

## فهرست

1	..... فصل اول : آشنایی مقدماتی
2	..... روش خواندن مقادیر مقاومت و خازن
3	..... آشنایی با خازن
5	..... برد بورد
6	..... فصل دوم : قوانین اهم، جمع آثار، تقسیم ولتاژ
7	..... بررسی تجربی قانون اهم در مدارهای الکتریکی
8	..... آزمایش 1 : قوانین کیرشهف
10	..... فصل سوم : پل وتستون
11	..... مقدمه
13	..... آزمایش 2: تعیین مقاومت مجهول
14	..... فصل چهارم : تبدیل مدل ستاره و مثلث
16	..... آزمایش 3 : مدل ستاره و مثلث
17	..... فصل پنجم :مدارهای $RL, RC, RLC$
18	..... مقدمه
20	..... مقاومت در مدار $AC$
21	..... سلف در مدار $AC$
23	..... بررسی خازن در مدار $AC$
24	..... فیلتر پایین گذر

25	..... فیلتر بالا گذر
27	..... مدار RL
28	..... مدار مشتق گیر RL
28	..... آشنایی با مدارهای مرتبه دوم RLC
28	..... مدار RLC سری
32	..... مدار RLC موازی
43	..... آزمایش 4 : شارژ و دشارژ خازن با ولتاژ DC
45	..... آزمایش 5 : مدار مشتق گیر RC
46	..... آزمایش 6 : مدار انتگرال گیر RC
48	..... آزمایش 7 : مدار مشتق گیر RL
50	..... آزمایش 8: مدار RLC سری
51	..... آزمایش 9: مدار RLC موازی
52	..... فصل ششم: امپدانس داخلی منبع و تطبیق امپدانس
53	..... اندازه گیری امپدانس داخلی منبع
54	..... تطبیق امپدانس
55	..... مدار تطبیق امپدانس درجه 2
57	..... آزمایش 10 : تطبیق امپدانس .
59	..... فصل هفتم: آشنایی با دیود ها و بررسی مشخصه استاتیکی آنها
60	..... نیمه هادی
61	..... دسته بندی دیودها

61	..... دیود اتصال نقطه ای
62	..... دیود زنر
63	..... دیود نوردهنده LED
64	..... فتو دیود
64	..... دیودهای سیگنال
65	..... استفاده از دیود زنر برای تهیه ولتاژ ثابت دیودهای زنر
65	..... روش نام گذاری دیودها
67	..... آزمایش 11: دیود سیلیکونی
69	..... آزمایش 12 : دیود زنر
71	..... آزمایش 13 : رابطه بین جریان و روشنایی LED
73	..... فصل هشتم: مدارهای کلیپ ، کلمپ و دوبرابر کننده ولتاژ
74	..... بررسی مدار برش دهنده یا محدودکننده (کلیپ)
77	..... مدارهای کلمپ
79	..... آزمایش 14 : مدار کلیپ
82	..... آزمایش 15 : مدار کلیپ
85	..... آزمایش 16 : مدار کلمپ
86	..... فصل نهم: یکسوکننده ها
87	..... مقدمه

91	..... آزمایش 17 : یکسو کننده نیم موج .....
95	..... آزمایش 18 : یکسو کننده تمام موج پل .....
97	..... آزمایش 19 : یکسوساز تمام موج .....
99	..... آزمایش 20 : یکسوساز دو برابر کننده ولتاژ .....
102	..... آزمایش 21 : یکسوساز دو برابر کننده ولتاژ (با پل دیودی) .....
104	..... فصل دهم: انواع ترانزیستور مشخصه های آن و تقویت کننده های ترانزیستوری .....
105	..... انواع ترانزیستور .....
106	..... چگونگی عملکرد ترانزیستور BJT و یک نمونه مدار بایاس آن .....
107	..... شناسایی پایه های ترانزیستور .....
107	..... تست ترانزیستور .....
108	..... بایاس ترانزیستور .....
110	..... آرایش های مختلف BJT .....
110	..... مدار تقویت کننده امیتر مشترک .....
113	..... تقویت کننده کلکتور مشترک .....
115	..... تقویت کننده بیس مشترک .....
117	..... ترانزیستورهای اثر میدان FET .....
118	..... تقویت کننده سورس مشترک .....
119	..... تقویت کننده درین مشترک .....
120	..... انواع کوپلاژ تقویت کننده ها .....

- 121 ..... آزمایش 22 : مشخصه ترانزیستور های BJT
- 122 ..... آزمایش 23 : مشخصه ترانزیستور های BJT
- 124 ..... آزمایش 24 : تقویت کننده امپدانس مشترک
- 132 ..... آزمایش 25 : تقویت کننده بایاس مشترک
- 135 ..... آزمایش 26 : تقویت کننده کلکتور مشترک
- 137 ..... آزمایش 27 : مدار سوئیچ (ناحیه قطع و اشباع)
- 138 ..... آزمایش 28 : مدار سوئیچ (فعال کردن رله با ترانزیستور)
- 140 ..... آزمایش 29 : مدار دارلینگتون
- 143 ..... آزمایش 30 : مشخصه ترانزیستور های jfet
- 145 ..... آزمایش 31 : مشخصه ترانزیستور های MOSFET
- 147 ..... آزمایش 32 : تقویت کننده سورس مشترک
- 153 ..... آزمایش 33 : تقویت کننده درین مشترک
- 155 ..... آزمایش 34 : تقویت کننده سورس مشترک
- 156 ..... آزمایش 35 : تقویت کننده با کوپلینگ مستقیم و RC
- 160 ..... آزمایش 36 : تقویت کننده با ترانسفورماتور کوپلینگ

- .....
- 164 فصل یازدهم: منحنی نگار (Curve Tracer) .....
- 166 آزمایش 37 : مشاهده منحنی مشخصه ی ترانزیستور BJT .....
- .....
- 167 آزمایش 38 : مشاهده منحنی مشخصه ی دیود .....
- .....
- 168 فصل دوازدهم: رگولاتور .....
- 169 مقدمه .....
- 174 آزمایش 39 : رگولاتور های ساده .....
- 177 آزمایش 40 : رگولاتور زنر- ترانزیستور .....
- 179 آزمایش 41 : رگولاتور زنر- ترانزیستور .....
- .....
- 180 فصل سیزدهم: مشخصه های اصلی تقویت کننده های عملیاتی .....
- 181 مقدمه .....
- 193 آزمایش 42 : بررسی تقویت کننده تفاضلی در مد مشترک .....
- 195 آزمایش 43 : بررسی تقویت کننده تفاضلی در مد تفاضلی .....
- 197 آزمایش 44 : تقویت کننده معکوس کننده .....
- .....
- 199 آزمایش 45 : تقویت کننده غیر معکوس کننده .....
- .....
- 200 آزمایش 46 : دنبال کننده ولتاژ (بافر) .....

201	..... فصل چهاردهم : نوسان ساز(اسیلاتور)
202	..... مقدمه
203	..... اسیلاتور کولپیتس
205	..... اسیلاتور هارتلی
207	..... مولد موج مورب
208	آزمایش 47 : اسیلاتور کولپیتس
210	..... آزمایش 48 : اسیلاتور هارتلی
212	..... آزمایش 49 : مولد موج مورب Ramp
214	..... فصل پانزدهم : مدارات مولتی ویراتور با آی سی 555
215	..... مقدمه
221	..... آزمایش 50 : مولتی ویراتور ناپایدار (Astable)
223	..... آزمایش 51 : نوسان ساز موج مربعی با زمان پالس و دوره تناوب قابل تغییر
224	..... آزمایش 52 : نوسان ساز موج مربعی با فرکانس ثابت و عرض پالس قابل تغییر
225	..... آزمایش 53 : نوسان ساز کنترل شده با ولتاژ (VCO)
227	..... فصل شانزدهم: فیدبک منفی
228	..... مقدمه
233	..... آزمایش 54 : فیدبک منفی ولتاژ- سری
239	..... آزمایش 55 : فیدبک منفی ولتاژ - موازی
242	..... آزمایش 56 : فیدبک منفی جریان - سری

آزمایش 57: فیدبک منفی ولتاژ – سری ..... 244

فصل هفدهم: پوش پول ..... 248

آزمایش 58: پوش پول کلاس های AB, B, A, ..... 251

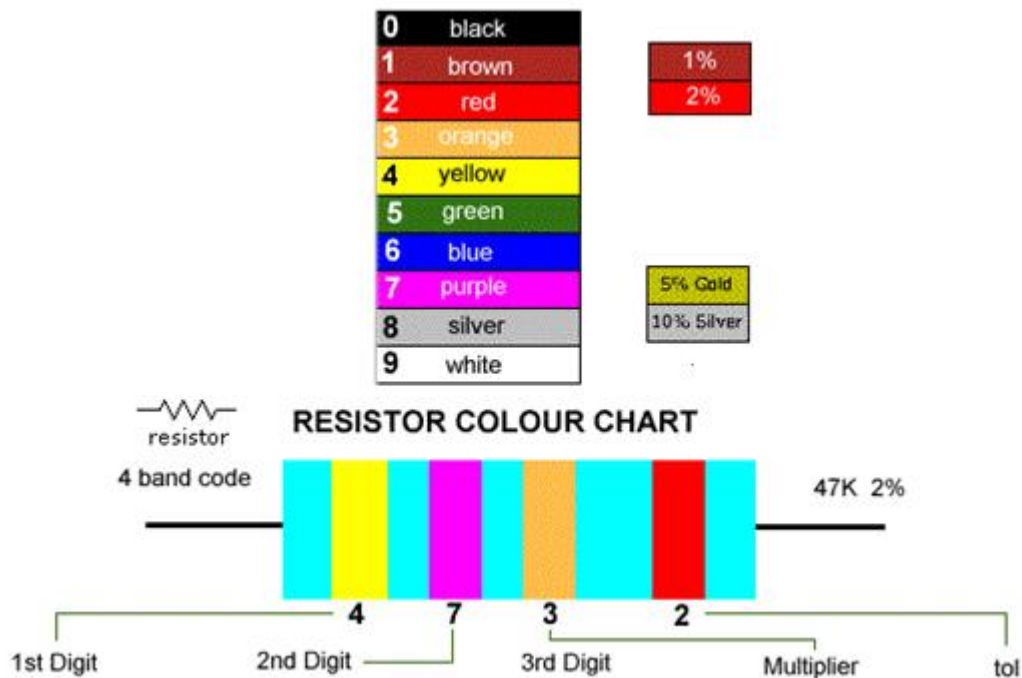
.....



