

آزمایش شماره یک: شکل دهنده های موج خطی

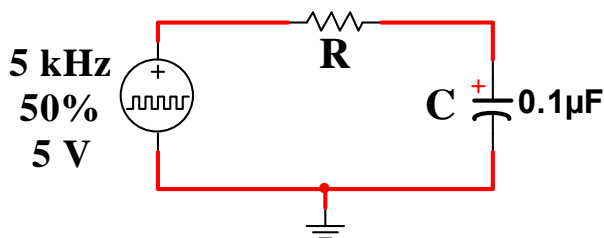
الف: انتگرالگیر

پیش گزارش: با کمک نرم افزار PSpice یا NI یک فیلتر پایین گذر و یک فیلتر بالاگذر با فرکانسهای قطع بالا و پایین 1 kHz و 28 kHz طراحی کنید. کلیه محاسبات طراحی خود را در پیش گزارش ارائه کنید.

هدف: مشاهده پاسخ مدار RC پایین گذر به ورودی پالس مربعی در ثابت زمانهای مختلف و تعیین زمان صعود

ابزار مورد نیاز: مولد موج، اسیلوسکوپ، انواع مقاومت، خازن 0.1 μF الکترولیتی، برد آزمایشگاهی، سیم اتصال

نظری: فیلتر پایین گذر مداری است که فرکانسهای پایین را عبور داده اما بعلت کاهش راکتانس خازن در فرکانسهای بالا، این فرکانسها تضعیف میشوند. در فرکانسهای خیلی زیاد خازن بصورت اتصال کوتاه در آمده و باعث صفر شدن دامنه خروجی میگردد.



شکل 1: مدار فیلتر پایین گذر

همچنین با توجه به رابطه ریاضی بین ورودی و خروجی (رابطه زیر) این مدار بصورت یک انتگرالگیر عمل میکند.

$$V_o = \frac{1}{RC} \int_0^t V_i dt$$

انجام آزمایش: مدار شکل یک را روی برد آزمایشگاهی ببندید و با اتصال فانکشن ژنراتور و کانال یک اسیلوسکوپ به ورودی و کانال

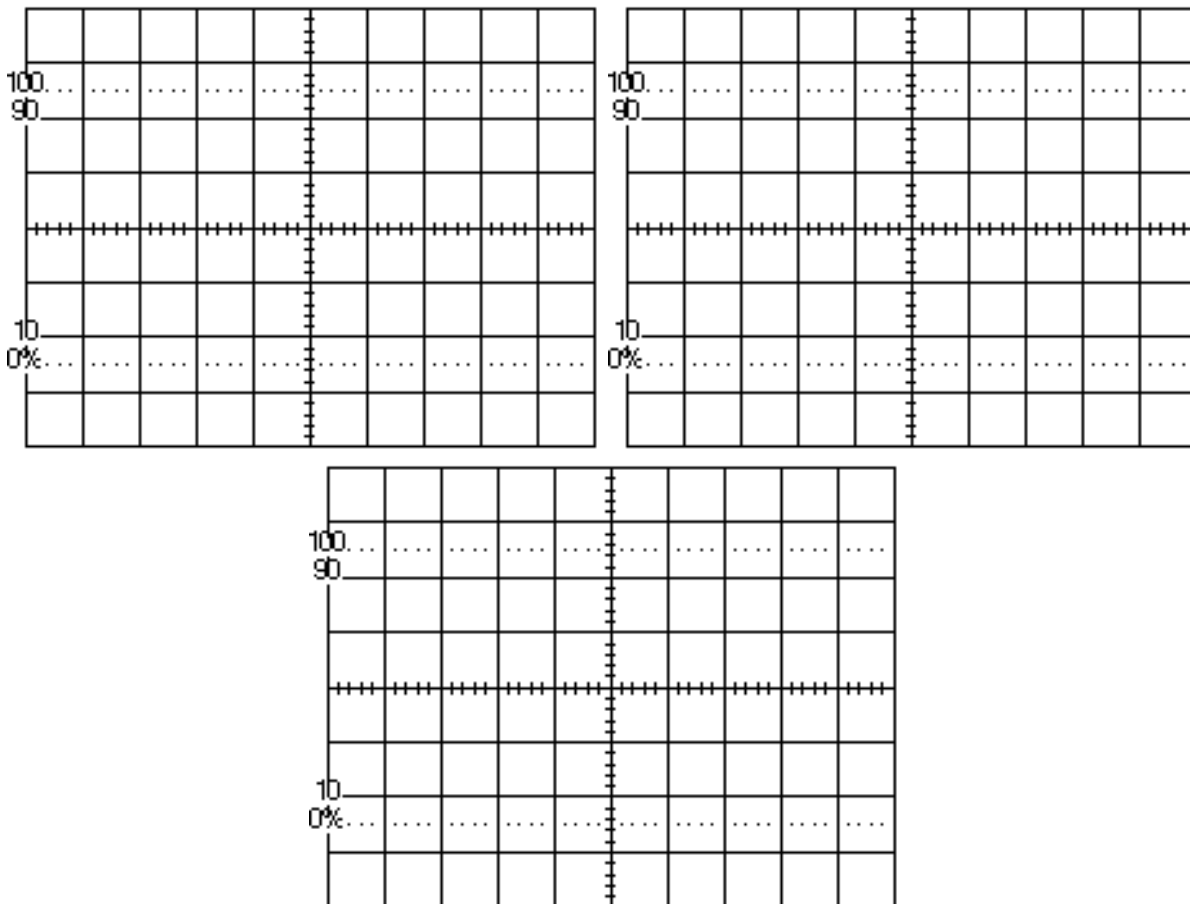
دو اسیلوسکوپ به خروجی، شکل موجهای ورودی و خروجی را بطور همزمان مشاهده کنید. دامنه ولتاژ ورودی را روی 5 ولت با آف ست صفر و فرکانس آنرا روی 5 kHz تنظیم کنید. با تغییر ثابت زمانی، شکل موج خروجی را مشاهده و با اندازه گیری زمان صعود آن جدول 1 را تکمیل کنید.

$$RC \ll T \quad RC \gg T \quad RC = 2T \quad RC = 0.5T \quad RC \approx T$$

جدول 1: نتایج اندازه گیری و محاسبات

Time Constant (ms)	R (kΩ)	Rise Time (ms) - Measured	Rise Time (ms) - Theory

با اعمال شکل موجهای سینوسی، مثلثی و مربعی با فرکانس 2 kHz و دامنه پیک تا پیک 5 ولت، و استفاده از مقاومت $1k\Omega$ شکل موجهای مشاهده شده در ورودی و خروجی را بطور همزمان در شکل 2 رسم کنید.



شکل 2: صفحه نمایش اسیلوسکوپ

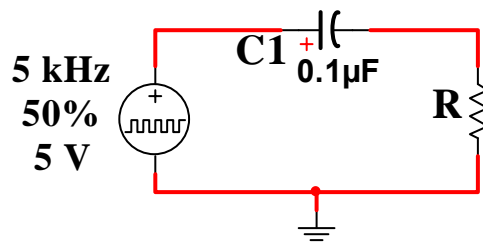
- سوال 1: تغییرات زمان صعود را با ثابت زمانی مدار مقایسه کنید.
- سوال 2: چه نتایجی از مقایسه مقادیر زمان صعود اندازه گیری شده با مقادیر تئوری میگیرید.
- سوال 3: با مقایسه نتایج شکل 2 عملکرد انتگرالگیری مدار را توضیح دهید.
- سوال 4: چه نتایجی از اعمال ورودی سینوسی به مدار فوق میگیرید.
- سوال 5: با اعمال کدام ورودی تغییر در فاز شکل موج خروجی رخ میدهد؟ چرا؟ پاسخ خود را بصورت ریاضی اثبات کنید.
- سوال 6: چند کاربرد برای مدار فیلتر پایین گذر (انتگرالگیر) فوق بیابید.

ب: شکل دهنده های موج خطی - مشق کیر

هدف: مشاهده پاسخ مدار RC بالاگذر به ورودی پالس مربعی در ثابت زمانیهای مختلف و مشاهده درصد کجی

ابزار مورد نیاز: مولد موج، اسیلوسکوپ، انواع مقاومت، خازن $0.1 \mu\text{F}$ الکترولیتی، برد آزمایشگاهی، سیم اتصال

نظری: فیلتر بالا گذر مداری است که فرکانسهای بالا را عبور میدهد اما بعلت افزایش رآکتانس خازن در فرکانسهای پایین، امپدانس خازن افزایش یافته و این فرکانسها عبور نخواهند کرد. در فرکانسهای خیلی کم خازن بصورت مدار باز در می آید و باعث صفر شدن دامنه خروجی میگردد.



شکل 3: مدار فیلتر بالا گذر

همچنین با توجه به رابطه ریاضی بین ورودی و خروجی (رابطه زیر) این مدار بصورت یک مشتقگیر عمل میکند.

$$V_o = RC \frac{dV_i}{dt}$$

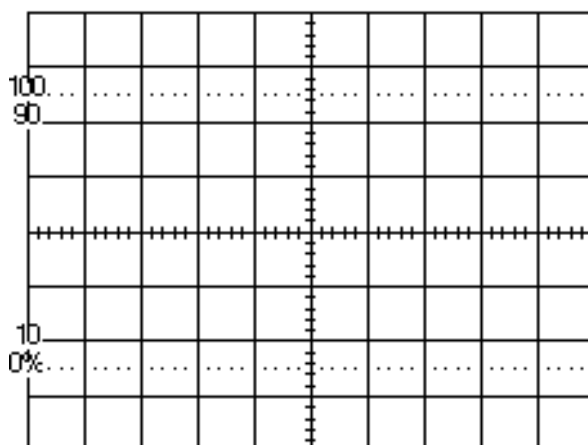
انجام آزمایش: مدار شکل یک را روی برد آزمایشگاهی ببندید و با اتصال فانکشن ژنراتور و کانال یک اسیلوسکوپ به ورودی و کانال دو اسیلوسکوپ به خروجی، شکل موجهای ورودی و خروجی را بطور همزمان مشاهده کنید. دامنه ولتاژ ورودی را روی 5 ولت با آف ست صفر و فرکانس آنرا روی 5 kHz تنظیم کنید. با تغییر ثابت زمانی، شکل موج خروجی را مشاهده و با اندازه گیری و محاسبه درصد کجی، جدول 2 را تکمیل کنید.

$$RC \ll T \quad RC \gg T \quad RC = 2T \quad RC = 0.5T \quad RC \approx T$$

جدول 2: نتایج اندازه گیری و محاسبات

Time Constant (ms)	R (kΩ)	Tilt (%) - Measured	Tilt (%) - Theory

با اعمال شکل موج با فرکانس 10 kHz و دامنه 5 ولت، و مقاومت $1 \text{ k}\Omega$ شکل موجهای مشاهده شده در ورودی و خروجی را بطور همزمان در شکل 4 رسم کنید.



شکل 4: صفحه نمایش اسیلوسکوپ

سوال 7: چه نتایجی از مقایسه درصد کجی اندازه گیری شده با مقادیر تئوری میگیرید.

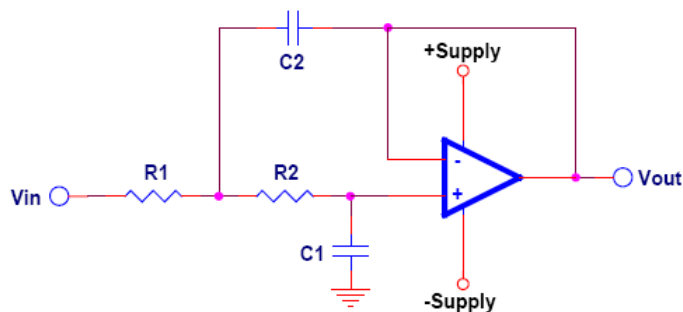
سوال 8: با کمک نتایج شکل 4 عملکرد مشتقگیری مدار را توضیح دهید.

