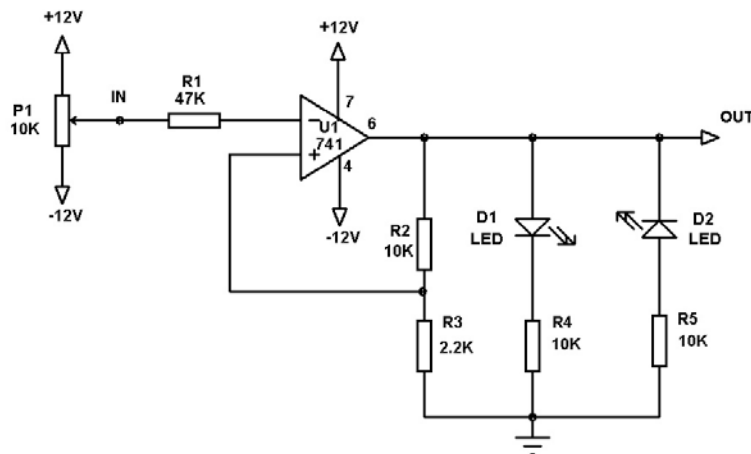
شکل ۴-۱۶. IN & TP

- (۱۱) حداکثر و حداقل زمان پالس در این مدار چقدر است؟

## آزمایش چهارم: مدار اشmitt تریگر (Schmitt Trigger)

مراحل آزمایش:

(۱) جامپرهای شماره ۱، ۲ و ۳ را در Block11 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۴- ۱۷

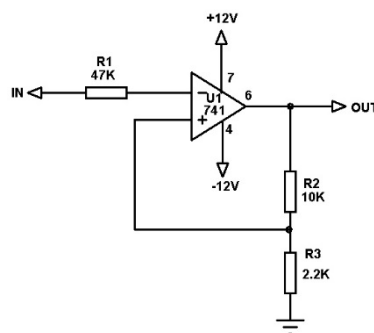
(۲) سیم‌های تغذیه (+12V, GND, -12V) را در Block11 متصل نمایید.

(۳) پتانسیومتر P1 را تا منتهی‌الیه سمت راست بچرخانید تا ولتاژ -12V در ورودی قرار گیرد. سپس به آرامی پتانسیومتر را به سمت چپ بچرخانید و به LED توجه نمایید. در لحظه خاموش شدن LED، ولتاژ ورودی را اندازه‌گیری و ثبت نمایید.

(۴) پتانسیومتر P1 را تا منتهی‌الیه سمت چپ بچرخانید تا ولتاژ +12V در ورودی قرار گیرد. سپس به آرامی پتانسیومتر را به سمت راست بچرخانید و به LED توجه نمایید. در لحظه روشن شدن LED، ولتاژ ورودی را اندازه‌گیری و ثبت نمایید.

(۵) با توجه به ولتاژهای بدست آمده، منحنی خروجی نسبت به ورودی را رسم کنید.

(۶) جامپر شماره ۱ را خارج نمایید.



شکل ۴- ۱۸

۷) سیگنال سینوسی با فرکانس 1KHz و دامنه 5Vp-p به ورودی اعمال نمایید.

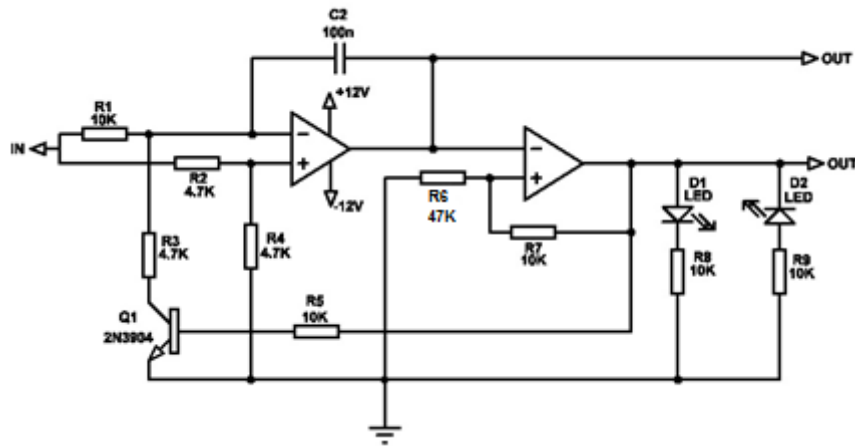
۹) شکل موج خروجی را نسبت به ورودی رسم نمایید. سطح ولتاژهایی از موج ورودی که خروجی در آن تغییر وضعیت داده را اندازه گیری کنید.