# فصل اول

## آشنایی مقدماتی

## روش خواندن مقادیر مقاومت و خازن



$$ab \times 10^c \pm d$$

طرز استفاده صحیح از اهمتر: هنگام اندازه گیری با اهمتر حتما از برد آزمایشگاهی استفاده کنید. به رنج اهمتر نیز توجه داشته باشید. **Overload**، مفهوم آن و نحوه نمایش آن را از دفترچه ی مولتی متر یاد بگیرید.

بر روی منابع توجه داشته باشید که **GND** برای حفاظت است و ولوم **Current** برای محدود کردن حداکثر جریان. (در صورتی که بار بیشتر از این مقدار مصرف کند خروجی صفر خواهد شد و از این نظر می توان به عنوان محافظ از آن استفاده کرد)

در آزمایشگاه الکترونیک 1 وضعیت های **SER** و **PAR** استفاده نمی شوند و فقط کلید **STANDYBY** گاهی کاربرد دارد.

از مقاومت برای محدود کردن ولتاژ و جریان استفاده می شود (وظیفه ی اصلی مقاومت) ولی تا جایی که بتوانیم از این المان استفاده نمی کنیم چون باعث ایجاد تلفات و در نتیجه توان مصرفی مدار می شود. از نظر قیمت، قیمت یک مقاومت 0.5 اهم رایج در آزمایشگاه بسیار ناچیز است ولی در هنگام تهیه ی یک مقاومت به غیر از مقدار اهمی آن باید به موارد دیگری از جمله توان قابل تحمل توسط آن توجه داشت.

در یک مدار فرضی ممکن است هنگام طراحی مقدار توان مصرفی مقاومت 8 وات و مقدار آن 0.5 اهم محاسبه گردد. با توجه به وجود خطا در یک مدار واقعی هنگام تهیه ی مقاومت باید در خواست یک مقاومت 0.5 اهم و 10 وات کنیم.

بنابراین قبل از بستن مدار باید توان مقاومت های بکار رفته در آن مدار را محاسبه کنیم.

برای بالا بردن توان مقاومت ها می توان از موازی کردن آن ها استفاده کرد.

مقاومت هایی که مقدار آن ها متغیر است:

VDR: مقاومت متغیر با ولتاژ دو سر آن (این نوع از مقاومت ها در مدار ورودی تلویزیون و تلفن که با ولتاژهای ضربه و کلید زنی رو به رو هستند کاربرد دارد).

### آشنایی با خازن (عملکرد خازن در مدارات AC و DC)

خازن عبارتست از دو صفحه موازی فلزی که در میان آن لایه ای از هوا یا عایق قرار دارد. خازن ها انرژی الکتریکی را نگهداری می کنند و به همراه مقاومت ها، در مدارات تایمینگ استفاده می شوند. همچنین از خازن ها برای صاف کردن سطح تغییرات ولتاژ مستقیم استفاده می شود. از خازن ها در مدارات به عنوان فیلتر هم استفاده می شود. زیرا خازن ها به راحتی سیگنالهای غیر مستقیم AC را عبور می دهند ولی مانع عبور سیگنالهای مستقیم DC می شوند .

### ظرفیت خازن

ظرفیت معیاری برای اندازه گیری توانایی نگهداری انرژی الکتریکی است. ظرفیت زیاد بدین معنی است که خازن قادر به نگهداری انرژی الکتریکی بیشتری است. واحد اندازه گیری ظرفیت فاراد است. 1 فاراد واحد بزرگی است و مشخص کننده ظرفیت بالا می باشد. باید گفت که ظرفیت خازن ها یک کمیت فیزیکی هست و به ساختمان خازن وابسته است و به مدار و اختلاف پتانسیل بستگی ندارد.

بنابراین استفاده از واحدهای کوچک تر نیز در خازن ها مرسوم است. میکروفاراد  $\mu F$ ، نانوفاراد nF و پیکوفاراد pF واحدهای کوچک تر فاراد هستند.

$$\mu : 10^{-6} \text{ (millionth)}, \quad 1000000\mu F = 1F$$

$$n : 10^{-9} \text{ (thousand-millionth)}, \quad 1000nF = 1\mu F$$

$$p : 10^{-12} \text{ (million-millionth)}, \quad 1000pF = 1nF$$

خازن المان الکتریکی است که می تواند انرژی الکتریکی را توسط میدان الکترواستاتیکی (بار الکتریکی) در خود ذخیره کند. انواع خازن در مدارهای الکتریکی بکار می روند. خازن را با حرف C که ابتدای کلمه capacitor است نمایش می دهند. ساختمان داخلی خازن از دو قسمت اصلی تشکیل می شود:

الف ( صفحات هادی ، ب ) عایق بین هادیها (دی الکتریک)

ساختمان خازن هرگاه دو هادی در مقابل هم قرار گرفته و در بین آنها عایقی قرار داده شود، تشکیل خازن می دهند. معمولا صفحات هادی خازن از جنس آلومینیوم ، روی و نقره با سطح نسبتا زیاد بوده و در بین آنها عایقی (دی الکتریک) از جنس هوا ، کاغذ ، میکا ، پلاستیک ، سرامیک ، اکسید آلومینیوم و اکسید تانتالیوم استفاده می شود. هر چه ضریب دی الکتریک یک ماده عایق بزرگتر باشد آن دی الکتریک دارای خاصیت عایقی بهتر است. به عنوان مثال ، ضریب دی الکتریک هوا 1 و ضریب دی الکتریک اکسید آلومینیوم 7 می باشد. بنابراین خاصیت عایقی اکسید آلومینیوم 7 برابر خاصیت عایقی هوا است.

### انواع خازن

الف) خازنهای ثابت : سرامیکی ، خازنهای ورقه ای ، خازنهای میکا ، خازنهای کترولیتی ، آلومینیومی ، تانتالیوم

ب) خازنهای متغیر : واریابل ، تریمر

انواع خازن بر اساس شکل ظاهری آنها :

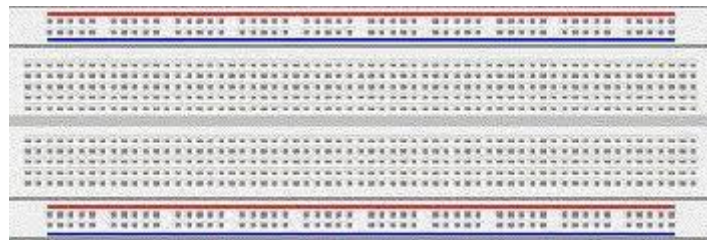
1. مسطح 2. کروی 3. استوانه ای

انواع خازن بر اساس دی الکتریک آنها :

1. خازن کاغذی 2. خازن الکترونیکی 3. خازن سرامیکی 4. خازن متغیر.

## برد برد

تخته آزمایش یا برد برد، وسیله‌ای است برای ساخت سریع مدارهای الکتریکی و الکترونیکی در آزمایشگاه. این وسیله با سوراخهای فنرداری که دارد، نیاز به لحیم کاری را برطرف میکند. در عین حال، چون پایه‌های عناصر مختلف (خازن، مقاومت، دیود، ترانزیستور و ...) ممکن است ضخیم و خارج از تحمل فنر داخل برد برد باشد، میتوان آنها را به سیمهای نازکی لحیم کرده و سپس سیمها را درون سوراخهای بردبرد قرار داد. همانطور که در شکل 3 نشان داده شده است، هر جا سوراخهای فنر به یکدیگر متصل شده اند، یک گره به وجود آمده است و برای وصل کردن دو المان مدار به یکدیگر نظیر مقاومت، خازن و ... ، کافی است که هر یک از سرهای آنها که قرار است به یکدیگر متصل شوند، در یک گره باشد و لازم نیست که دو سر آن دو عنصر، به هم پیچانده شده یا لحیم گردد.



برد برد

## فصل دوم

قوانین اهم، جمع آثار، تقسیم و لتاژ

## بررسی تجربی قانون اهم در مدارهای الکتریکی

وقتی بین دو سر سیمی یک اختلاف پتانسیل الکتریکی برقرار شود، از آن جریانی عبور می‌کند که شدتش به مقاومت الکتریکی سیم بستگی دارد. اولین بار اهم دانشمند آلمانی کتابی در این زمینه منتشر نمود که در آن شرح آزمایشهای مربوط به رابطه اختلاف پتانسیل با شدت جریان را نشان می‌داد. رابطه بین شدت جریان و اختلاف پتانسیل را به احترام این دانشمند که اولین بار موفق به کشف آن شد، قانون اهم می‌نامند.