سوال 9: چه پیش بینی از اعمال ورودی سینوسی به مدار فوق دارید؟ با کمک روابط ریاضی پاسخ خود را تشریح کنید.

سوال 10: چند کاربرد مشتق گیری برای مدار فوق پیشنهاد دهید.

طراحی: شکل زیر یک مدار فیلتر پایین گذر با آپ امپ را نشان میدهد. عملکرد مدار را تشریح و آنرا طراحی و نتایج فیلترینگ آنرا با

کمک نرم افزار PSpice یا NI نشان دهید. به ورودی مدار یکبار موج مربعی و یکبار سینوسی اعمال کنید.



شکل 5: فیلتر پایین گذر آپ امپی

آزمایش شماره دو: شکل دهنده های موج غیرخطی - مدارهای برشگر

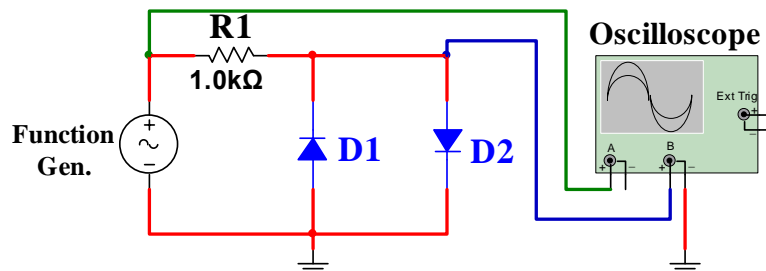
پیش گزارش: با کمک نرم افزار PSpice یا NI مدار ارائه شده در شکل 5 این گزارش را طراحی، شبیه سازی و نتایج آنرا در پیش گزارش ارائه کنید.

هدف: بررسی پاسخ خروجی و مشخصه انتقال مدارهای برش دهنده دیودی و دیودی/زنری، و با کمک تقویت کننده عملیاتی

ابزار مورد نیاز: مولد موج، اسیلوسکوپ، مقاومتهای $1\text{ k}\Omega$ ، $10\text{ k}\Omega$ ، $100\text{ k}\Omega$ ، و دیودهای 1N750، 1N4001، 1N4148 هر کدام دو عدد، OP AMP LM741، برد آزمایشگاهی، سیم اتصال

نمونه: مدار برشگر (Clipper) مداری است که بخشی از سیگنال را حذف میکند بدون اینکه باعث ایجاد اعوجاج در بقیه سیگنال شود. شاید مهمترین مداری که با این خصوصیت تاکنون دیده اید همان یکسوساز نیم موج باشد که با توجه به معکوس یا مستقیم بایاس شدن دیود، دامنه مثبت یا منفی سیگنال ورودی دچار برش می گردد. مدارهای برشگر عموماً دیودی هستند و در نتیجه با توجه به نوع ساختار دیودها و مواد سازنده آنها، سطح ولتاژ آستانه هدایت دیودها متفاوت و در نتیجه سطوح برش متفاوت خواهند بود. در گذشته دیودهای ژرمانیومی با سطوح ولتاژ 0.3 V و در حال حاضر بیش از 90% دیودهای موجود که سیلیکونی هستند سطح ولتاژ آستانه هدایت 0.6 V ولتی دارند. همچنین دیودهای شاتکی با سطوح ولتاژ آستانه حدود 0.1 V تا 0.2 V ولت و دیودهای زنر با تراکم ناخالصی بسیار زیاد با سطوح ولتاژ زنری 1.2 V تا بیش از 100 V ولت قادر خواهند بود تا سطوح متفاوتی از سیگنال ورودی را برش دهند. در بسیاری از مدارهای برش دهنده میتوان سطوح ولتاژ آستانه دیودها را با افزودن منابع تغذیه مستقل تغییر داد و در نتیجه به ویژگیهای بیشتری در برش سیگنال دست پیدا کرد.

انجام آزمایش: مدار شکل یک را روی برد آزمایشگاهی ببندید. با انتخاب شکل موج سینوسی، فرکانس فانکشن را در 1 kHz ، 100 kHz و 1 MHz و دامنه آنرا برای هر فرکانس بترتیب روی 0.5 ، 1.0 ، و 2.0 V ولت (پیک تا پیک) تنظیم کنید. به ازای هر بار تنظیم ورودی، خروجی مدار را یکبار با دیودهای 1N4001 و بار دیگر با دیودهای 1N4148 همزمان با سیگنال ورودی مشاهده نمایید.



شکل 1: برش دهنده دو طرفه دیودی

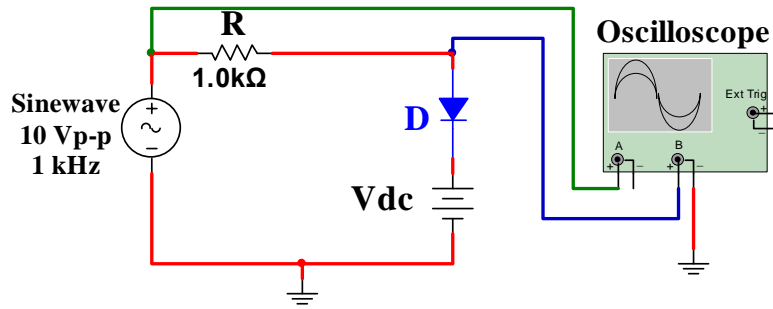
از صفحه نمایش OSC (شامل دو پریود ورودی و حداکثر دامنه قابل نمایش) عکس بگیرید و تصاویر را در ابعاد 40×40 میلیمتری در گزارش خود در جدولی مشابه جدول یک قرار دهید.

جدول 1: تصویر شکل موجهای مشاهده شده

1N4148	1N4001	دامنه (V)	فرکانس
محل چسباندن تصویر 40×40 mm ²	محل چسباندن تصویر 40×40 mm ²	0.5	1 kHz
محل چسباندن تصویر 40×40 mm ²	محل چسباندن تصویر 40×40 mm ²	2.0	
محل چسباندن تصویر 40×40 mm ²	محل چسباندن تصویر 40×40 mm ²	0.5	1 MHz
محل چسباندن تصویر 40×40 mm ²	محل چسباندن تصویر 40×40 mm ²	2.0	

بحث کنید: با مراجعه به دیتاشیت دیودهای مدار، در مورد نتایج بدست آمده مندرج در جدول یک بحث کنید. بنظر شما چه اتفاقی در خروجی مدار خواهد افتاد اگر فرکانس ورودی به بیش از 100 مگاهرتز برسد.

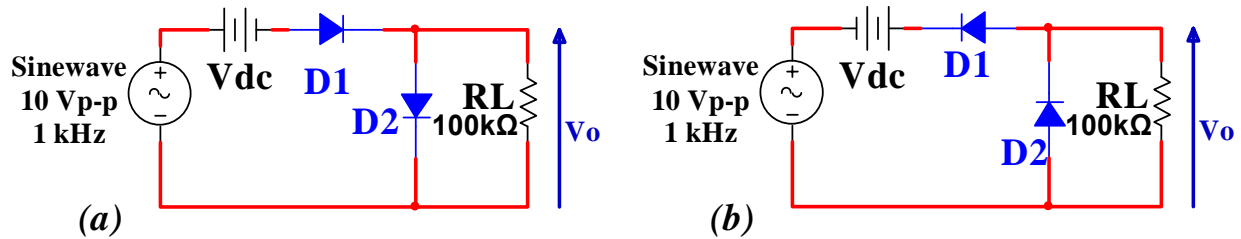
مدارهای شکل دو و سه را روی برد آزمایشگاهی با کمک دیود 1N4148 ببندید و جداول شماره دو و سه را کامل کنید.



شکل 2: برش دهنده موازی یک طرفه دیودی با سطح برش قابل تنظیم

جدول 2: مقادیر اندازه گیری شده خروجی برش دهنده موازی یک طرفه دیودی با سطح برش قابل تنظیم

V_{dc} (V)	Max. Value of V_o (V)	Min. Value of V_o (V)
2		
4		
8		
10		
15		



شکل 3: برش دهنده سری یک طرفه دیودی با سطح برش قابل تنظیم

جدول 3: مقادیر اندازه گیری شده خروجی برش دهنده های سری شکل سه

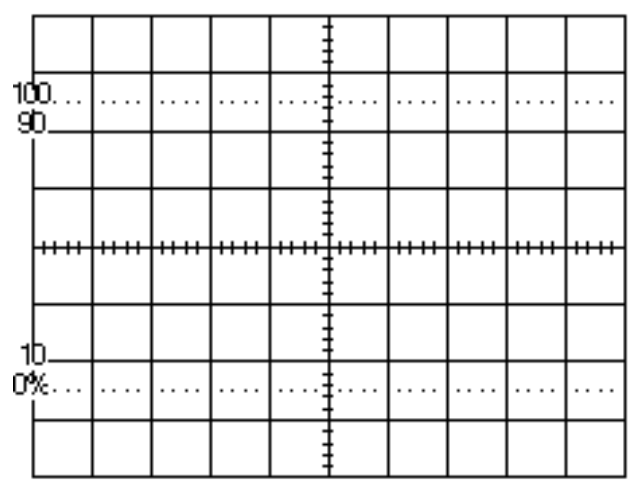
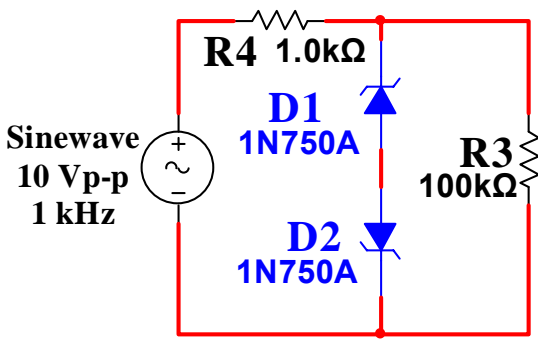
V_{dc} (V)	Max. Value of V_o (V)		Min. Value of V_o (V)	
	(a)	(b)	(a)	(b)
2				
5				
8				

سوال 1: همواره خروجی مدارهای برشگر با یک مقاومت باهمراه است. تاثیر مقاومت بار را روی خروجی مدار بررسی کنید.

سوال 2: مشخصه انتقال مدارهای شکل سه را رسم کنید.

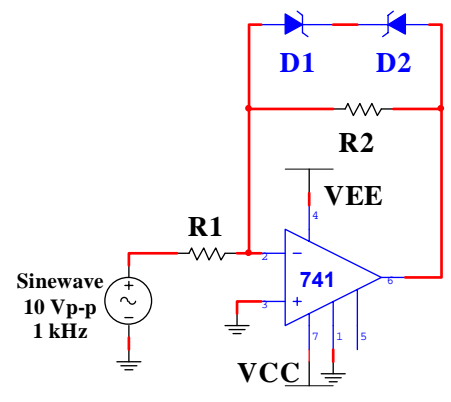
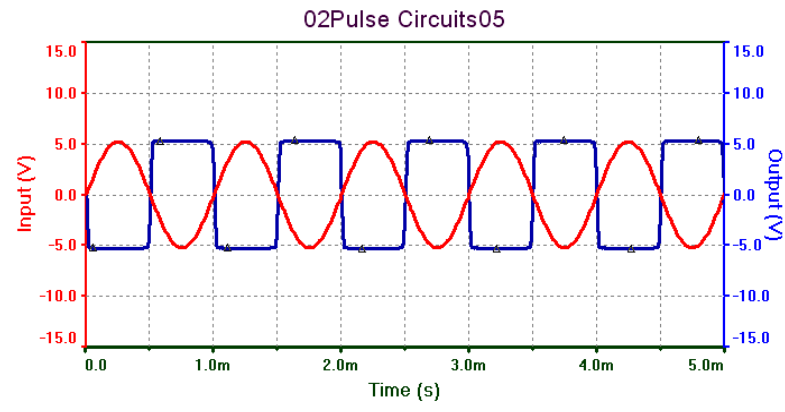
مدار شکل چهار (a) یک مدار برش دهنده زنی را نشان میدهد. شکل موج خروجی مدار را همراه با ورودی آن در شکل چهار (b) رسم کنید.