شکل ۴- ۱۹

## آزمایش پنجم: نوسان ساز کنترل شده با ولتاژ (VCO)

### مراحل آزمایش:

(۱) جامپرهای شماره ۲ و ۳ و ۴ را در Block12 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۴-۲۰

(۲) سیم‌های تغذیه (+12V, GND, -12V) را در Block12 متصل نمایید.

(۳) ولتاژ متغیر 0V-15V را به ورودی IN متصل نمایید.

(۴) ولتمتر را به ورودی متصل کنید تا ولتاژ DC ورودی را نشان دهد.

(۵) اسیلوسکوپ را به نقاط OUT1 و OUT2 متصل نمایید.

شکل ۴-۲۱

(۶) ولتاژ ورودی را به طور تصادفی تغییر دهید و نتیجه را در خروجی مشاهده نمایید.

۷) ولتاژ ورودی را روی 10Vdc قرار داده و شکل موج نقاط OUT1 و OUT2 را رسم نمایید.

۸) فرکانس خروجی را به ازای مقادیر ولتاژ ورودی طبق جدول زیر اندازه گیری و ثبت نمایید.

جدول ۱-۴

Vin	2V	4V	6V	8V	10V	12V	14V
Fout							

۹) جامپر شماره ۲ را خارج نموده و جامپر شماره ۱ را جایگزین نمایید.

۱۰) مرحله (۸) را تکرار نمایید.

جدول ۲-۴

Vin	2V	4V	6V	8V	10V	12V	14V
Fout							

## فصل پنجم

### مدارات مولتی ویبراتور با آی سی های TTL

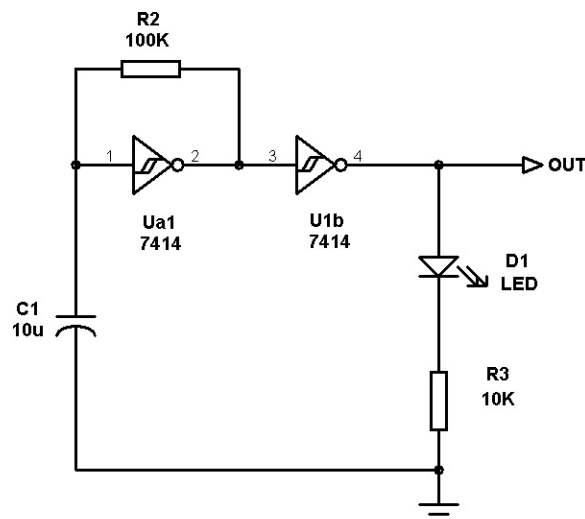
#### اهداف:

- یادگیری اصول مدارات مولتی ویبراتور با آی سی های TTL
- یادگیری نکات عملی کار با مولتی ویبراتورهای مبتنی بر آی سی های TTL

## مقدمه

مدارهای الکترونیکی که با آنها عملیات منطقی انجام می‌شود، مدارهای منطقی دیجیتال و یا به اختصار گیت‌های منطقی نامیده می‌شوند. در این مدارها از دو حالت 0 (سطح ولتاژ پایین) و 1 (سطح ولتاژ بالا) استفاده می‌شود. این حالت‌ها عموماً با دو ولتاژ مجزای  $V_H$  برای 1 منطقی و  $V_L$  برای 0 منطقی مشخص می‌شوند. چنانچه ولتاژ مربوط به حالت 1 بیش از ولتاژ حالت 0 باشد، گفته می‌شود در مدار از منطق مثبت استفاده شده و چنانچه کم‌تر باشد منطق منفی در مدار بکار رفته است.