وقتی دمای سیم ثابت باشد و بین دو سر سیم اختلاف پتانسیلهای مختلفی برقرار گردد، شدت جریانهای که از سیم می‌گذرد متناسب با اختلاف پتانسیلهای دو سر آن است. اگر دو سر رسانای  $R$  به اختلاف پتانسیل  $V$  مربوط باشد و جریانی به شدت  $I$  از آن عبور کند، همواره نسبت اختلاف پتانسیل به شدت جریان مقداری است ثابت که به آن مقاومت الکتریکی رسانا می‌گویند:

$$V/I = R \quad \text{مقدار ثابت}$$

این رابطه نشان می‌دهد که منحنی نمایش تغییرات اختلاف پتانسیل بر حسب شدت جریان خطی است. موقعی که جریان الکتریکی از سیم عبور می‌کند، مطابق قانون ژول در آن گرما ایجاد می‌شود و گرمای حاصل باعث تغییر مقاومت رسانا می‌شود.

حامل های بار الکتریکی مقیدند که از مسیری که رسانش زیاد دارد عبور کنند، که به این مسیر همان مدار است. برای پیدا کردن شدت جریان یا اختلاف پتانسیل در مدارهایی که چند شاخه دارند از قوانین کیرشهف استفاده می‌شود. قوانین کیرشهف به صورت زیر است:

### قانون گره KCL:

در هر گره از مدار جمع جبری اختلاف پتانسیل ها برابر با صفر است. به عبارت دیگر در هر نقطه از مدار مجموع جریان های وارد شده با مجموع جریان های خروجی برابر است.

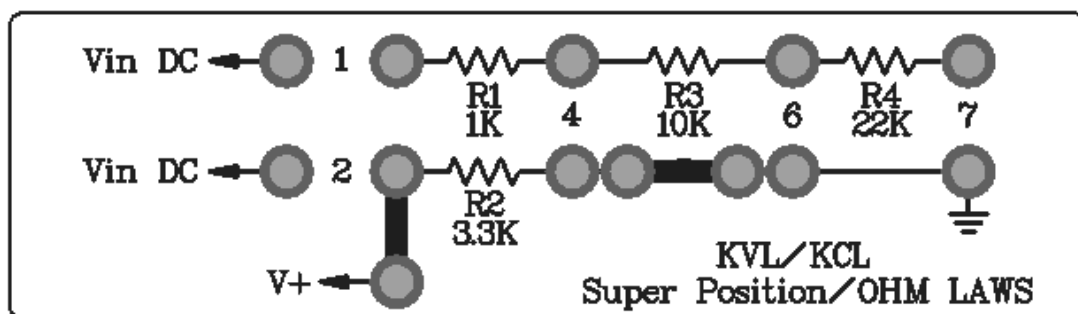
### قانون حلقه KVL:

در هر مدار جمع جبری اختلاف پتانسیل ها برابر با صفر است. بنا به قرار داد جریانهای ورودی را با علامت مثبت و جریان های خروجی را با علامت منفی نشان می‌دهیم. جهت طی کردن حلقه اختیاری است.

## آزمایش 1: قوانین کیرشهف

مراحل آزمایش:

- (1) جامپ‌های شماره 3 و 5 را در بلوک KVL/KCL/Super Position/OHM LAWS قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.

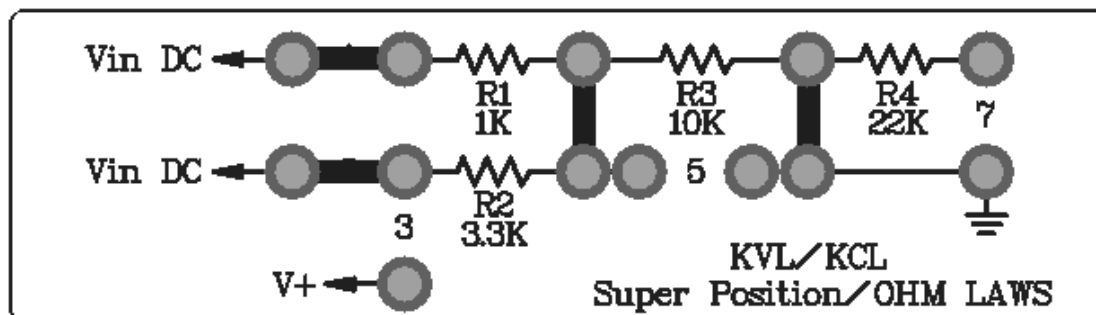


- (2) به ورودی مدار ولتاژ 0-20Vdc را متصل نمایید.

- (3) برای ولتاژهای مختلف جریان را اندازه گیری کنید. (جدول زیر توسط دانشجو پر شود).

R3=3.3K				
V	3V	5V	7V	10V
I				

- (4) جامپ‌های شماره 1 و 2 و 4 و 6 را در بلوک KVL/KCL/Super Position/OHM LAWS قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.





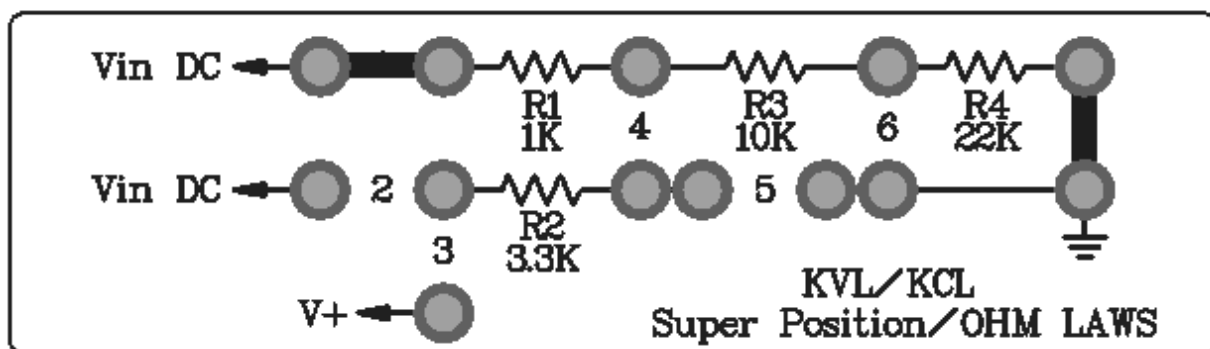
(5) به ورودی بالایی مدار ولتاژ 5Vdc و به ورودی پایینی ولتاژ 3Vdc را متصل نمایید.

(6) با استفاده از مولتی متر جریان عبوری از سه مقاومت را اندازه گیری کنید .

Vin1=5V , Vin2=3V		
I1 , R1=1K	I2 , R2=3.3K	I3, R3=10K

(7) جامپهای شماره 1 و 7 را در بلوک KVL/KCL/Super Position/OHM LAWS قرار دهید تا مدار زیر حاصل

شود.



(8) به ورودی بالایی مدار ولتاژ 5Vdc را متصل نمایید.

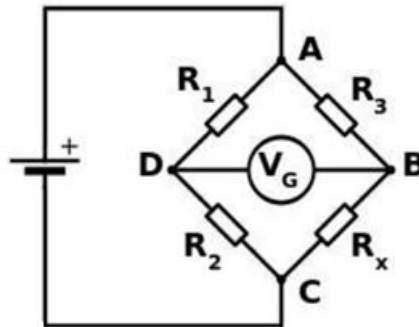
(9) با استفاده از مولتی متر ولتاژ دو سر هر یک از سه مقاومت را اندازه گیری کنید .

Vin1=5V		
V1 , R1=1K	V3 , R3=10K	V4, R4=22K

## فصل سوم

### پل و تستون

مدار پل وتستون برای اندازه گیری سریع و دقیق مقاومت مجهول بسیار متداول است . این شیوه اندازه گیری در سال 1843 توسط چارلز وتستون ابداع شده است .



### ساختمان مدار پل وتستون

همانگونه که در شکل دیده می شود، مدار پل وتستون از چهار مقاومت  $R_1$  ,  $R_2$  ,  $R_3$  ,  $R_4$  تشکیل شده است. اساس کار مدار پل وتستون اینگونه است که ولتاژ ورودی به دو قسمت تقسیم می شود . جریان خروجی از هر دو ولتاژ تقسیم شده ، تشکیل می گردد . در فرم کلاسیک مدار پل وتستون یک گالوانومتر (ماده بسیار حساس به جریان مستقیم در بین ورودی و خروجی ولتاژ نصب می شود).

اگر ولتاژ تقسیم شده به گونه ای باشد که دقیقاً نسبت  $R_4 R_1 = R_3 R_2$  برقرار باشد، در این صورت گفته می شود که پل در حالت تعادل است. در این صورت گالوانومتر هیچ جریانی را نشان نمی دهد. اگر چنانچه یکی از مقاومتها ، حتی به اندازه بسیار کوچک ، تغییر کنند، در این صورت تعادل به هم خورده و عقربه گالوانومتر جریانی را نشان می دهد. پس گالوانومتر مقیاسی برای نشان دادن شرط تعادل است .