(در صورتیکه زنی 1N750 (4.7 ولتی) ندراید از BZX85C4V7 یا زنی مشابه دیگری استفاده نمایید.)



شکل 4: (a) برش دهنده زنری و (b) صفحه نمایش اسیلوسکوپ

شکل 5(a) یک برش دهنده سیگنال نرم (Soft Clipping) را نشان میدهد. با کمک گراف نشان داده شده در 5(b) این مدار را طراحی و پس از بستن روی برد آزمایشگاه و مشاهده شکل موج خروجی جدول 4 را تکمیل کنید.



شکل 5: (a) مدار برشگر نرم، (b) پاسخ مدار به ورودی سینوسی
جدول 4: مقادیر اندازه گیری شده خروجی برش دهنده نرم

V_{in-p-p} (V)	Max. Value of V_o (V)	Min. Value of V_o (V)
5		
9		
15		

- سوال 3: در مورد دلایل تفاوت نتایج شبیه سازی با نتایج عملی بدست آمده مدار شکل 5 توضیح دهید.
- سوال 4: چه عاملی منجر به محدودیت بهره تقویت کنندگی مدار شکل 5 میشود.
- سوال 5: چرا این مدار برش دهنده نرم نامیده شده است.

آزمایش شماره سه: شکل دهنده های موج غیرخطی - مدارهای جهش

پیش گزارش: با کمک نرم افزار PSpice یا NI مدار ارائه شده در شکل 3b این گزارش را طراحی، شبیه سازی و نتایج آنرا در پیش گزارش ارائه کنید.

هدف: بررسی پاسخ خروجی و مشخصه انتقال مدارهای جهش دیودی و مدار جهش با کمک تقویت کننده عملیاتی

ابزار مورد نیاز: مولد موج، اسیلوسکوپ، مقاومت های $1\text{ k}\Omega$ ، $10\text{ k}\Omega$ ، $100\text{ k}\Omega$ و خازنهای $1\text{ }\mu\text{F}$ ، $10\text{ }\mu\text{F}$ هر کدام یکعدد و

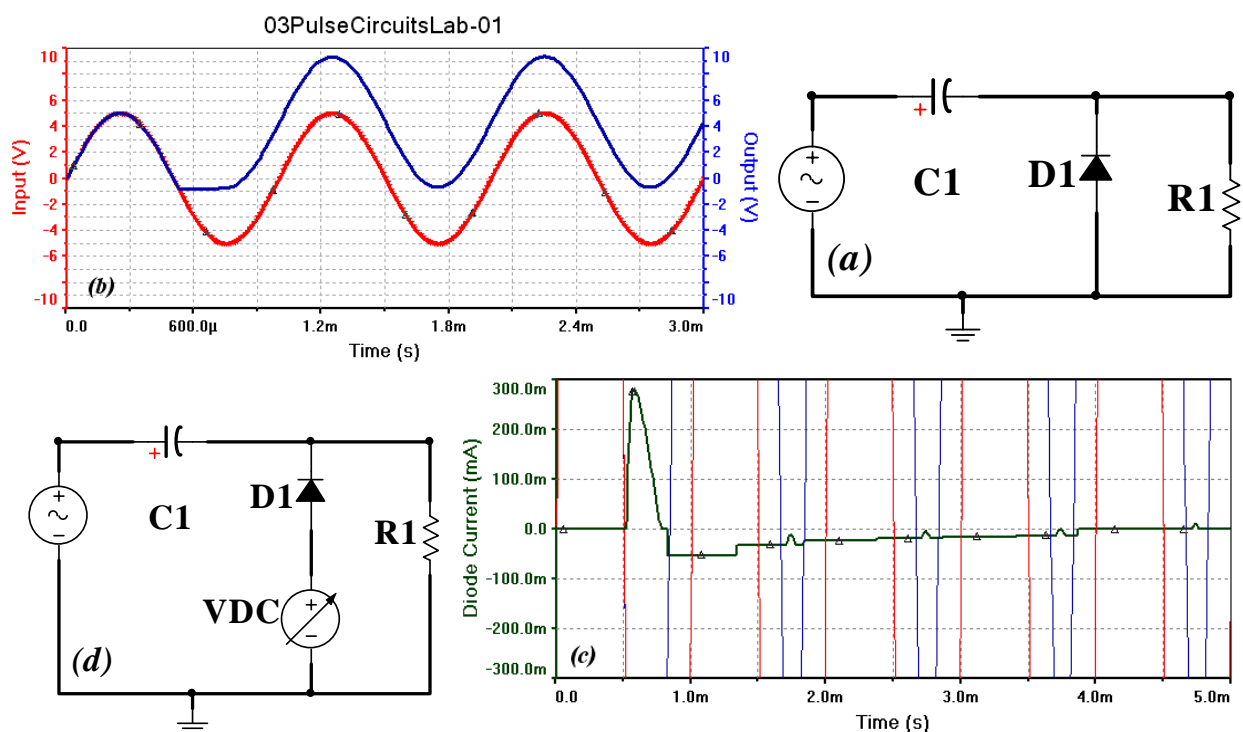
دیودهای 1N4148 و 1N4001 از هر کدام چهار عدد، OP AMP LM741، برد آزمایشگاهی، سیم اتصال

نمونه: گاهی اوقات میخواهیم که شکل موج بدون تغییر بماند اما سطح DC آن تغییر کند. برای اینکار به مدار جهش (Clamp)

نیاز داریم. شکل 1a یک مدار ساده جهش را همراه با پاسخ خروجی و جریان دیود آن به ورودی سینوسی (10 Vp-p ، 1 kHz)

نشان میدهد. در این مدار خازن ولتاژ ورودی را از بار جدا میکند و دیود شرایط ولتاژ جهش را فراهم می سازد. شکل 1d مدار جهش دیودی با قابلیت تنظیم سطح جهش را نشان میدهد.

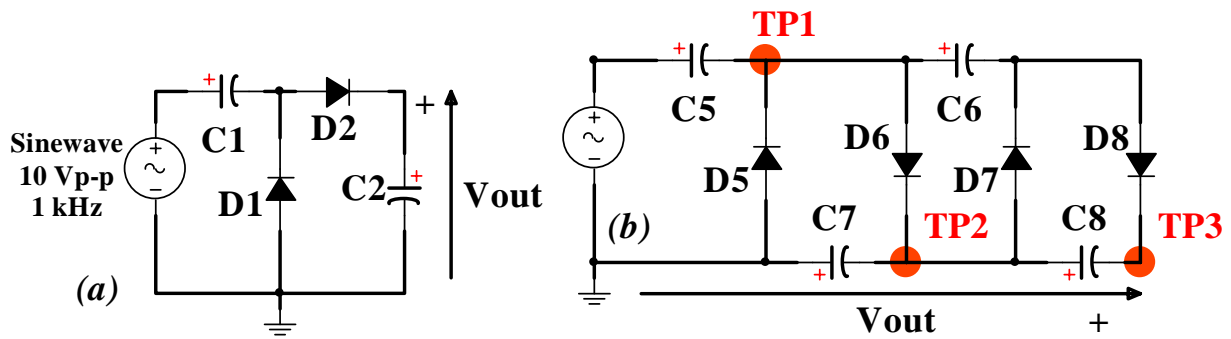
بحث کنید: با مراجعه به شکل های 1a,d و با تاکید بر جریان دیود (1c) عملکرد مدار را تشریح کنید.



شکل 1: (a) مدار جهش مثبت، (b) پاسخ مدار به ورودی سینوسی، (c) جریان دیود، (d) مدار جهش با کنترل سطح

یکی از کاربردهای وسیع مدارهای جهش، چندبرابر کننده های ولتاژ (Voltage Multipliers) است. شکل 2 مدار یک

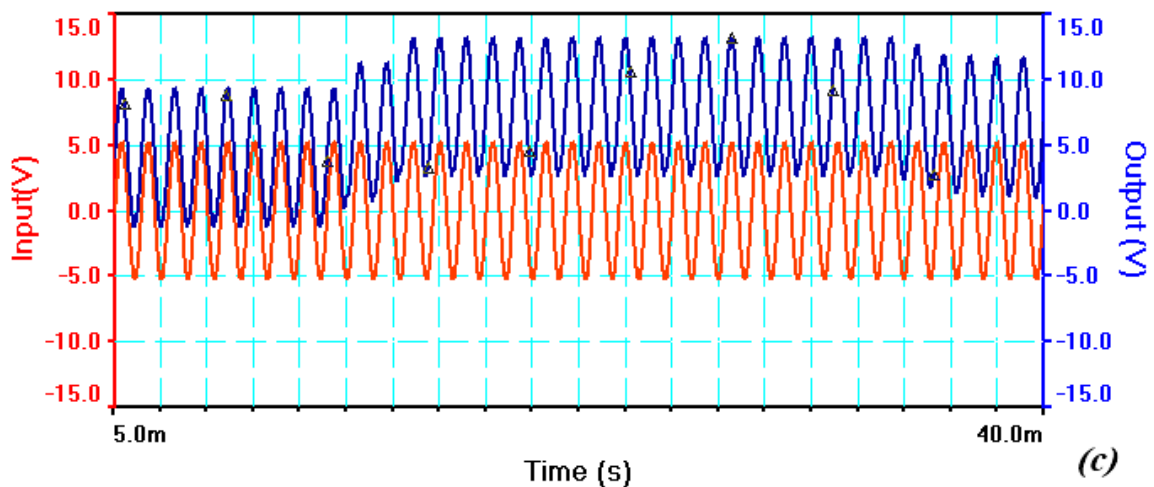
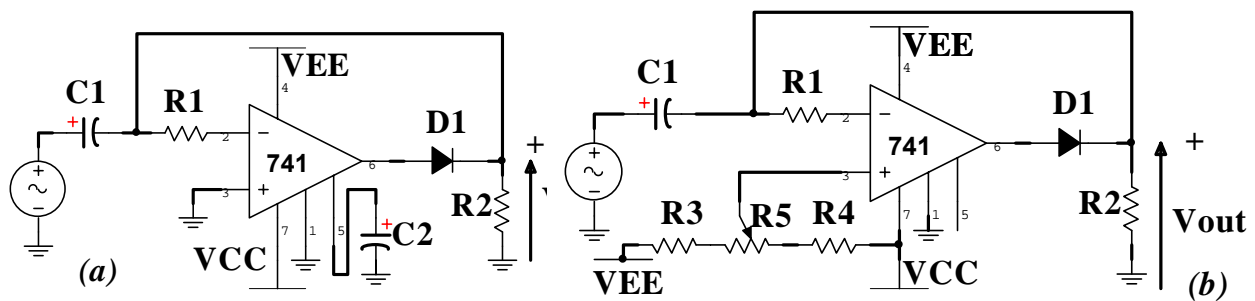
دوبرابر کننده (2a) و چهاربرابر کننده (2b) ولتاژ ساده دیودی-خازنی را نشان میدهد.



شکل 2: (a) دوبرابرکننده ولتاژ، (b) چهار برابرکننده ولتاژ

بحث کنید: با مراجعه به شکل 2b و با تاکید بر فرکانس ریپل خروجی و PIV دیودها عملکرد مدار را تشریح کنید.