## مولتی وایبراتور ناپایدار (Astable)

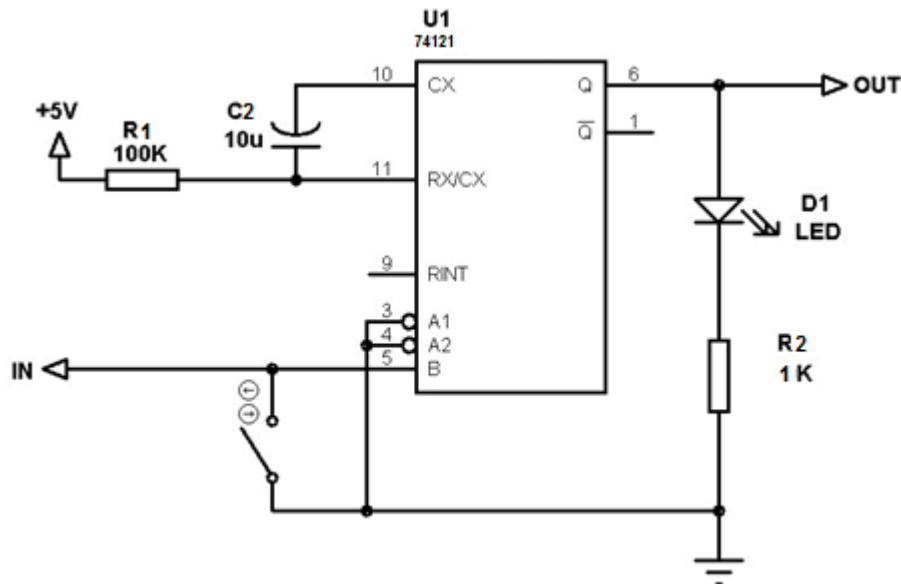


شکل ۵- ۱

در ابتدا به دلیل خالی بودن خازن ولتاژ آن صفر می‌باشد. به خاطر گیت NOT اول خروجی یک منطقی می‌شود یعنی ولتاژ  $V_H$  را در خروجی خود و روی پایه دوم مقاومت  $R_2$  اعمال می‌کند که به همین دلیل خازن از طریق مقاومت  $R_2$  شروع به شارژ شدن می‌کند. بخاطر گیت NOT دوم، ولتاژی که در خروجی دیده می‌شود برابر صفر منطقی و ولتاژ  $V_L$  می‌باشد که LED خاموش می‌ماند.

بعد از شارژ شدن خازن ولتاژ پایه NOT اول به مقدار یک منطقی یعنی  $V_H$  رسیده است و با عبور از دو گیت NOT ولتاژ خروجی برابر یک منطقی،  $V_H$  می‌شود که LED روشن می‌شود. دوباره این روند ادامه می‌یابد. تغییر مقادیر مقاومت و خازن، مقدار ثابت زمانی شارژ و دشارژ خازن را و در نتیجه میزان فرکانس پالس خروجی را تغییر می‌دهد.

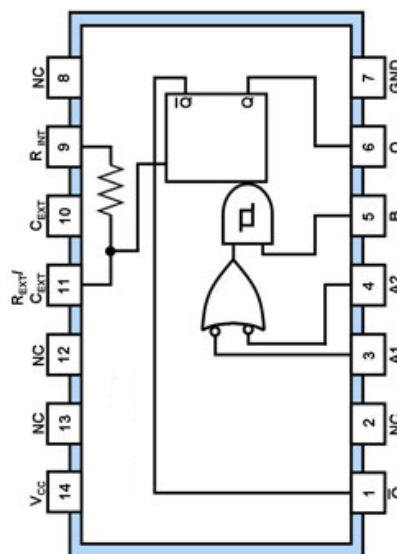
## مولتی ویبراتور تک حالت (Monostable)



شکل ۵-۲

این مولتی ویبراتور تک حالت است یعنی دارای یک حالت کار پایدار است و اگر به نحوی از این حالت خارج شود، پس از مدتی دوباره به این حالت بر می گردد، در این آزمایش از IC 74121 نیز که یک مولتی ویبراتور مونو استابل است استفاده می کنیم.

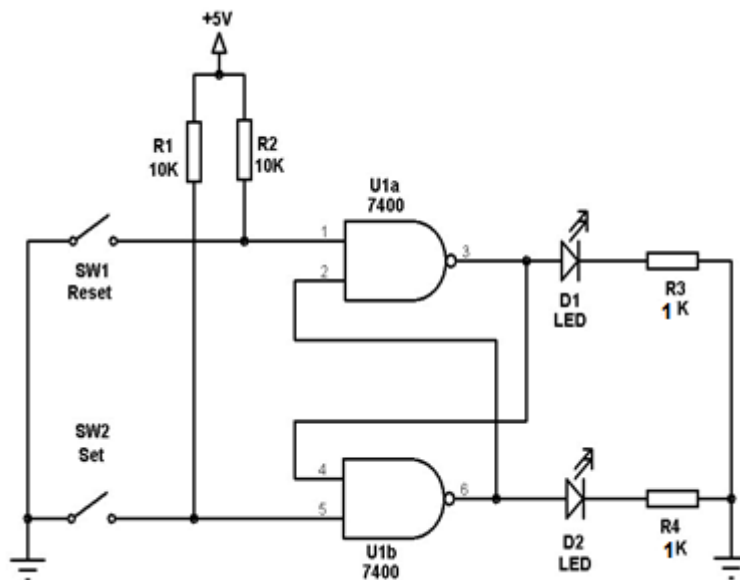
در این مدار پایه ۳ و ۴ برای تحریک توسط یک تابع ضربه می باشد که توسط یک پالس ترگر آن را تحریک می کنیم، پایه های ۹ و ۱۰ و ۱۱ عرض پالس را تعیین می کند، یعنی می توان گفت که کار خازن C2 و مقاومت R2 و R3 تولید پالس تحریک است؛ تحریک این مدار پایین رونده است یعنی در هنگام نزول ورودی تحریک می شود.