## طرز کار پل و تستون

فرض کنید یک ولتاژ dc به اندازه E به مدار پل اعمال شود. در اینجا نیز یک گالوانومتر برای نشان دادن شرط تعادل بین دو نقطه ولتاژ ورودی و خروجی نصب شده است. مقادیر مقاومت‌های  $R_2$  و  $R_3$  دقیقاً معلوم هستند، اما  $R_1$  یک مقاومت متغیر است که به راحتی قابل تغییر است. بجای  $R_4$  یک مقاومت مجهول که آن را با  $R_x$  نشان می‌دهیم، قرار داده شده است. ولتاژ E اعمال می‌شود و مقاومت متغیر  $R_1$  به گونه‌ای تنظیم می‌شود که گالوانومتر جریانی را نشان ندهد.

وقتی مدار در حالت تعادل باشد، جریانی از گالوانومتر عبور نمی‌کند و ولت سنج اختلاف پتانسیلی را نشان نمی‌دهد. بنابراین نقاط C, D هم پتانسیل هستند پس افت ولتاژ روی دو بازو بایستی یکسان باشد.

$$R_x I_1 = R_3 I_2$$

$$R_2 I_1 = R_1 I_2$$

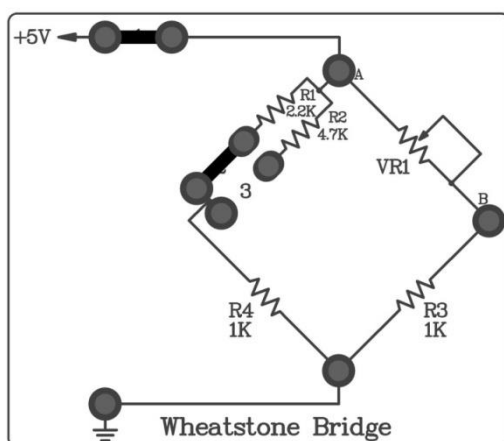
بنابراین داریم :

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

## آزمایش 2: تعیین مقاومت مجهول

مراحل آزمایش:

(1) جامپرها را در بلوک Wheatstone Bridge مطابق شکل سیم بندی قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



(2) به ورودی مدار ولتاژ +5 V dc اعمال کنید .

(3) ولوم VR1 را با مقدار 5K درون مدار قرار دهید .

(4) یک مولتی متر بین دو پین غیر مشترک R3, R4 قرار دهید.

(5) با تغییر ولوم ، ولتاژ دوسر را اندازه گیری نمائید و این کارا آنقدر ادامه دهید تا ولتاژ میانی پل صفر شود یعنی مدار

به اصطلاح به حالت تعادل برسد . مقدار ولوم را بخوانید و با توجه به روابط مقدار مقاومت R1 (مجهول) را بدست

آورید .

$$R_x = \frac{R_4 VR_1}{R_3}$$

$$R_4 = R_3 = 1K$$

$$R_1 = VR_1 \approx 2.1K$$

(6) به جای جامپر شماره 2 جامپر شماره 3 را وارد مدار کنید و مراحل بالا را تکرار کنید .

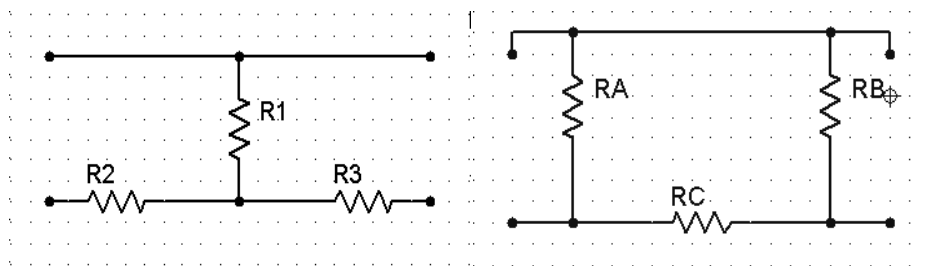
$$R_4 = R_3 = 1K$$

$$R_1 = VR_1 \approx 4.65K$$

## فصل چهارم

### تبدیل مدل ستاره و مثلث

روابط تبدیل مدل ستاره به مثلث به صورت زیر می باشد .



$$R1 = \frac{RA \times RB}{RA + RB + RC}$$

$$R2 = \frac{RA \times RC}{RA + RB + RC}$$

$$R3 = \frac{RB \times RC}{RA + RB + RC}$$

$$RA = \frac{R1R2 + R1R3 + R2R3}{R3}$$

$$RB = \frac{R1R2 + R1R3 + R2R3}{R2}$$

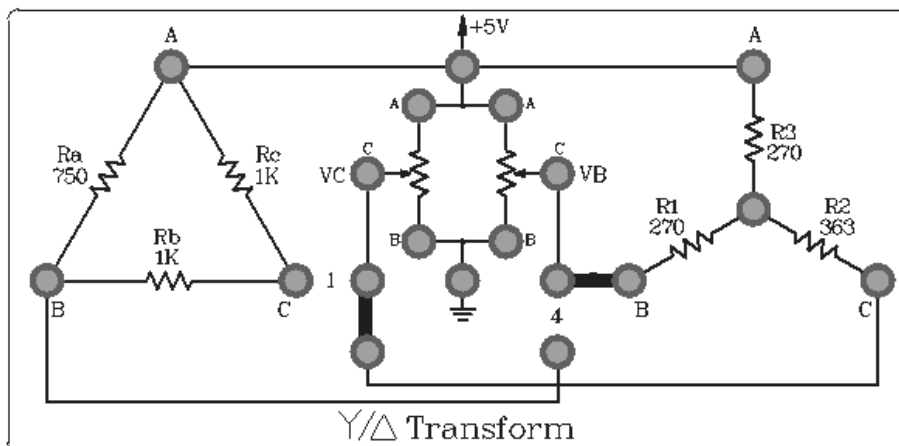
$$RC = \frac{R1R2 + R1R3 + R2R3}{R1}$$

نکته : در صورتی که  $R1 = R2 = R3 = R\lambda$  باشد، آنگاه  $RA = RB = RC = R\Delta = 3R\lambda$

### آزمایش 3: مدل ستاره و مثلث

مراحل آزمایش:

(1) جامپرهای شماره 2 و 3 را در بلوک Y /  $\Delta$  Transform قرار دهید تا مدار مدل ستاره کامل شود.



(2) به پین ورودی ولتاژ +5Vdc اعمال نمایید و ولوم 1K را برای VB و ولوم 5K را برای VC وارد مدار کنید.

(3) سپس VB و VC را طوری تنظیم کنید تا VAB روی 5Vdc و VAC روی 3Vdc تنظیم شود، در محل جامپرهای 2

و 3 آمپرتر قرار دهید و جریان هر شاخه را اندازه گیری نمایید و در جدول ثبت کنید.

(4) سپس جامپرهای شماره 1 و 4 را در بلوک Y /  $\Delta$  Transform قرار دهید تا مدار مدل مثلث کامل شود. مقادیر ولوم ها را تغییر ندهید.

(5) در محل جامپرهای 1 و 4 آمپرتر قرار دهید و جریان هر شاخه را اندازه گیری نمایید و در جدول ثبت کنید. سپس

مقاومت معادل دیده شده از سر AB و AC را بدست آورید و باهم مقایسه کنید. (جداول توسط دانشجو پر شود)

	IB	IC	VAB	VAC	$RT1 = \frac{VAB}{IB}$	$RT2 = \frac{VAC}{IC}$
ستاره			5V	3V		
مثلث			5V	3V		



## فصل پنجم

مدارهای  $RL$ ,  $RC$ ,  $RLC$

## مقدمه

به طور کلی در یک مدار AC می توان مصرف کننده ها را از نظر نوع مصرف انرژی الکتریکی به دو دسته تقسیم کرد:

- مصرف کننده های اکتیو (مقاومتی)
- مصرف کننده های راکتیو (خازنی یا سلفی)

انواع مختلف مصرف کننده ها در مدارهای الکتریکی رفتارهای متفاوتی از خود بروز می دهند؛ برای مثال مصرف کننده های اکتیو با تبدیل انرژی الکتریکی به شکل دیگری از انرژی، انرژی الکتریکی را مصرف می کنند. این رفتار در مصرف کننده های راکتیو کمی متفاوت است چرا که این مصرف کننده ها به جای مصرف انرژی الکتریکی این انرژی را ذخیره می کنند. این انرژی ذخیره شده تا زمانی در المان باقی می ماند که المان به وسیله یک جریان یا ولتاژ ثابت از طرف منبع تغذیه شود. با پایان یافتن روند تغذیه، مصرف کننده راکتیو شروع به جبران انرژی کاسته شده می کند بدین صورت که انرژی ذخیره شده خود را دوباره به مدار بازمی گرداند. در مدارهای DC این عملکرد بارهای راکتیو تأثیر زیادی بر روی عملکرد شبکه الکتریکی نمی گذارد اما در یک مدار AC به علت تغییر دایم میزان انرژی وارد شده به مدار بارهای راکتیو می توانند موجب ایجاد اختلال در عملکرد شبکه شوند به این صورت که در آغاز هر سیکل بارهای راکتیو مانند یک مصرف کننده از مدار انرژی دریافت می کنند و این انرژی را تا لحظه ماکسیمم یا پیک موج در خود نگاه می دارند. با کاهش یافتن روند تغذیه بار، این بار انرژی ذخیره شده خود را - که با توجه به نوع بار می تواند به صورت ولتاژ یا جریان باشد - به مدار بازمی گرداند این بازگشت انرژی تأثیرات خاصی را در مدار به دنبال خواهد داشت که به آنها خواهیم پرداخت.