یکی از مدارهای پرکاربرد برای تغییر سطح DC ورودی سینوسی، مدار جهش با تقویت کننده عملیاتی است. شکل 3(a) تغییر دهنده سطح ثابت و شکل 3(b) تغییر دهنده سطح DC متغیر با آپ امپ و شکل 3(c) خروجی آنرا به ورودی سینوسی 1 kHz 10 V p-p, نشان میدهد.



شکل 3: (a) جهش کننده ولتاژ ثابت با آپ امپ، (b) جهش کننده ولتاژ متغیر، (c) پاسخ مدار b به تغییرات سطح جهش DC

بحث کنید: عملکرد مدار شکل 3(b) را شرح دهید. تغییرات بار (R_2) چه تاثیری بر خروجی مدار خواهد گذاشت؟ تغییرات خازن C_1 چه تاثیری بر پایداری ولتاژ خروجی بر جای خواهد گذاشت؟

انجام آزمایش: الف) مدارهای شکل 1 و 2 را روی برد آزمایشگاه ببندید و با تهیه عکس از خروجی (شامل 2 سیکل) و یا اندازه گیری آن، جداول 1 تا 3 کامل کنید. از ورودی سینوسی (10 Vp-p، 1kHz و 1MHz) و منبع DC متغیر بین 0 تا 15 ولت استفاده کنید. در مورد مدار شکل 1d و برای تکمیل جدول 2، یکبار از همان ساختار شکل 1d (جهش مثبت) و بار دیگر با معکوس کردن دیود و منبع ولتاژ DC (جهش منفی) استفاده کنید.

جدول 1: نتایج مدارهای جهش دیودی شکل 1a

فرکانس	خازنهای مدار (μF)	1N4001	1N4148
1 kHz	1	محل چسباندن تصویر $60 \times 40 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $60 \times 40 \text{ mm}^2$
	10	محل چسباندن تصویر $60 \times 40 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $60 \times 40 \text{ mm}^2$
1 MHz	1	محل چسباندن تصویر $60 \times 40 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $60 \times 40 \text{ mm}^2$
	10	محل چسباندن تصویر $60 \times 40 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $60 \times 40 \text{ mm}^2$

جدول 2: نتایج مدارهای جهش دیودی با کنترل سطح جهش در شکل 1d

ولتاژ DC (V)	جهش مثبت	جهش منفی*
2	محل چسباندن تصویر 60×40 mm ²	محل چسباندن تصویر 60×40 mm ²
8	محل چسباندن تصویر 60×40 mm ²	محل چسباندن تصویر 60×40 mm ²
15	محل چسباندن تصویر 60×40 mm ²	محل چسباندن تصویر 60×40 mm ²

* برای ایجاد جهش منفی در شکل 1d هم جهت دیود و هم جهت منبع DC را معکوس کنید.

جدول 3: حداکثر ولتاژ اندازه گیری شده در مدار شکل 2b (بر حسب ولت)

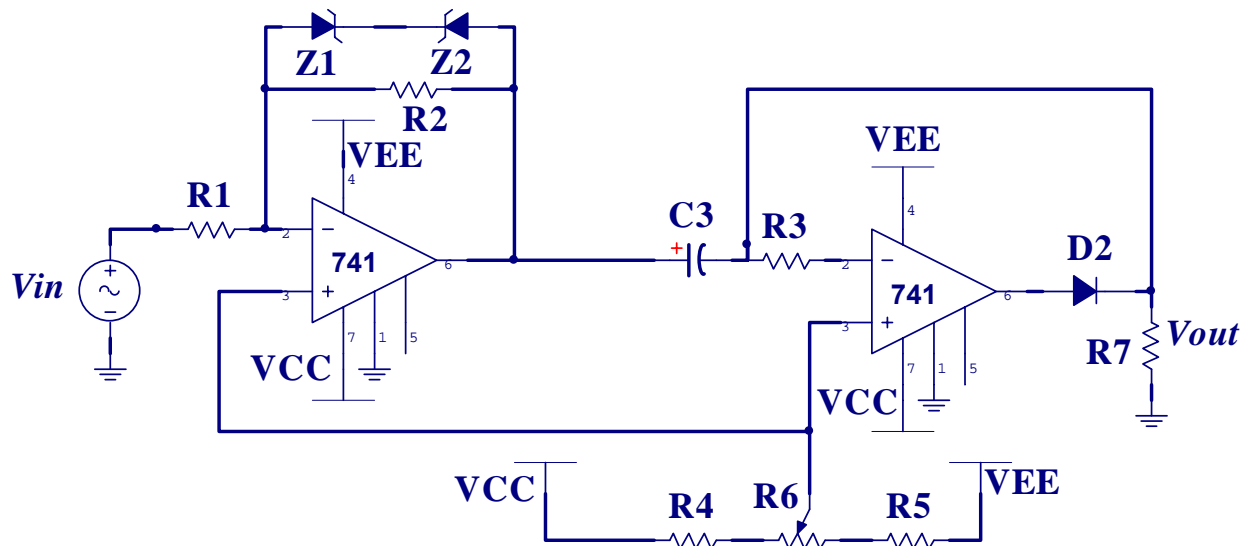
TP1	TP2	TP2

ب) با کمک مقادیر طراحی شده در پیش گزارش، مدار 3(b) را روی برد آزمایشگاهی ببندید و با تهیه عکس از خروجی نسبت به ورودی (2 سیکل را نشان دهد) آنرا در جدولی مشابه جدول 4 درج کنید. حداکثر ولتاژ تغذیه را ± 12 در نظر بگیرید.

جدول 4: نتایج مدار جهش با آپ امپ

پتانسیومتر 80%	پتانسیومتر 50%	پتانسیومتر 10%
محل چسباندن تصویر $50 \times 50 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $50 \times 50 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $50 \times 50 \text{ mm}^2$

- سوال 1: دلایل اختلاف نتایج شبیه سازی با نتایج عملی بدست آمده از مدار شکل 3(b) را توضیح دهید.
- سوال 2: دیود خروجی مدار شکل 3 چه نقشی در جهش سیگنال دارد؟ حذف آن چه تاثیری در شکل موج خروجی میگذارد؟
- سوال 3: با جستجو در اینترنت لیستی از کاربردهای مدرن مدارهای "جهش" را ارائه دهید.
- طراحی: با کمک مدارهای شکل 3(b) این آزمایش و مدار شکل 5 آزمایش 2 و ترکیب آنها، مداری طراحی کنید که همزمان قادر به انجام برش و جهش با سطوح متغیر روی یک ورودی سینوسی یک کیلوهرتزی با دامنه ده ولت پیک تا پیک باشد. حداقل سطح جهش 3- ولت و حداکثر سطح آنرا 15+ ولت در نظر بگیرید. نتیجه طراحی را بکمک PSpice یا NI همراه با شکل موجهای ورودی، خروجی برشگر و خروجی مدار جهش ارائه نمایید (زمان تحویل با توافق LA، از مدار شکل چهار کمک بگیرید).



شکل 4: مدار ترکیبی برشگر و جهش کننده

آزمایش شماره چهار: سوئیچهای ترانزیستوری

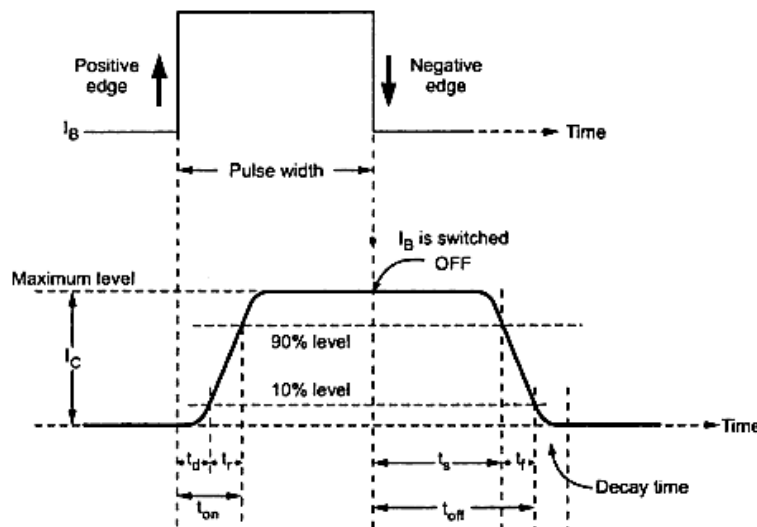
پیش‌گزارش: با کمک نرم افزار PSpice یا NI مدار ارائه شده در شکل 2 این گزارش را **با و بدون خازن 1nF** شبیه سازی و با اعمال یک پالس با دامنه 5V و عرض 1μs به ورودی آن، شکل موج و زمانهای قطع و وصل خروجی را در پیش گزارش ارائه کنید.

هدف: بهبود زمانهای سوئیچینگ ترانزیستور با کمک خازن تسریع کننده

ابزار مورد نیاز: مولد موج، اسیلوسکوپ، مقاومتهای 1.2 kΩ و 2.7 kΩ و خازنهای عدسی 100pF، 1nF و 10nF هر کدام یکعدد و ترانزیستور 2N3055 یا BD137 یکعدد، برد آزمایشگاهی، سیم اتصال

نمونه: در یک مدار ترانزیستوری سوئیچینگ، ترانزیستور باید با دوره تناوب مورد نیاز قطع و وصل شود. ترانزیستوری که در ناحیه اشباع (Saturation) قرار میگیرد بصورت یک کلید بسته عمل میکند و هنگامیکه در ناحیه قطع (Cutoff) باشد مانند یک سوئیچ باز عمل میکند. در نتیجه ترانزیستوری که بعنوان معکوس کننده (اینورتر) پالس ورودی بکار میرود باید همزمان با تغییرات ورودی ON و OFF شود. برای عملکرد موفق این مدار، زمانهای سوئیچ ترانزیستور باید تا حد امکان کوچک باشند. شکل 1 (بالا) پالس مربعی را نشان میدهد که بعنوان جریان بیس به یک ترانزیستور اعمال شده است. تغییرات جریان کلکتور این ترانزیستور نیز مطابق با اعمال جریان بیس در پایین این شکل نشان داده شده است.