شکل ۵-۳

### مولتی ویراتور دو حالت (Bistable)



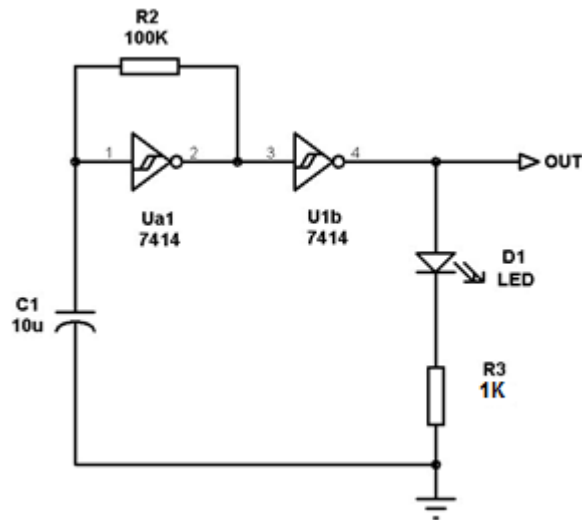
شکل ۵-۴

با استفاده از یک فلیپ فلاپ RS، می‌توان یک مولتی ویراتور بی‌استابل ساخت. به طوریکه با زدن کلید SW1 پایه بالایی فلیپ فلاپ صفر می‌شود و پایه پایینی برابر یک منطقی است. در نتیجه خروجی بالایی فلیپ فلاپ معادل یک و خروجی پایینی معادل صفر منطقی می‌شوند. که LED اول روشن می‌شود و برای حالت عکس آن که کلید SW2 فشرده شود LED دوم روشن می‌شود. زمانی که هر دو کلید با هم فشرده شود هر دو پایه فلیپ فلاپ صفر می‌شود و هر دو LED روشن می‌شود.

## آزمایش اول: مولتی ویبراتور ناپایدار (Astable)

### مراحل آزمایش:

(۱) جامپرهای شماره ۲ و ۳ و ۵ را در Block15 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۵-۵

(۲) سیم‌های تغذیه (+5V, GND) را در Block15 متصل نمایید (در اتصال تغذیه دقت داشته باشید. زیرا ولتاژ بیشتر از 5V باعث سوختن آی‌سی‌های TTL می‌شود).

(۳) چه پاسخی در خروجی مشاهده می‌کنید؟

(۴) توضیح دهید کدام المان‌ها سرعت چشمک زدن LED را تعیین می‌کنند؟

(۵) جامپر شماره ۲ را خارج نموده و جامپر شماره ۱ را جایگزین نمایید.

(۶) پتانسیومتر P1 را به طور تصادفی بچرخانید و نتیجه را در LED مشاهده نمایید.

(۷) جامپر شماره ۳ را خارج نموده و جامپر شماره ۴ را جایگزین نمایید.

(۸) پتانسیومتر P1 را در حالت وسط قرار داده و شکل موج OUT را در اسیلوسکوپ مشاهده نموده و رسم نمایید.