در یک مدار کاملاً مقاومتی شکل موج جریان و ولتاژ با هم هم زمان هستند (یعنی در یک زمان صفر و ماکسیمم می شوند). حال اگر در مدار بار راکتیوی مانند خازن یا القاگر وجود داشته باشد انرژی ذخیره شده در این نوع بارها باعث به وجود آمدن اختلاف بین شکل موج ولتاژ و جریان می شود. این انرژی ذخیره شده به منبع باز خواهد گشت در حالیکه تأثیر مثبتی در عملکرد بار نخواهد داشت. به این ترتیب یک مدار با ضریب توان پایین در مقایسه با یک مدار با ضریب توان بالا نیازمند جریان بیشتری برای ایجاد مقدار ثابتی از توان واقعی است.

مدارهایی که شامل مصرف کننده های کاملاً مقاومتی هستند (مانند لامپ های رشته ای، بخاری های برقی، اجاق های برقی و ...) ضریب توانی برابر ۱ دارند در حالی که در مدارهایی که دارای بارهای راکتیو هستند (مانند خازن ها، موتور ها، ترانسفورماتورها و ...) ضریب توان کمتر از یک است. ضریب توان صفر در یک مدار بدین معناست که تمام بار مدار به صورت راکتیو است و در هر سیکل انرژی ذخیره شده در بار به منبع باز می گردد در حالیکه زمانیکه ضریب توان ۱ است تمام انرژی فرستاده شده به

وسیله منبع در بار مصرف می‌شود. ضریب توان یک بار با توجه به جهت زاویه بین جریان و ولتاژ می‌تواند پیش‌فاز یا پس‌فاز باشد. برای نشان دادن جهت این زاویه از علامت منفی یا مثبت نیز استفاده می‌شود.

در بارهای القایی مانند موتورهای الکتریکی یا ترانسفورماتورها شکل موج جریان عقب‌تر از ولتاژ است در حالی که این مورد در بارهای خازنی مانند بانک‌های خازنی یا کابل‌های زیر زمینی درست برعکس است به این ترتیب که شکل موج جریان از شکل موج ولتاژ جلوتر است. با این حال هر دو نوع این بارها انرژی را در خود ذخیره می‌کنند با این تفاوت که در بارهای القایی انرژی به صورت میدان مغناطیسی و در بارهای خازنی انرژی به صورت میدان الکترواستاتیکی ذخیره می‌شود.

اهمیت میزان ضریب توان در یک مدار به هزینه‌های مربوط به آن بازمی‌گردد. در بسیاری از کشورها مصرف کننده‌هایی که میزان ضریب توان آنها از میزان استاندارد (این استاندارد برای بیشتر مصرف‌کننده‌ها مقداری بین ۰,۹ تا ۰,۹۵ است) کمتر باشد جریمه می‌شوند. همچنین در مدارهای پر مصرف ضریب توان پایین موجب افزایش جریان در هادی‌ها شده و هزینه‌های مربوط به انتخاب هادی را افزایش می‌دهد این جریان اضافی موجب کاهش طول عمر تجهیزات تامین کننده و توزیع کننده انرژی الکتریکی نیز می‌شود.

توان AC جاری در یک مصرف‌کننده سه بعد دارد:

(۱) توان واقعی: که با  $P$  نمایش داده می‌شود و واحد آن وات (Watt) است.

(۲) توان ظاهری: که با  $S$  نمایش داده می‌شود و واحد آن ولت آمپر (Volt-Ampere) است.

(۳) توان راکتیو: که با  $Q$  نمایش داده می‌شود و واحد آن ولت آمپر راکتیو (reactive volt-ampere) است.

حال میزان ضریب توان را می‌توان از فرمول زیر به دست آورد:

$$\text{Power factor} = \frac{P}{S}$$

در صورتی که شکل موج‌ها کاملاً سینوسی باشند،  $P$ ،  $Q$  و  $S$  می‌توانند سه ضلع یک مثلث در نظر گرفته شوند و به این ترتیب می‌توان به چنین نسبتی در بین توان‌ها دست یافت:

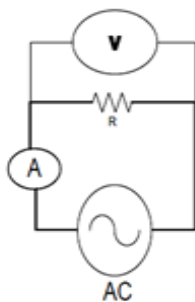
$$S^2 = P^2 + Q^2$$

در صورتی که  $\phi$  را زاویه بین جریان و ولتاژ در نظر بگیریم، آنگاه برای به دست آوردن ضریب توان یا  $|\cos \phi|$  خواهیم داشت:

$$P = S |\cos \phi|$$

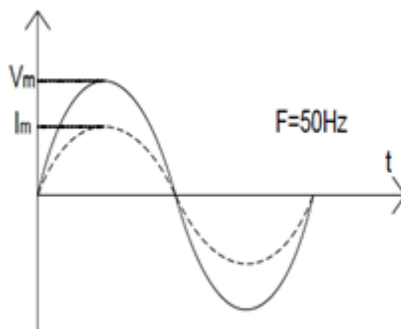
در ابتدا اثر سه المان مقاومت، خازن و سلف را در مدار ac بررسی می‌کنیم.

## مقاومت در مدار AC :



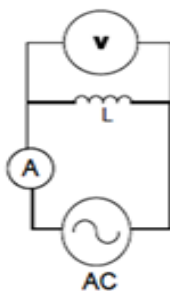
رابطه جریان و ولتاژ دو مقاومت به صورت زیر است :

$$i = \frac{V_m}{R} \sin \omega t$$



ولتاژ و جریان هم فاز هستند .

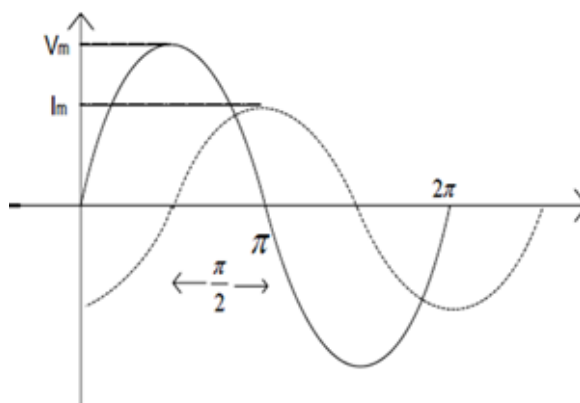
سلف در مدار AC :



رابطه جریان و ولتاژ دو مقاومت به صورت زیر است :

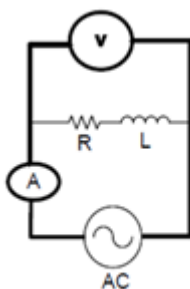
$$\varepsilon = L \frac{di}{dt}$$

$$i = \frac{V_m}{L\omega} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$



ولتاژ و جریان  $\frac{\pi}{2}$  اختلاف فاز دارند .

سلف همواره دارای مقاومت است :



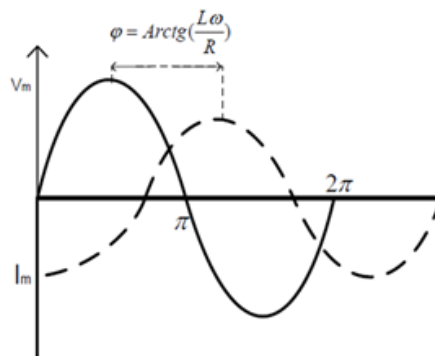
$$L \frac{di}{dt} + Ri = V_m \sin(\omega t)$$

$$i = A_1 e^{\frac{-R}{L}} + \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} \sin(\omega t - \varphi)$$

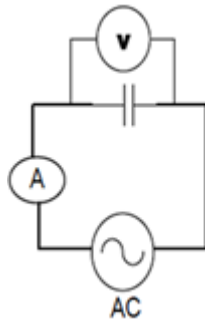
$$i = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} \sin(\omega t - \varphi)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{L\omega}{R} \right)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (L\omega)^2}$$



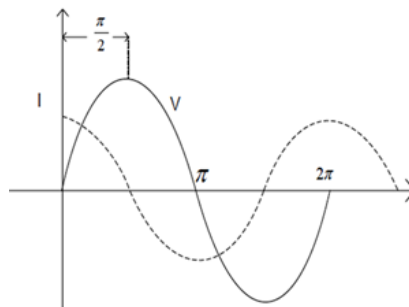
## بررسی خازن در مدار AC :



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

$$dQ = idt = CdV$$

$$i = V_m C \omega \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$



ولتاژ و جریان خازن 90 درجه اختلاف فاز دارند .

$$X_c = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{2\pi fC}$$

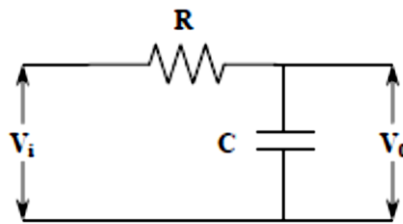
چون راکتانس خازن معمولاً خیلی بزرگ است برای سنجش اختلاف پتانسیل دو سر خازن باید از ولتمتر با مقاومت داخلی خیلی زیاد استفاده کرد .