هنگامیکه پالس جریان بیس به ترانزیستور اعمال میشود، در لبه بالارونده، ترانزیستور روشن و سپس در لبه پایین رونده خاموش میشود. اما ترانزیستور نمیتواند بسرعت روشن یا خاموش شود. در واقع بعد از اعمال جریان بیس، مدت زمانی طول خواهد کشید تا تغییر در جریان کلکتور مشاهده شود. این زمان را زمان تاخیر یا **delay time** می نامند. بنا به تعریف زمان مورد نیاز برای افزایش جریان کلکتور به 10% مقدار نهایی آن زمان تاخیر یا (t_d) نامیده میشود. پس از آن مدت زمانی طول میکشد تا جریان کلکتور ترانزیستور به حداکثر مقدار نهایی خود برسد. این زمان را زمان صعود (t_r) می نامند که بنا به تعریف زمان مورد نیاز برای افزایش جریان کلکتور از 10% به 90% مقدار نهایی آن میباشد، در نتیجه زمان روشن شدن عبارت خواهد بود از: $t_{on} = t_d + t_r$



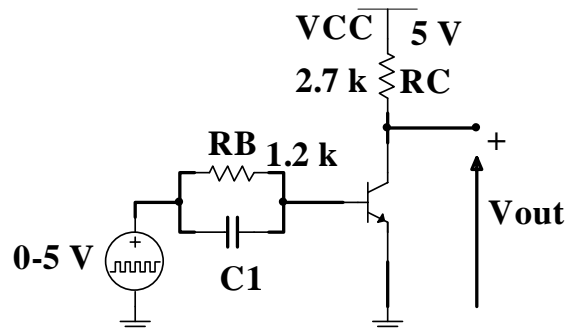
شکل 1: پالس جریان اعمال شده به بیس یک ترانزیستور (بالا) و مولفه های زمانی جریان کلکتور (پایین)

همچنین در زمان خاموش شدن (وقتی جریان بیس صفر میشود) پیوند کلکتور-بیس در لبه پایین رونده پالس ورودی بایاس معکوس میشود. در این مرحله، بارهای ذخیره شده در ناحیه تخلیه ناشی از حالت اشباع باید حذف شوند. زمان مورد نیاز برای حذف این بارها از ناحیه تخلیه زمان ذخیره یا $storage\ time$ نامیده میشود. بنابه تعریف فاصله زمانی بین خاموش شدن جریان بیس تا زمانی که جریان کلکتور به 90% مقدار نهایی خود میرسد زمان ذخیره یا t_s نامیده میشود. پس از گذشت زمان بیشتری، جریان کلکتور به 10% حداکثر دامنه خود کاهش میآید و سپس به جریان I_{CO} تبدیل میشود. بنابه تعریف مدت زمانی که طول میکشد تا جریان کلکتور از 90% مقدار نهایی به 10% آن کاهش یابد زمان سقوط (fall time) یا t_f و زمانیکه طول میکشد تا جریان کلکتور از 10% مقدار نهایی به سطح جریان اشباع معکوس یا I_{CO} برسد زمان محو (decay time) یا t_{dec} نامیده

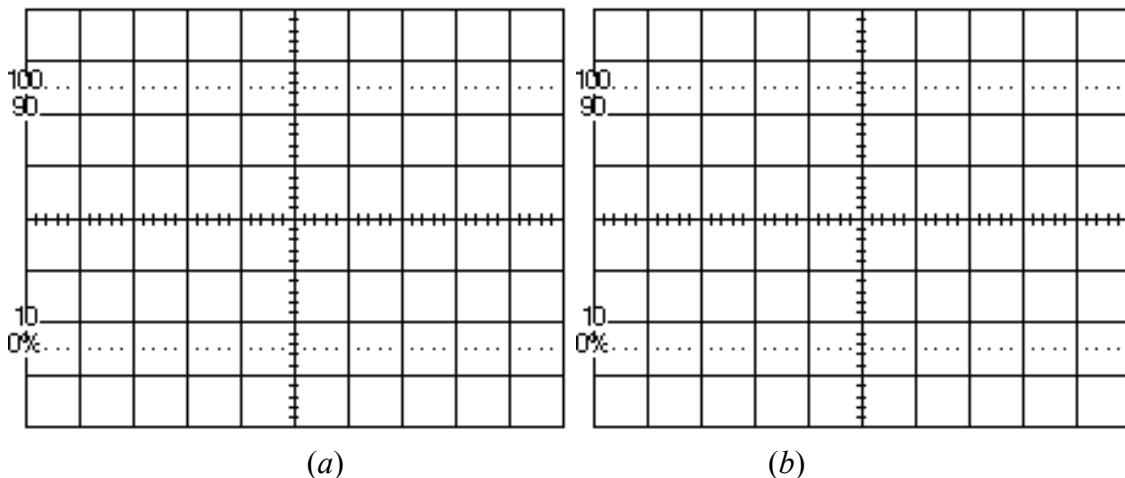
میشود. در نتیجه زمان خاموشی ترانزیستور عبارتست از: $t_{off} = t_s + t_f + t_{dec}$

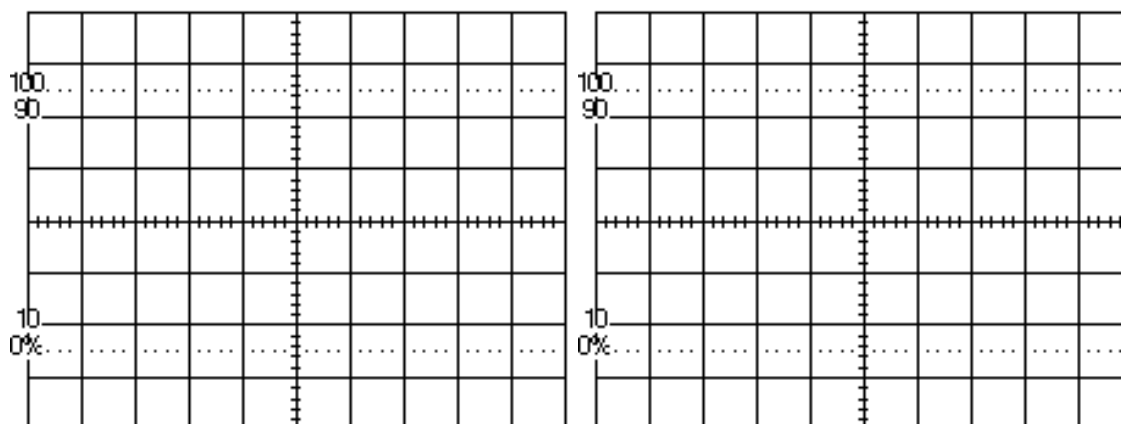
از آنجاییکه زمان محو ترانزیستور زمان بسیار کوچکی است معمولاً در محاسبات کمتر در نظر گرفته میشود. در ترانزیستورهای سرعت بالا مانند 2N4410 زمانهای خاموش و روشن در حدود چند ده نانوثانیه هستند. این زمان در ترانزیستورهای قدرت به بیش از یک میکروثانیه نیز افزایش میآید.

انجام آزمایش: مدار شکل 2 را ابتدا بدون خازن تسریع کننده C_1 روی برد آزمایشگاه ببندید. دو سیکل از پالس ورودی را همزمان با خروجی به ازای فرکانسهای داده شده در شکل 3 رسم کرده و جدول 1 را کامل کنید. کانال خروجی را INV کنید تا در تشخیص مولفه های زمانی دچار خطا نشوید. خازن C_1 را به مدار اضافه کنید و به ازای پالس ورودی 1MHz با دامنه 5V جدول دو را تکمیل کنید (تلاش کنید تا در بالاترین trace خروجی را مشاهده کنید).



شکل 2: معکوس کننده ترانزیستوری با خازن تسریع کننده سرعت سوئیچ





(c)

(d)

شکل 3: شکل موج ورودی و خروجی بطور همزمان در فرکانسهای (a) 1kHz (b) 100 kHz (c) 500kHz (d) 1MHz

جدول 1: مولفه های زمانی قطع و وصل ترانزیستور بدون خازن تسریع کننده

Input frequency (MHz)	I_C (mA)	Delay Time, t_d (sec)	Rise Time, t_r (sec)	Storage Time, t_s (sec)	Fall Time, t_f (sec)
0.001					
0.1					
0.5					
1					

جدول 2: مولفه های زمانی قطع و وصل ترانزیستور با خازن تسریع کننده سرعت سوئیچ

C_I (nF)	I_C (mA)	Delay Time, t_d (sec)	Rise Time, t_r (sec)	Storage Time, t_s (sec)	Fall Time, t_f (sec)
0.1					
1					
10					

سوال 1: با کمک مقادیر اندازه گیری شده جدول یک، متوسط زمانهای روشنی و خاموشی ترانزیستور را محاسبه و با مقادیر spice آن (transient time) یا مقادیر موجود در دیتاشیت مقایسه کنید. در مورد علل اختلاف مقادیر محاسبه شده و اندازه گیری شده با مقادیر موجود در دیتاشیت یا مقادیر spice بحث کنید.

سوال 2: نقش خازن C_I را بدقت در مدار بررسی کرده و آنرا با نتایجی که از آزمایش بدست آورده اید مقایسه کنید.

سوال 3: رابطه ای را بیابید که از روی آن بتوان بهترین مقدار خازن تسریع کننده سرعت سوئیچ یک مدار ترانزیستوری را محاسبه کرد و سپس آنرا با مقادیر جدول دو مقایسه کنید.

تحقیق کنید: سرعت سوئیچ در ترانزیستورهای معمولی را با ترانزیستورهای شاتکی (Schottky Transistor) مقایسه کنید. چگونه

میتوان با اضافه کردن یک دیود شاتکی سرعت ترانزیستورهای معمولی را افزایش داد؟

آزمایش شماره پنج: مولتی ویراتور ترانزیستوری (بی استابل)

پیش‌گزارش: مدارهای شکل 3 را بترتیب برای داشتن خروجی 5 و 10 ولت طراحی و تنها شکل 3b را با PSpice یا NI شبیه سازی و با اعمال پالس تریگر مناسب، شکل موجهای کلکتور و بیس ترانزیستورها را همزمان با تریگر در پیش گزارش ارائه کنید.

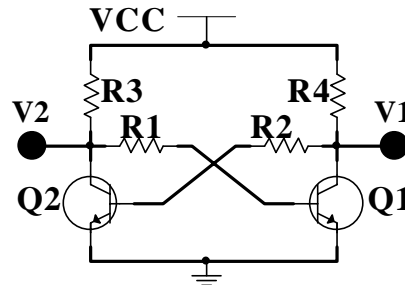
هدف: بررسی عملکرد مولتی ویراتور بی استابل

ابزار مورد نیاز: مولد موج، اسیلوسکوپ، برد آزمایشگاهی، منبع تغذیه DC، سیم اتصال و سایر قطعات مطابق با جدول 1

جدول 1: لیست قطعات مورد نیاز

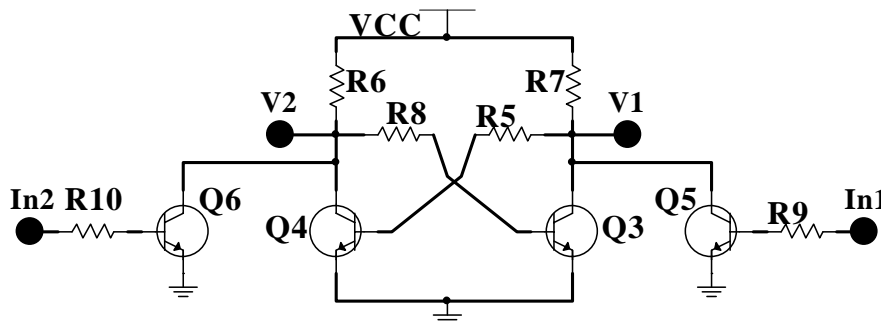
ردیف	نام قطعه	مشخصات	تعداد
1	مقاومت	بر حسب نیاز	---
2	خازن	بر حسب نیاز	---
3	ترانزیستور	2N3904 یا BC 107	2×
4	دیود	1N914 یا 1N4148	2×

نظری: در گروه مدارهای مولتی ویراتور، مدارهای بی استابل مدارهایی هستند که دارای دو سطح پایدار خروجیند، بطوریکه هرگونه تغییر در حالت مدار، منجر به تغییر سطح پایدار خروجی به سطحی دیگر میشود. در مدارهای دیجیتال این سطوح پایدار High و Low نامیده میشوند که معادل 1 و 0 منطقی هستند. شکل 1 ساده ترین مدار مولتی ویراتور بی استابل را نشان میدهد.