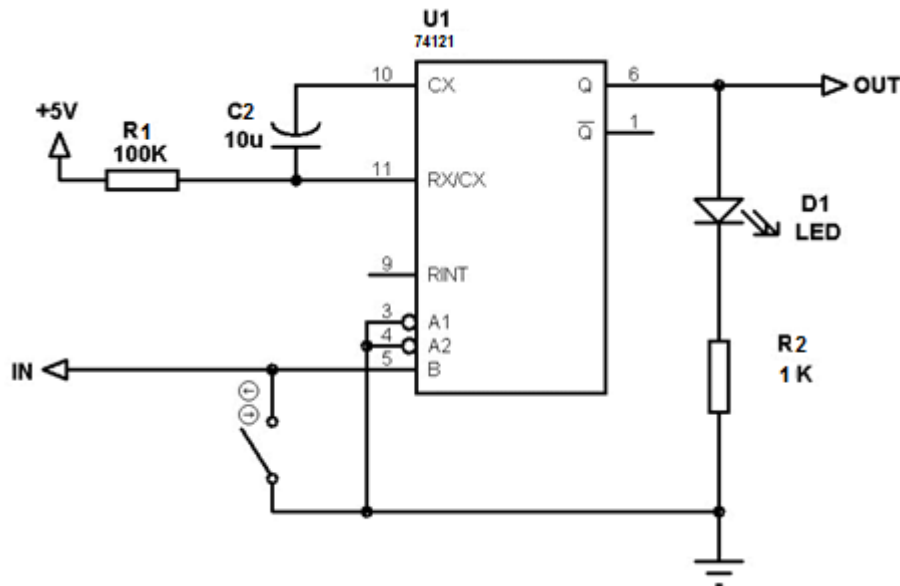
شکل ۵-۶

۹) حداکثر و حداقل فرکانس خروجی چقدر است؟

## آزمایش دوم: مولتی ویبراتور تک حالت (Monostable)

مراحل آزمایش:

(۱) جامپرهای شماره ۲ و ۳ و ۵ را در Block16 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



شکل ۵- ۷

- (۲) سیم‌های تغذیه (+5V, GND) را در Block16 متصل نمایید.
- (۳) کلید SW1 را به صورت لحظه‌ای فشرده و نتیجه را در LED مشاهده نمایید.
- (۴) جامپر شماره ۳ را خارج نموده و جامپر شماره ۴ را جایگزین نمایید.
- (۵) پتانسیومتر P1 را به طور تصادفی چرخانده و با فشردن لحظه‌ای SW1، نتیجه را در LED مشاهده نمایید.
- (۶) جامپر شماره ۲ را خارج نموده و جامپر شماره ۱ را جایگزین نمایید.
- (۷) سیگنال ژنراتور را روی موج مربعی با فرکانس 500Hz و دامنه 5Vp-p قرار داده و به ورودی اعمال نمایید.
- (۸) اسیلوسکوپ را به ورودی و خروجی متصل نموده و شکل موج خروجی را نسبت به ورودی مشاهده نمایید.
- (۹) پتانسیومتر P1 را به طور تصادفی چرخانده نتیجه را در شکل موج خروجی مشاهده نمایید.
- (۱۰) پتانسیومتر P1 را در وسط قرار داده و شکل موج‌های IN و OUT را رسم نمایید.

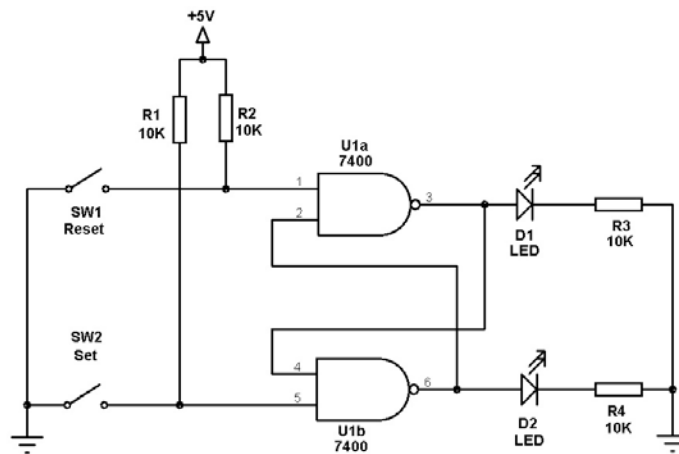
شکل ۵-۸

(۱۱) حداکثر و حداقل زمان پالس در این مدار چقدر است؟

## آزمایش سوم: مولتی ویبراتور دو حالتی (Bistable)

مراحل آزمایش:

(۱) سیم‌های تغذیه (+5V, GND) را در Block17 متصل نمایید.



شکل ۵-۹

(۵) با فشردن کلیدهای SW1 و SW2 به صورت تصادفی، نتیجه را در LED ها مشاهده نمایید.

(۶) هر دو کلید SW1 و SW2 را با هم بفشارید و نتیجه را در LED ها مشاهده نمایید.

(۲) جدول صحت مدار را رسم نمایید. کدام حالت در جدول صحت غیر مجاز است؟

جدول ۵-۱

SW1	SW2	LED1	LED2
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		