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  $C$  ،  $R$  معمولا به عنوان انتگرالگیر نیز کاربرد دارد. به این خاطر که ولتاژ خروجی با انتگرال ولتاژ ورودی مدار متناسب است . شرط آنکه این مدار به صورت انتگرالگیر عمل کند آن است که مقدار  $RC$  خیلی بزرگتر از دوره تناوب سیگنال ورودی باشد .  $RC \gg T$



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 :

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

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

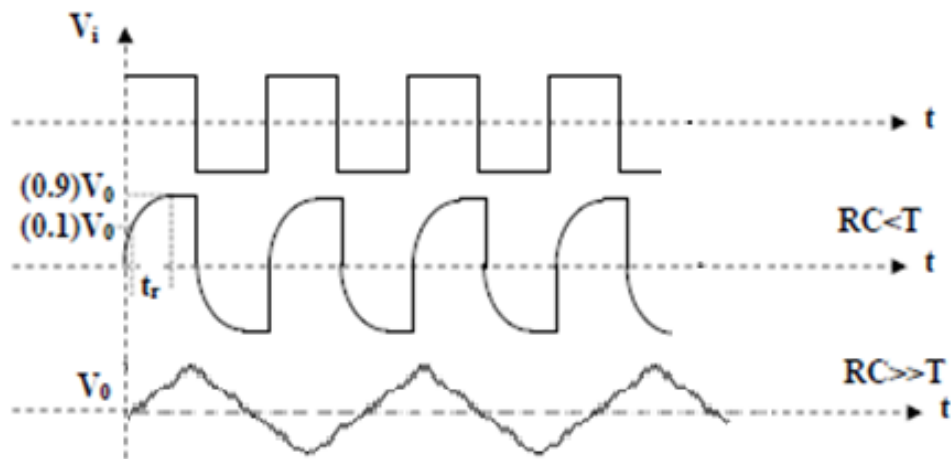
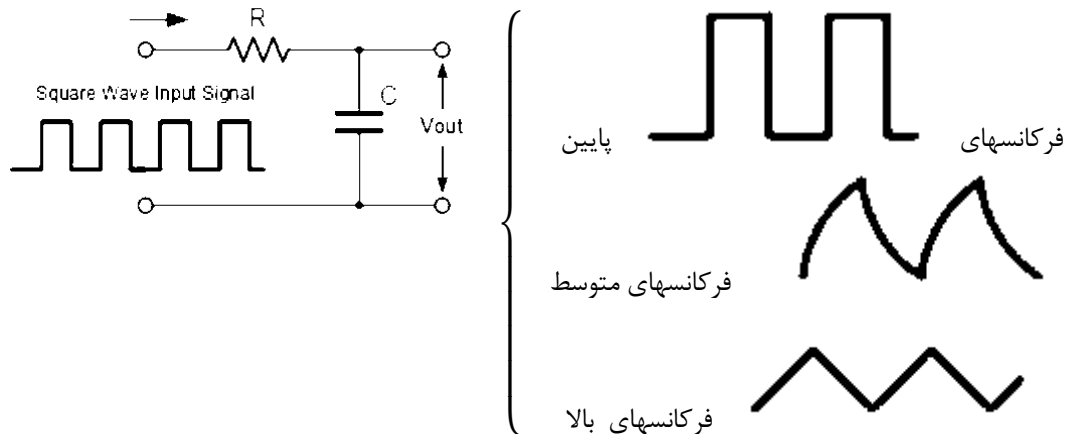
از آنجایی که  $RC \gg T$  ، ترم  $\int_0^T i \cdot dt$  قابل صرف نظر کردن است .

$$CV_i = iRC$$

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

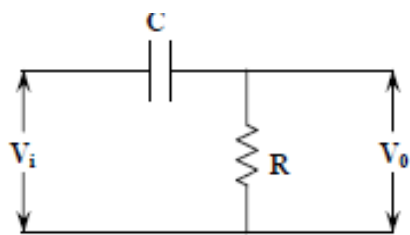
$$V_o = \frac{1}{C} \int_0^T i \cdot dt = \frac{1}{RC} \int_0^T V_i \cdot dt$$





### فیلتر بالا گذر

مدار زیر یک فیلتر بالا گذر را نشان می‌دهد، بر عکس حالت قبل این مدار فرکانس های بالا را به خوبی عبور می‌دهد ولی فرکانس های پایین 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 مقدار سیگنال ورودی نزدیک می‌شود. همچنین برای مقادیر خاصی از  $R$ ،  $C$  معمولاً به عنوان مشتق گیر نیز کاربرد دارد. به این خاطر که ولتاژ خروجی با مشتق ولتاژ ورودی مدار متناسب است. شرط آنکه این مدار به صورت مشتق گیر عمل کند آن است که مقدار  $RC$  خیلی کوچکتر از دوره تناوب سیگنال ورودی باشد.  $RC \ll T$



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

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

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

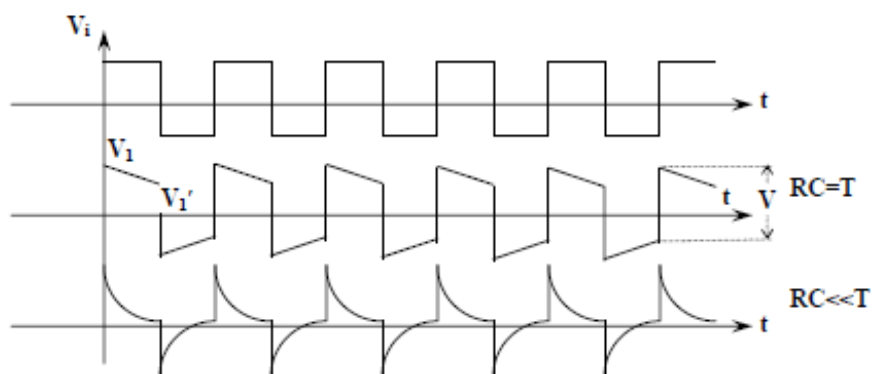
از آنجایی که  $RC \ll T$ ، داریم:

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

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

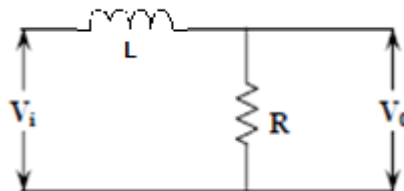
$$RC \frac{d}{dt} V_i = R i$$

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



## مدار RL

مدار RL زیر را در نظر بگیرید همانطور که دیده میشود چنان چه یک ولتاژ سینوسی را به عنوان ولتاژ ورودی به مدار اعمال کنیم مقداری از این ولتاژ روی المان ذخیره کننده انرژی که در این آزمایش سلف است افت می کند و مقداری نیز روی مقاومت افت میکند. ولتاژ خروجی همان ولتاژ دو سر مقاومت است که یک ولتاژ سینوسی با همان فرکانس اولیه ولی دامنه آن در فرکانسهای مختلف، متفاوت است.



در مدار بالا خواهیم داشت :

تابع شبکه مدار :

$$V_o = \frac{R}{R + j\omega L} \times V_i$$

$$V_o = \frac{R(R - j\omega L)}{R^2 + (\omega L)^2} \times V_i$$

$$H(j\omega) = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R(R - j\omega L)}{R^2 + (\omega L)^2}$$

$$\angle H(j\omega) = -\tan^{-1}\left(\frac{\omega L}{R}\right)$$

$$|H(j\omega)| = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

$$F \rightarrow \infty : |H(j\omega)| = 0, \angle H(j\omega) = -\frac{\pi}{2}$$

$$F \rightarrow 0 : |H(j\omega)| = 1, \angle H(j\omega) = 0$$

برای محاسبه اختلاف فاز دو سیگنال میتوان از تصاویر لیسازو اسیلوسکوپ کمک گرفت به این صورت که ابتدا هر دو کانال را هم مقیاس می کنیم . سپس سلکتور Time division را روی حالت XY قرار می دهیم . سپس با استفاده از منحنی بدست آمده و رابطه زیر ، اختلاف فاز بدست می آید .

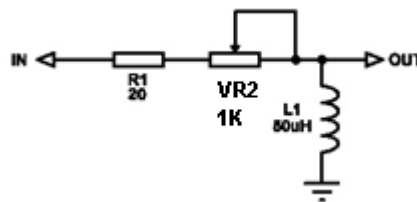
$$\varphi = \sin^{-1} \frac{A}{B}$$

A: فاصله از مبدا تا تقاطع منحنی با محور عمودی

B: ماکزیمم فاصله ایجاد شده بین مبدا در راس منحنی در راستای قائم

در نتیجه هرگاه خروجی مدار RL را از دو سر مقاومت بگیریم ، در فرکانسهای پایین اندازه پاسخ فرکانسی نزدیک به 1 است و فازش نزدیک به صفر است و همچنین در فرکانسهای بالا اندازه پاسخ فرکانسی نزدیک به صفر است و فازش نزدیک به 90 درجه است . هرگاه خروجی مدار RL را از دو سر سلف بگیریم در فرکانسهای پایین اندازه پاسخ فرکانسی نزدیک به صفر است و فازش نزدیک به 90 درجه است و همچنین در فرکانسهای بالا اندازه پاسخ فرکانسی نزدیک به 1 است و فازش نزدیک به صفر است .