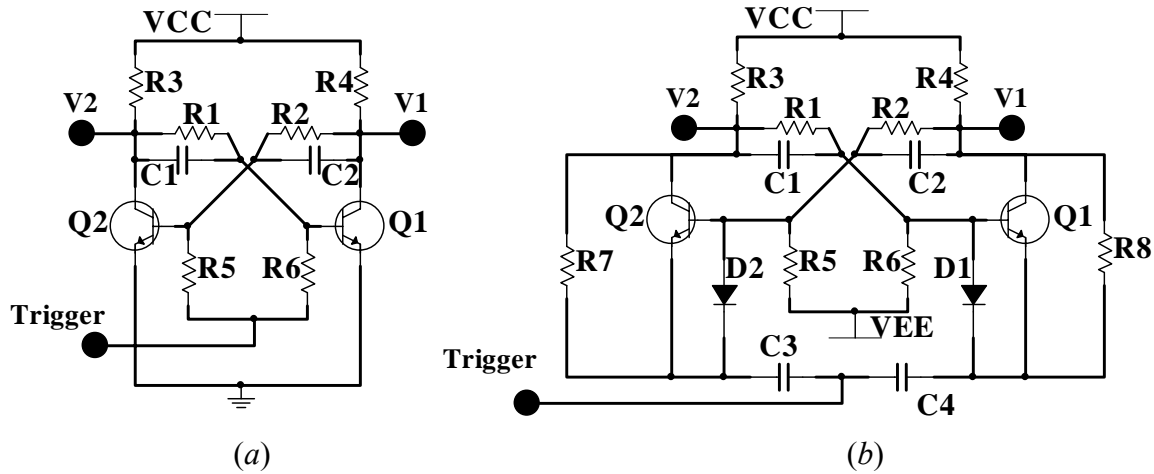
شکل 1: مولتی ویراتور بی استابل پایه

از آنجاییکه مدار معرفی شده در شکل یک، جز با قطع و وصل کردن منبع تغذیه آن، کنترلی روی تغییر حالت خروجی ندارد، لذا مدار شکل دو معرفی میشود.



شکل 2: مولتی ویراتور بی استابل با تحریک کلکتوری

انجام آزمایش: مدارهای شکل 3 را که در پیش گزارش طراحی کرده اید ابتدا بدون استفاده از خازنهای C_1 و C_2 و با اعمال ولتاژ تغذیه مناسب (ولتاژ 10- و 10 ولت در شکل b و ولتاژ 5 ولت در شکل a) روی برد ببندید. با اعمال ولتاژ تریگر مناسب، تغییر حالت خروجی را مشاهده کنید. اکنون خازنهای C_1 و C_2 را نیز به مدار اضافه کنید و مجدداً تغییر حالت خروجی را با اعمال تحریک مناسب مشاهده و جدول دو را تکمیل کنید.



شکل 3: مولتی ویبراتور بی استابل با تحریک از بیس

جدول 2: ولتاژ اندازه گیری شده در نقاط مختلف مدارهای شکل 3 و 4

ولتاژ کلکتور 2	ولتاژ بیس 2	ولتاژ کلکتور 1	ولتاژ بیس 1	مدار شکل 3	
				قبل از تحریک	بعد از تحریک
				بدون C_1 و C_2	مدار شکل 4
				با C_1 و C_2	
				بدون C_1 و C_2	مدار شکل 3
				با C_1 و C_2	
				بدون C_1 و C_2	مدار شکل 4
				با C_1 و C_2	
				بدون C_1 و C_2	مدار شکل 3
				با C_1 و C_2	

سوال 1: عملکرد مدار شکل دو را تشریح و بیان کنید چرا بکارگیری تریگر کلکتور یک انتخاب عملی و مناسب نمیباشد.

سوال 2: دلیل یا دلایل بکارگیری خازنهای مدار شکل سه را بیان کنید.

سوال 3: در مورد نتایج جدول 2 بحث کنید.

سوال 4: سه کاربرد برای مدار شکل $3b$ بیابید.

سوال 5: دلیل یا دلایل بکارگیری دیود در مدار شکل $3b$ را شرح دهید.

آزمایش شماره شش: مولتی ویراتور ترانزیستوری (مونواستابل)

پیش‌گزارش: مدار شکل 1 را برای داشتن خروجی 10 ولت با عرض پالس 100 میلی ثانیه طراحی و سپس مدار را با PSpice یا NI شبیه سازی و با اعمال پالس تریگر مناسب، شکل موجهای کلکتور و بیس ترانزیستورها را همزمان با پالس تریگر در پیش گزارش ارائه کنید.

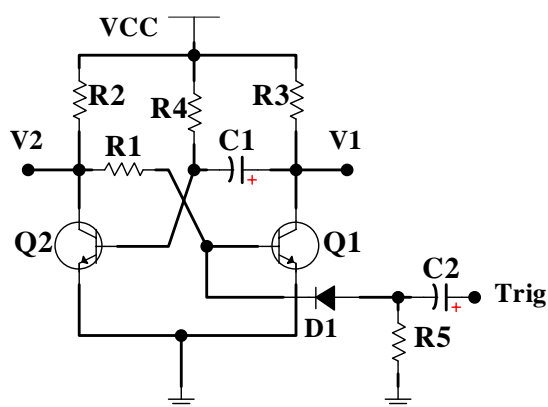
هدف: بررسی عملکرد مولتی ویراتور مونواستابل

ابزار مورد نیاز: مولد موج، اسیلوسکوپ، برد آزمایشگاهی، منبع تغذیه DC، سیم اتصال و سایر قطعات مطابق با جدول 1

جدول 1: لیست قطعات مورد نیاز

ردیف	نام قطعه	مشخصات
1	مقاومت	بر حسب نیاز
2	خازن	بر حسب نیاز
3	ترانزیستور	2N3904 یا BC 107
4	دیود	1N914 یا 1N4148

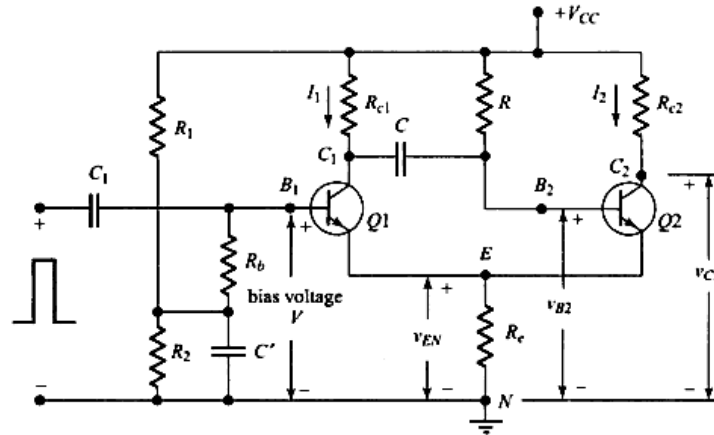
تئوری: در گروه مدارهای مولتی ویراتور، مدارهای مونواستابل مدارهایی هستند که دارای یک سطح پایدار خروجی هستند، بطوریکه اعمال تریگر مناسب به مدار باعث تغییر حالت سطح پایدار خروجی در مدت زمانی مشخص به سطحی دیگر شده و پس از طی زمان مشخص مدار به حالت اولیه خود بازمیگردد. شکل 1 یک مدار مولتی ویراتور مونواستابل ترانزیستوری را همراه با مدار تریگر نشان میدهد.



شکل 1: مولتی ویراتور مونواستابل همراه با مدار تریگر

با روشن کردن تغذیه مدار، جریان بیس ترانزیستور Q_2 از طریق مقاومت R_4 تامین و باعث روشن و اشباع شدن آن میشود. در نتیجه ولتاژ V_2 در حدود ولتاژ اشباع شده و باعث کاهش ولتاژ بیس Q_1 و در نتیجه خاموش شدن آن میگردد. در این حالت ولتاژ V_1 تقریباً مساوی V_{CC} خواهد بود و خازن C_1 از طریق مقاومت R_3 و پیوند بیس/امیتر Q_2 شارژ و وضعیت مدار بهمین شکل باقی خواهد ماند. در صورتیکه ترانزیستور Q_1 با اعمال تریگر روشن شود، ولتاژ V_1 مساوی ولتاژ اشباع شده و باعث کاهش شدید ولتاژ بیس Q_2 و خاموش شدن آن میگردد. خاموشی Q_2 منجر به افزایش ولتاژ V_2 و در نتیجه افزایش V_{B1} میشود. در این حالت

خازن C_1 از طریق R_4 و $V_{CE,SAT}$ ترانزیستور Q_1 شارژ میشود تا اینکه ولتاژ پلاریته منفی آن (متصل به بیس Q_2) از ولتاژ V_{BE} مورد نیاز برای روشن کردن ترانزیستور Q_2 بیشتر گردد. این وضعیت منجر به روشن شدن دوباره Q_2 و در نتیجه خاموشی Q_1 میشود. خروجیهای مدار تا رسیدن پالس تریگر بعدی در همین حالت باقی خواهند ماند. برای اطمینان از خاموش بودن ترانزیستور Q_1 معمولاً بیس آن با یک منبع ولتاژ منفی بایاس میشود. برای حذف این ولتاژ و همچنین کاربردی تر کردن مدار مونواستابل ترانزیستوری، از ترکیب کوپل امیتری مولتی و بیراتور مونواستابل استفاده میشود. شکل 2 ساختار این مدار را نشان میدهد. دلیل این نامگذاری، وجود فیدبک بین دو ترانزیستور از طریق مقاومت مشترک R_e است.



شکل 2: مولتی و بیراتور مونواستابل کوپل امیتری

انجام آزمایش: مدار شکل 1 را که در پیش گزارش طراحی کرده اید روی برد ببندید و تصویر ولتاژ نقاط مختلف مدار را در جدول 2 ارائه کنید.

جدول 2: نتایج مدار مولتی و بیراتور مونواستابل

Test Points	قبل از تریگر	بعد از تریگر
V_{R5}	محل چسباندن تصویر $30 \times 50 \text{ mm}^2$	هنگام تریگر محل چسباندن تصویر $30 \times 50 \text{ mm}^2$
V_{B1}	محل چسباندن تصویر $30 \times 50 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $30 \times 50 \text{ mm}^2$
V_{B2}	محل چسباندن تصویر $30 \times 50 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $30 \times 50 \text{ mm}^2$

ادامه جدول 2: نتایج مدار مولتی ویبراتور مونو استابل

Test Points	قبل از تریگر	بعد از تریگر
V ₁	محل چسباندن تصویر 30×50 mm ²	محل چسباندن تصویر 30×50 mm ²
V ₂	محل چسباندن تصویر 30×50 mm ²	محل چسباندن تصویر 30×50 mm ²

تحقیق و پرسش:

سوال 1: عملکرد مدار شکل دو را بطور کامل تشریح و آنرا برای داشتن یک پالس پله با عرض 5 میلی ثانیه و دامنه 12 ولت طراحی نمایید.

سوال 2: با کمک ولتاژ مشاهده شده در V_{B2} ، عرض پالس خروجی را بدست آورده و آنرا با مقدار تئوری مقایسه کنید.

سوال 3: با ارائه روابط ریاضی و رسم شکل موجهای لازم نشان دهید که موازی کردن مقاومت R₁ در شکل 1 با یک خازن تسریع کننده منجر به بهبود زمان روشنی ترانزیستور Q₁ میشود.

سوال 4: نتایج جدول 2 را با نتایج شبیه سازی شده در پیش گزارش مقایسه کرده و در مورد آن بحث کنید.

سوال 5: با رسم دیاگرام مناسب سه کاربرد مدار مولتی ویبراتور مونو استابل در صنایع مختلف را شرح دهید.

آزمایش شماره هفت: مولتی ویراتور ترانزیستوری (آ استابل)

پیش گزارش: مدار شکل 1 را برای داشتن خروجی 10 ولت، فرکانس 10 Hz و سیکل کاری 50% طراحی و سپس مدار را با PSpice یا NI شبیه سازی و شکل موجهای کلکتور و بیس ترانزیستورها را بطور همزمان در پیش گزارش ارائه کنید. سپس LEDها را حذف و مدار را طوری تغییر دهید که فرکانس خروجی آن $10 \text{ kHz} (\pm 100 \text{ Hz})$ و سیکل کاری 60% گردد.

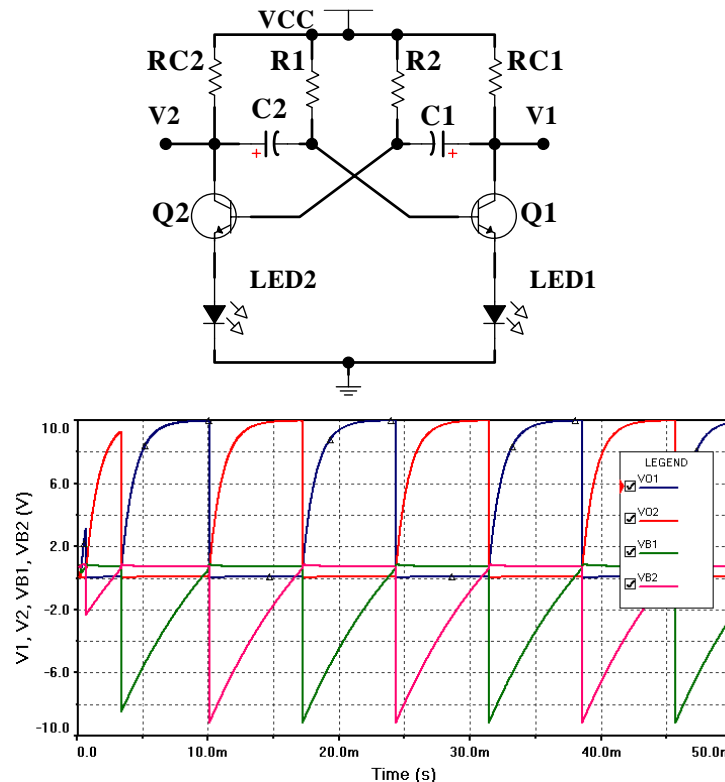
هدف: بررسی عملکرد مولتی ویراتور آ استابل

ابزار مورد نیاز: مولد موج، اسیلوسکوپ، برد آزمایشگاهی، منبع تغذیه DC، سیم اتصال و سایر قطعات مطابق با جدول 1

جدول 1: لیست قطعات مورد نیاز

ردیف	نام قطعه	مشخصات
1	مقاومت	بر حسب نیاز
2	خازن	بر حسب نیاز
3	ترانزیستور	2N3904 یا BC 107
4	دیود	1N914 یا 1N4148
5	LED	دو رنگ متفاوت

نوری: در گروه مدارهای مولتی ویراتور، مدارهای آ استابل مدارهایی بدون سطح پایدار هستند، بطوریکه خروجیهای مدار دائماً بین دو سطح Hi و Lo نوسان میکنند. شکل 1 مدار مولتی ویراتور آ استابل را همراه با شکل موجهای نقاط مختلف نشان میدهد.



شکل 1: مولتی ویراتور مونو استابل همراه با شکل موجهای نقاط مختلف آن

عملکرد مدار شکل یک را میتوان بصورت زیر تشریح کرد. فرض کنید Q_1 روشن و Q_2 خاموش باشد. خازن C_2 از طریق مقاومت R_{C2} و بیس Q_1 شارژ میشود. از طرفی، ولتاژ کلکتور Q_1 در وضعیت L_0 قرار دارد و خازن C_1 از طریق مقاومت R_2 و کلکتور-زمین Q_1 شروع به شارژ شدن کرده و همزمان ولتاژ بیس Q_2 را افزایش می دهد تا به ولتاژ وصل $V_{BE,ON}$ برسد. در نتیجه Q_2 روشن و ولتاژ خازن C_2 با پلاریته منفی در بیس Q_1 به آن اعمال شده و باعث خاموش شدن Q_1 میشود. تمام مراحل فوق برای نیمه دیگر مدار تکرار شده و در نتیجه خروجیهای مدار بین دو حالت Hi و L_0 نوسان میکنند.

انجام آزمایش: مدار شکل 1 را که در پیش گزارش طراحی کرده اید برای هر دو فرکانس 10 Hz و 10 kHz بترتیب روی برد ببندید و تصویر ولتاژ نقاط مختلف مدار را در جدولهای 2 و 3 زیر وارد کنید. زمانهای صعود خروجیهای مدار را در هر دو فرکانس 10 Hz و 10 kHz با کمک ولتاژهای V_1 و V_2 اندازه گیری و با نتایج حاصل از محاسبات تئوری مقایسه نمایید، سپس جدول 4 را تکمیل کنید.

جدول 2: نتایج مدار مولتی ویراتور آستابل با فرکانس 10 Hz

V_{B1}	V_{B2}	V_1	V_2
محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$

جدول 3: نتایج مدار مولتی ویراتور آستابل با فرکانس 10 kHz و سیکل کاری 60%

V_{B1}	V_{B2}	V_1	V_2
محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$

جدول 4: مقایسه زمانهای صعود خروجی

	10 Hz		10 kHz	
	اندازه گیری	تئوری	اندازه گیری	تئوری
$t_{r,V1}$ (s)				
$t_{r,V2}$ (s)				

تحقیق و پرسش:

- سوال 1: همانطوریکه از شکل 1 و جدول 4 مشاهده میشود، ولتاژ کلکتور ترانزیستور خاموش با تاخیر به مقدار نهایی خود میرسد. مداری پیشنهاد دهید که زمان صعود ترانزیستورها را به 5% عرض پالس زمان روشن شدن یا کمتر تقلیل دهد.
- سوال 2: با کمک ولتاژ مشاهده شده در بیس هر ترانزیستور، عرض پالس خروجی را بدست آورده و آنرا با مقادیر تئوری مقایسه کنید.

آزمایش شماره هشت: مولتی ویراتور با آپ امپ

پیش‌گزارش: همه مدارهای این آزمایش را با منبع تغذیه $\pm 10\text{ V}$ طراحی نمایید. از افت ولتاژ خروجی در حالت اشباع مثبت و منفی صرف نظر کنید. در مدارهای شکل 1.a و 3.a حداکثر فرکانس تریگر را یک کیلوهرتز در نظر بگیرید. مدار اشمیت تریگر (1.b) را برای نقاط $LTP = -3\text{ V}$ و $UTP = +5\text{ V}$ طراحی کنید. مدار مونو استابل (3.a) را برای داشتن عرض پالس خروجی 10 ms و مدار آستابل (3.b) را برای داشتن فرکانس 2 kHz با سیکل کاری 50% طراحی کنید.

هدف: بررسی عملکرد مولتی ویراتورهای آپ امپی بی استابل، مونو استابل، آستابل و اشمیت تریگر

ابزار مورد نیاز: مولد موج، اسیلوسکوپ، برد آزمایشگاهی، منبع تغذیه DC، سیم اتصال و سایر قطعات مطابق با جدول 1

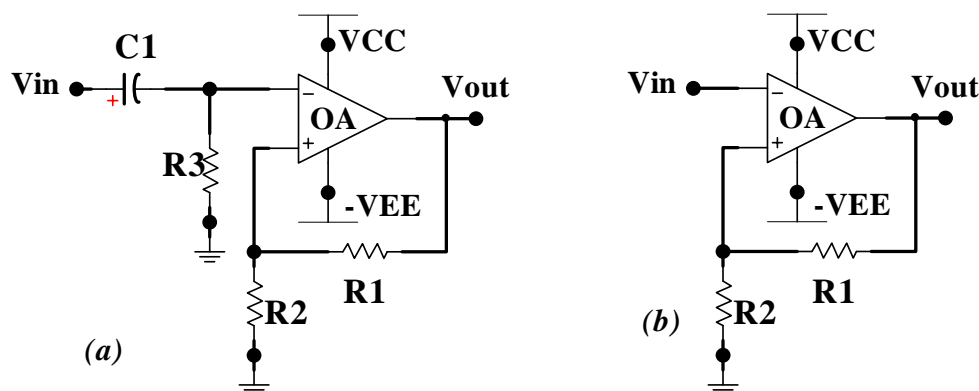
جدول 1: لیست قطعات مورد نیاز

ردیف	نام قطعه	مشخصات
1	مقاومت	بر حسب نیاز
2	خازن	بر حسب نیاز
3	آپ امپ	LM741 یا معادل آن
4	دیود	1N914 یا 1N4148
5	پتانسیومتر	بر حسب نیاز

نویس: مولتی ویراتورها مدارهای الکترونیکی با حالت خروجی پایدار و/یا ناپایدار می باشند. همانطوریکه قبلاً گفته شد اگر خروجی مولتی ویراتور دو حالت پایدار داشته باشد، مولتی ویراتور را بی استابل می نامند. حافظه ها و فلیپ فلاپها مثالهایی از مولتی ویراتور بی استابل هستند. در صورتیکه یک مولتی ویراتور بی استابل دارای مشخصه هیستریزس باشد، آنگاه مولتی ویراتور بی استابل را اشمیت تریگر مینامند.

اگر خروجی مولتی ویراتور تنها یک حالت پایدار داشته باشد، مولتی ویراتور را مونواستابل و در صورتیکه خروجی هیچ حالت پایداری نداشته باشد، آنرا آستابل مینامند.

مدار یک مولتی ویراتور بی استابل (a) و یک اشمیت تریگر (b) آپ امپی در شکل 1 نشان داده شده است.



شکل 1: (a) مولتی ویراتور بی استابل (b) اشمیت تریگر

با اعمال پالس با دامنه مناسب به ورودی مدار شکل 1.a خروجی مدار بین دو وضعیت VCC و -VEE تغییر میکند. در واقع ورودی V_{in} در این مدار بعنوان تریگر استفاده میشود. در مدار شکل 1.b سطوحی از ولتاژ ورودی باعث تغییر وضعیت خروجی از VCC به -VEE یا بالعکس میشود. فرض کنید خروجی در وضعیت VCC باشد، تا وقتی که ورودی مدار (ورودی منفی آپ امپ) از ورودی مثبت کمتر باشد، خروجی در همان وضعیت باقی خواهد ماند:

$$V_{in} (= V^-) \leq V^+ \rightarrow V_{out} \approx V_{CC}$$

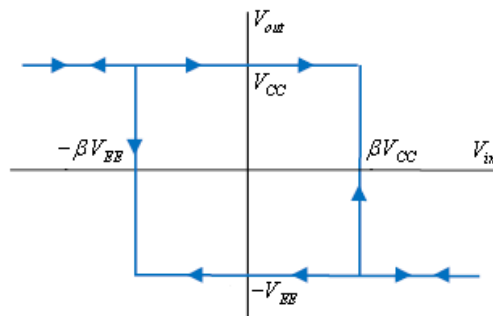
که در آن:

$$V^+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{out} = \beta V_{out}$$

با افزایش ورودی به بیش از ولتاژ ورودی غیرمعکوس (βV_{out})، خروجی تغییر سطح داده و به مقدار -VEE میرسد:

$$V_{in} (= V^-) \geq V^+ (= -\beta V_{EE}) \rightarrow V_{out} \approx -V_{EE}$$

در نتیجه منحنی مشخصه انتقال این مدار بصورت شکل 2 در خواهد آمد:



شکل 2: منحنی مشخصه انتقال اشmitt تریگر وارونگر

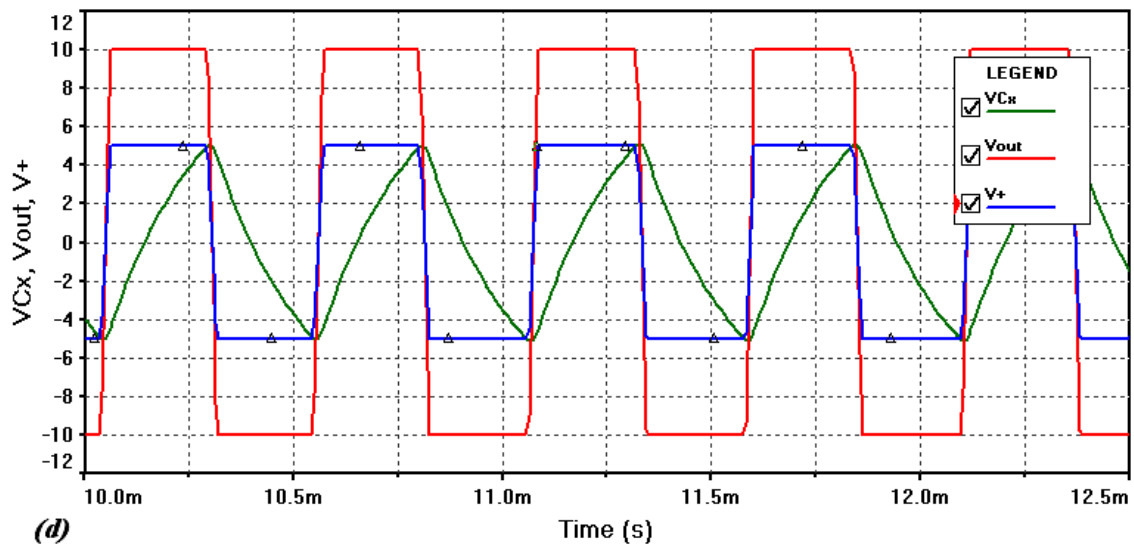
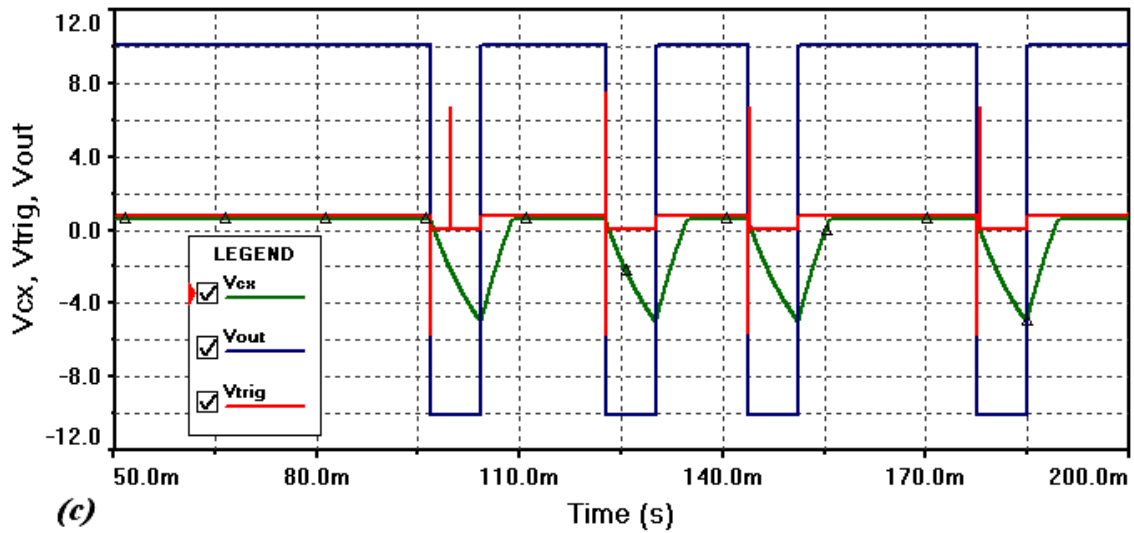
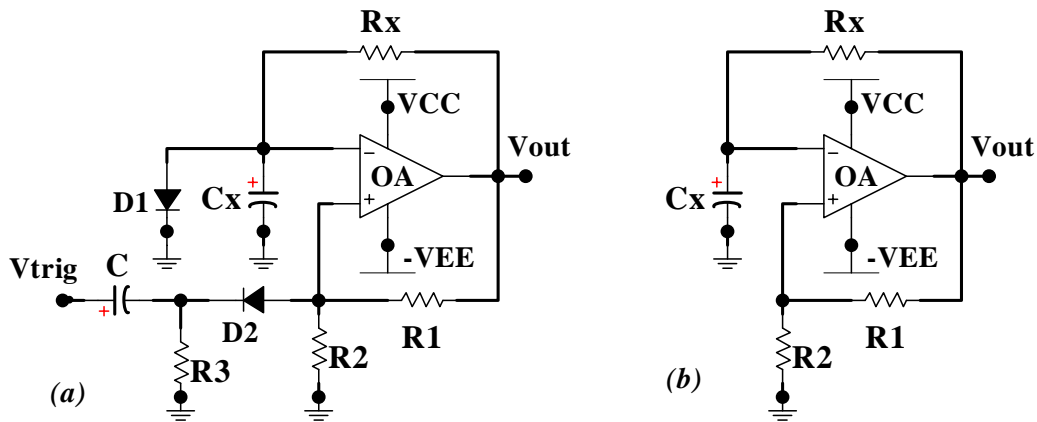
همچنین در شکل‌های 3.a و 3.b بترتیب مدارهای مولتی و بی‌راتور مونو استابل و آستابل ارائه شده اند. شکل موجهای نقاط مختلف این دو مدار نیز بترتیب در شکل‌های 3.c و 3.d ارائه شده اند.

در مدار مونواستابل، اگر خازن C_x بدون بار و ولتاژ تریگر در وضعیت Hi قرار داشته باشد، در نتیجه خروجی تا زمان اعمال پالسی منفی (یا صفر ولت) در اشباع مثبت خواهد بود. دیود D1 ولتاژ پایه معکوس آپ امپ را تقریباً در 0.7 ولت ثابت نگه خواهد داشت. با اعمال پالس تریگر، دیود D2 هدایت خواهد کرد و ولتاژ منفی را به پایه غیرمعکوس آپ امپ انتقال میدهد. در نتیجه خروجی برای مدت زمان PW به وضعیت Lo خواهد رفت:

$$PW = C_x R_x \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

همچنین در صورتیکه خروجی مدار آستابل در شکل 3.b در وضعیت Hi قرار داشته باشد، خازن C_x از طریق مقاومت R_x شارژ میشود تا به بیش از ولتاژ βV_o برسد. در نتیجه در این حالت خروجی اشباع منفی شده و اینبار خازن در مسیر معکوس شارژ و این سیکل تکرار میشود. میتوان نشان داد که دوره تناوب مولتی و بی‌راتور آستابل شکل 3.b تقریباً از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$T = 2C_x R_x \ln \left(1 + \frac{2R_2}{R_1} \right)$$



شکل 3: مولتی ویراتورهای مونواستابل (a) و آستابل (b) همراه با شکل موج نقاط مختلف مولتی ویراتور مونواستابل (c) و مولتی ویراتور آستابل (d)

انجام آزمایش:

الف) مدار شکل 1.a را که در پیش گزارش طراحی کرده اید روی برد ببندید. با اعمال ولتاژ تریگر مناسب تغییرات ولتاژ در خروجی را مشاهده و جدول 2 را تکمیل کنید.

جدول 2: نتایج مدار مولتی وینر اتور بی استابل

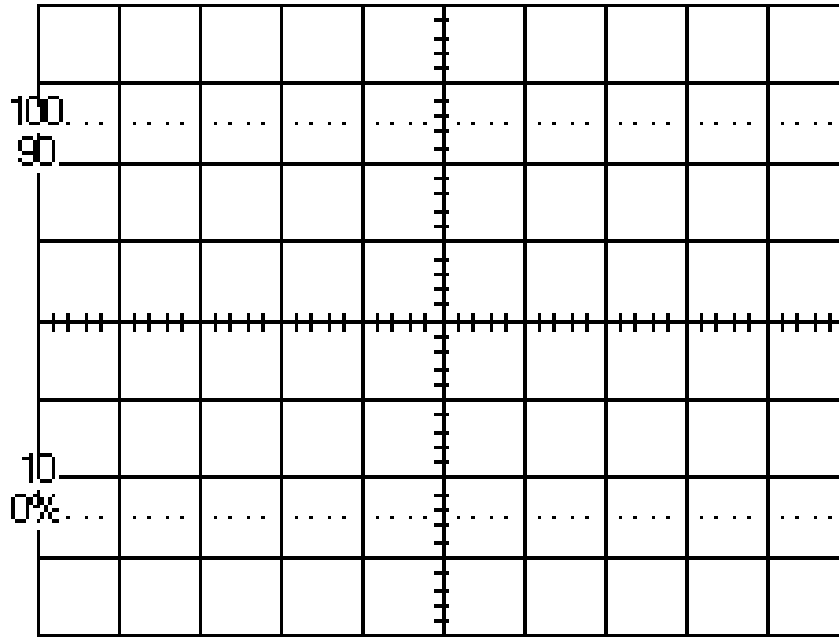
V_{in} (V)	V_{R2}	V_{R3}	V_{OUT}
-10	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$
+10	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$

ب) مدار شکل 1.b را که در پیش گزارش طراحی کرده اید روی برد ببندید. با اعمال ورودی سینوسی مناسب تغییرات ولتاژ در خروجی را مشاهده و جدول 3 را تکمیل کنید.

جدول 3: نتایج مدار اشمیت تریگر

$V_{in} = 4\sin(1000\pi t)$		$V_{in} = 7\sin(5000\pi t)$	
V_{R2}	V_{out}	V_{R2}	V_{out}
محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$

با کمک اسلوسکوپ مشخصه انتقال (مشخصه هیستریزیس) مدار اشمیت تریگر را مشاهده و آنرا در شکل زیر وارد کنید.



شکل 4: مشخصه انتقال مدار اشmitt تریگر

ج) مدار شکل 3.a را که در پیش گزارش طراحی کرده اید روی برد ببندید و با اعمال پالس تریگر مناسب تغییرات خروجی را مشاهده و جدول 4 را تکمیل کنید.

جدول 4: نتایج مدار مولتی ویبراتور مونواستابل

V_{in} (V)	V_{R2}	V_{CX}	V_{OUT}
Hi	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$
Lo	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$

د) مدار شکل 3.b را که در پیش گزارش طراحی کرده اید روی برد ببندید و ضمن مشاهده تغییرات ولتاژ در خروجی جدول 5 را تکمیل کنید.

جدول 5: نتایج مدار مولتی ویراتور آستابل

V_{R2}	V_{CX}	V_{OUT}
محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$

ه) یکی از اشکالات مدار شکل 3.b عدم کنترل بر سیکل کاری خروجی آن است. با اعمال تغییرات لازم در مداری که در قسمت "د" این آزمایش بسته اید، مداری با سیکل کاری متغییر بین 20 تا 80 درصد ($\pm 5\%$) طراحی و با تغییر سیکل کاری، خروجی مدار را مشاهده و جدول 6 را تکمیل کنید.

جدول 6: شکل موج خروجی مدار مولتی ویراتور آستابل بهبود یافته

Duty Cycle		
25%	50%	75%
محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$	محل چسباندن تصویر $45 \times 45 \text{ mm}^2$

تحقیق و پرسش:

- سوال 1: عملکرد مدار 3.a را بطور کامل شرح دهید.
- سوال 2: عرض پالس (PW) مدار مونواستابلی را که طراحی کرده اید با مقدار واقعی آن مقایسه کنید و در مورد اختلاف بین دو مقدار بحث کنید.
- سوال 3: فرکانس مداری که در بخش "د" این آزمایش طراحی کرده اید را با مقدار واقعی آن مقایسه کنید و در مورد دلایل تفاوت آنها بحث کنید.
- سوال 4: مشخصه انتقال شکل 4 را با مشخصه تئوری آن مقایسه و در مورد اختلاف آنها بحث کنید.