### مدار مشتق گیر RL



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

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

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

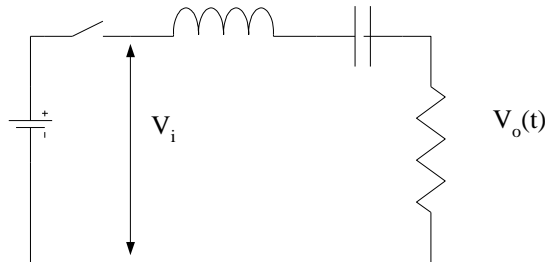
### آشنایی با مدارهای مرتبه دوم RLC

#### پاسخ گذاری مدار RLC

#### مدار RLC سری:

با توجه به اینکه در کارکرد یک مدار RLC سری ابتدا سلف تاثیرات عمیقی در پاسخ مدار ایجاد می کند و سپس خازن اثرات خود را در انتها ظاهر می سازد، انتظار می رود مداری شامل هر دوی این عناصر مضاف بر مقاومت که عامل میرایی است، رفتاری ارائه کند که در یک محدوده زمانی شبیه رفتار یک مدار RL و در محدوده زمانی دیگری رفتاری شبیه به مدار RC داشته باشد. این رفتار در نمودارهایی که خواهیم دید بنا به مقادیر R، L و C مشهود است. در تمامی این نمودارهای که ولتاژ

دو سر مقاومت خروجی مدار در نظر گرفته شده است، مشاهده می شود که ابتدای مدار یک نمایی افزایشی یعنی مبتدا به صفر و انتهای آن یک نمایی منتهی به صفر است زیرا در ابتدا سلف شدیداً اثر خود را اعمال و خازن تقریباً اتصال کوتاه است و بنابراین یک مدار  $RL$  (پایین گذر) داریم که شکل ولتاژ خروجی نمایی صعودی خواهد بود. پس از مدتی اثر سلفی نامحسوس و سلف مثل اتصال کوتاه عمل می کند و خازن که تقریباً شارژ شده خواص خازنی خود را شدیداً ظاهر می سازد و یک مدار  $RC$  (بالاگذر) خواهیم داشت که قاعدتاً ولتاژ دو سر مقاومت باید در آن نزولی باشد.



هنگامیکه این مدار با یک ولتاژ پله ای تحریک می شود، پاسخ گذاری مدار دارای دو شکل کاملاً متمایز خواهد بود. برای تعیین معادله پاسخ، معادله ولتاژ مدار را پس از بسته شدن کلید می نویسیم:

$$V = L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt + Ri$$

که با مشتق گرفتن از طرفین معادله حاصل می شود:

$$L \frac{d^2 i}{dt^2} + R \frac{di}{dt} + \frac{i}{C} = 0$$

که دارای معادله مشخصه زیر با ریشه های  $s_1$  و  $s_2$  می باشد.

$$s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC} = 0$$

$$s_1 = \frac{-R}{2L} + \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}$$

$$s_2 = \frac{-R}{2L} - \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}$$

بنابراین خواهیم داشت:

$$i(t) = k_1 e^{s_1 t} + k_2 e^{s_2 t}$$

$$i(0) = 0$$

$$\frac{di(0)}{dt} = \frac{V}{L}$$

برحسب اینکه  $\frac{R}{2L}$  بزرگتر از، مساوی با و کوچکتر از  $\frac{1}{\sqrt{LC}}$  باشد، پاسخ مدار (یا جریان  $i(t)$ ) دارای شکلهای زیر خواهد

بود:

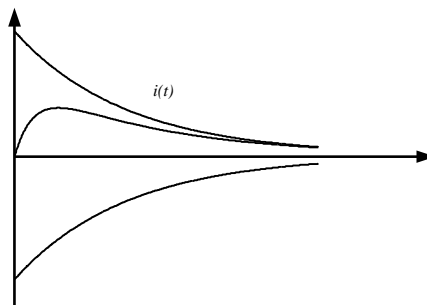
1. اگر  $\frac{R}{2L} > \frac{1}{\sqrt{LC}}$  باشد پاسخ مدار به یک مقدار ماکزیمم می رسد و با ثابت زمانی معینی به سوی صفر میل می کند. این

پاسخ به حالت فوق میرایی موسوم است که در آن:

$$i(t) = \frac{V}{L\omega} e^{-t/\tau} \left[ \frac{e^{\omega t} - e^{-\omega t}}{2} \right]$$

$$\omega = \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}$$

$$\tau = \frac{2L}{R}$$



نکته جالب توجه مقدار ثابت زمانی است که دو برابر مقدار آن در مدار  $RL$  می باشد. البته ثابت زمانی واقعی این مدار چندان مشخص نیست زیرا عوامل  $\omega$  و  $-\omega$  نیز در ایجاد آن نقش دارند و تنها تحت شرایطی که  $\omega$  خیلی کوچک باشد می توان گفت که تقریباً ثابت زمانی  $\frac{2L}{R}$  است که این وضعیت در حالت میرای بحرانی محسوس تر است.

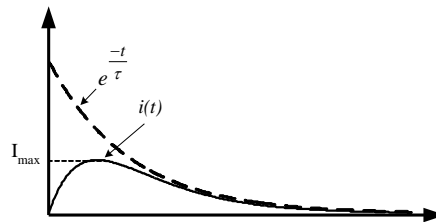
2. اگر  $\frac{R}{2L} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  باشد جریان به مقدار ماکزیمم  $I_{\max}$  می رسد و با ثابت زمانی  $\tau = \frac{2L}{R}$  به سمت صفر میل می کند.

این حالت به میرای بحرانی یا *Critically Damped* موسوم است.

$$i(t) = \frac{V}{L} t e^{-t/\tau}$$

$$\tau = \frac{2L}{R}$$

$$I_{\max} = \frac{V\tau}{L} e^{-1}$$



3. اگر  $\frac{R}{2L} < \frac{1}{\sqrt{LC}}$  باشد، پاسخ مدار بصورت یک موج سینوسی است که دامنه آن رفته رفته کم شده و به صفر می رسد. این

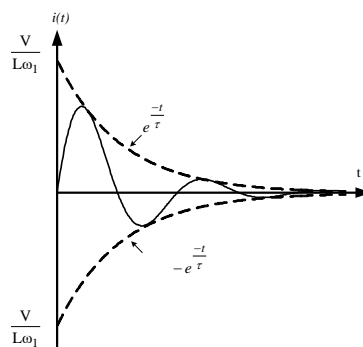
حالت به نوسانی میرا یا *Oscillatory Damped* موسوم می باشد.

$$i(t) = \frac{V}{L\omega_1} e^{-t/\tau} \sin \omega_1 t$$

$$\omega_1 = J\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

و فرکانس نوسانات برابر است با:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

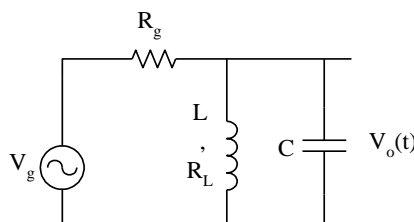


جمله  $\frac{R^2}{4L^2}$  اثر کمی روی  $f_1$  دارد زیرا معمولا در مقایسه با  $\frac{1}{LC}$  خیلی کوچک است. در این حالت می توان مقدار  $f_1$  را به

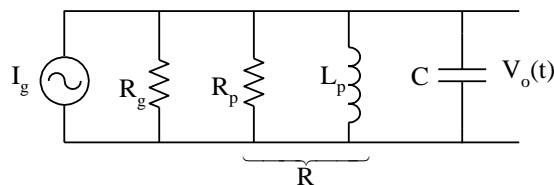
$$\text{صورت } f_1 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ نوشت.}$$

### مدار $RLC$ موازی:

شکل زیر مدار  $RLC$  موازی را نمایش می دهد:



با توجه به اینکه مدار فوق را می توان به صورت زیر نمایش داد:



پس از اعمال جریان پله ای به دامنه  $I_g$ ، می توان نوشت:

$$I_g = \frac{V_0}{R} + \frac{1}{L_p} \int V_0 dt + C \frac{dV_0}{dt} \Rightarrow \frac{d^2 V_0}{dt^2} + \frac{1}{RC} \frac{dV_0}{dt} + \frac{1}{L_p C} V_0 = 0$$

معادله مشخصه رابطه فوق دارای دو ریشه با مقادیر زیر است:

$$s_1, s_2 = \frac{-1}{2RC} \pm \sqrt{\left(\frac{1}{2RC}\right)^2 - \frac{1}{L_p C}}$$



نظیر مداری سری سه حالت زیر در پاسخ گذرا مشاهده می شود:

$$1. \quad \frac{1}{2RC} > \frac{1}{\sqrt{L_p C}} \quad \text{حالت فوق میرایی یا } Over Damped \text{ خواهد بود.}$$

$$2. \quad \frac{1}{2RC} = \frac{1}{\sqrt{L_p C}} \quad \text{حالت میرایی بحرانی یا } Critically Damped \text{ خواهد بود.}$$

$$3. \quad \frac{1}{2RC} < \frac{1}{\sqrt{L_p C}} \quad \text{حالت نوسانی میرا یا } Oscillatory Damped \text{ خواهد بود.}$$

با توجه به اینکه مقاومت موجود در سلف بسیار کوچک است می توان از آن صرف نظر نمود. در این صورت  $R_p$  بسیار بزرگ و  $R = R_p \parallel R_g \approx R_g$  و  $L_p \approx L$  خواهد بود. همچنین توجه داریم که در حالات 2 و 3 در فوق ثابت زمانی برابر است با:

$$\tau = 2RC$$

ضریب میرایی یا *Damping Factor* نسبت  $\alpha = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{2RC}$  را می گویند.

مقاومت بحرانی یا *Critical Resistance* مقدار  $R_C = \frac{1}{2} \sqrt{L/C}$  می باشد.

### مدار *RLC* سری:

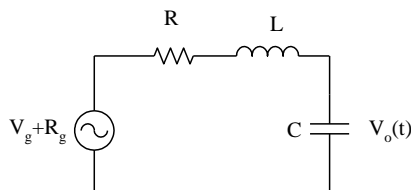
مدار *RLC* سری را می توان برای نمایش هر نوع شبکه به کار برد، زیرا کلیه شبکه ها ترکیبی از مقاومت و خازن و سلف می باشند. ترکیب سری و یا موازی اجزا  $R$ ،  $L$  و  $C$  اصولا دارای یک پاسخ طبیعی با فرکانس طبیعی معینی می باشد. هنگامیکه این مدارها با یک منبع سینوسی که فرکانس آن برابر و یا نزدیک به فرکانس طبیعی مدار است تحریک می شوند اثر جالبی از آنها بروز می کند، که به پدیده تشدید موسوم است. در این آزمایش مدار تشدید سری *RLC* را مورد بررسی قرار می دهیم.

الف : خروجی ولتاژ خازن

شکل زیر مدار *RLC* سری را نشان می دهد که خروجی از دو سر خازن گرفته شده است. هنگامیکه نوسان ساز تغییر می کند و ولتاژ آن ثابت می ماند، پاسخ مدار و یا جریان  $I$  تغییر می کند. امپدانس مدار که از دو سر منبع دیده می شود برابر است با:

$$Z = R_t + j \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)$$

که در آن  $R_t = R_g + R$  مقاومت کل مدار است.



بررسی رابطه فوق نشان می دهد که در فرکانس:

$$\omega_s = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

امپدانس مدار به حداقل مقدار خود یعنی  $Z = Z_s = R_t$  کاهش می یابد. بدیهی است که در این فرکانس جریان مدار ماکزیمم خواهد بود و مقدار آن برابر است با:

$$I = I_s = \frac{V_g}{R_t}$$

فرکانس  $f_s$  که در آن مدار بصورت یک مقاومت خالص در می آید، به فرکانس تشدید موسوم است. نکته جالب در فرکانس تشدید روابط بین ولتاژ دو سر خازن و دو سر سلف با ولتاژ منبع است که عبارتند از:

$$|V_{Cs}| = \frac{1}{\omega_s C} I_s = \frac{1}{\omega_s C} \cdot \frac{V_g}{R_t} = Q_s V_g$$

$$|V_{Ls}| = \omega_s L I_s = \omega_s L \cdot \frac{V_g}{R_t} = Q_s V_g$$

که در آن  $Q_s = \frac{1}{\omega_s C R_t} = \frac{L \omega_s}{R_t}$  ضریب کیفیت مدار سری در فرکانس تشدید است. روابط فوق نشان می دهند که دامنه ولتاژ دو سر خازن و سلف در فرکانس تشدید برابر هستند و در صورتیکه  $Q_s > 1$  باشد (که غالباً چنین است) ولتاژ دو سر خازن و سلف  $Q_s$  برابر ولتاژ منبع است و به این ترتیب مدار فوق به شکل یک تقویت کننده ولتاژ عمل می کند.

با توجه به شکل مدار نشان داده شده برای  $RLC$  سری، خواهیم داشت:

$$A_v = \frac{V_o}{V_g} = \frac{1}{1 - LC\omega^2 + JR_t C\omega}$$

$$|A_v| = \frac{1}{\sqrt{(1 - LC\omega^2)^2 + R_t^2 C^2 \omega^2}}$$

$$\varphi = \text{Arctg}\left(\frac{R_t C \omega}{LC\omega^2 - 1}\right)$$

در فرکانسهای بسیار پایین  $|A_v| \approx 1$  و  $f_s$  می باشند. همانطور که قبلا گفته شد در صورتیکه  $f_s$  باشد مدار بصورت یک تقویت کننده عمل می نماید، لذا در فرکانس مشخصی باید ولتاژ خازن به ماکزیمم مقدار برسد. برای محاسبه مقدار ماکزیمم ولتاژ خازن از  $f_s$  نسبت به  $\omega$  مشتق می گیریم :

$$|A_v|' = \frac{d|A_v|}{d\omega} = 0 \Rightarrow \omega_1 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R_t^2}{2L^2}} \Rightarrow f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R_t^2}{2L^2}}$$

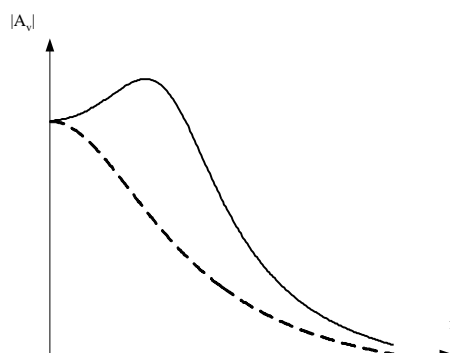
$$f_1 < f_s$$

$$|A_v| = \frac{Q_s}{\sqrt{1 - \frac{R_t^2 C}{4L}}}$$

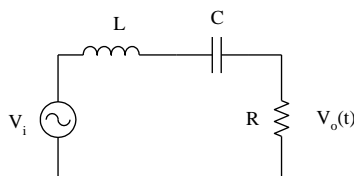
شرط  $Q_s > 1$  همان  $R_t^2 < \frac{L}{C}$  است ولی شرط وجود نقطه ماکزیمم برای ولتاژ خازن  $R_t^2 < \frac{2L}{C}$  می باشد.

مشخصه پاسخ دامنه برای ولتاژ خازن بصورت یک فیلتر پایین گذر می باشد و در بعضی از حالتها با برقراری شرط

$$R_t^2 < \frac{2L}{C} \text{ دارای یک ماکزیمم نیز خواهد بود.}$$



ب: خروجی ولتاژ مقاومت



معمولا منظور از پاسخ مدار  $RLC$  سری ولتاژ دو سر مقاومت است. شکل زیر را در نظر بگیرید.

پاسخ فرکانسی مدار عبارت است از (مقدار  $R_g$  در نظر گرفته نشده است):

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R}{R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}$$

که می توان ان را بصورت زیر نوشت:

$$A_v = \frac{1}{1 + jQ_s\left(\frac{\omega}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega}\right)} = |A_v| \angle \varphi$$

بطوریکه:

$$|A_v| = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_s^2\left(\frac{\omega}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega}\right)^2}}$$

$$\varphi = \text{Arctg}\left(Q_s\left(\frac{\omega_s}{\omega} - \frac{\omega}{\omega_s}\right)\right)$$

روابط فوق نشان می دهند که وقتی فرکانس منبع برابر  $\omega = \omega_s$  باشد،  $\left|\frac{V_o}{V_i}\right| = 1$  است و برای فرکانس  $\omega \ll \omega_s$  و

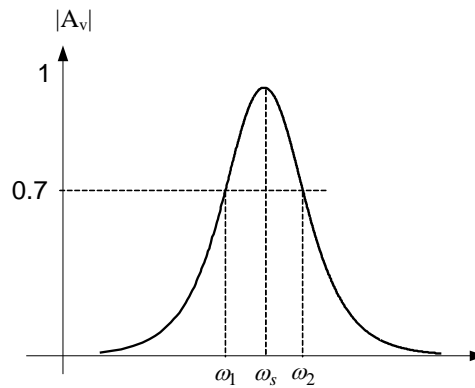
$\omega \gg \omega_s$  با فرض  $Q_s > 1$  ولتاژ خروجی تقریبا صفر است.  $\left(\left|\frac{V_o}{V_i}\right| \approx 0\right)$  شکل زیر منحنی نمایش پاسخ دامنه را نشان می

دهد. نقاط  $\omega_s$ ،  $\omega_1$  و  $\omega_2$  در این شکل حائز اهمیت زیادی هستند. نقاط  $\omega_1$  و  $\omega_2$  به فرکانسهای نصف قدرت یا فرکانس

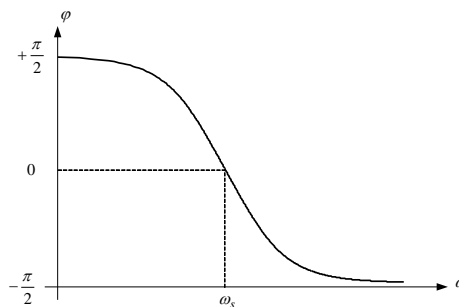
قطع معروفند. (فرکانس هایی که در آنها ولتاژ خروجی  $V_o$  به  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  ولتاژ ماکزیمم خود  $V_i$  می رسد و در مقیاس

لگاریتمی، فرکانسی که به ازای آن ولتاژ خروجی به اندازه  $3db$  نسبت به مقدار ماکسیمم خود کاهش یابد. تفاضل  $\omega_2 - \omega_1$  به عرض باند موسوم است که با  $BW$  نشان داده می شود. برای فرکانسهای نزدیک به فرکانس تشدید می توان نشان داد که :

$$BW = \omega_2 - \omega_1 \approx \frac{\omega_s}{Q_s} = \frac{R}{L}$$

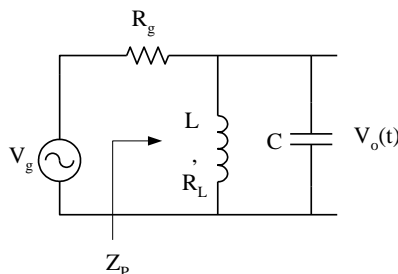


به این ترتیب مدار  $RLC$  سری که فرکانسهای میانی  $\omega_1$  تا  $\omega_2$  را به راحتی از خود عبور داده و فرکانسهای دیگر را به شدت تضعیف می کند به فیلتر میان گذر موسوم است. برای  $\omega = \omega_s$  اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی و ولتاژ خروجی صفر ( $\varphi = 0$ ) و برای  $\omega \ll \omega_s$ ،  $\varphi \approx \frac{\pi}{2}$  و برای  $\omega \gg \omega_s$ ،  $\varphi \approx -\frac{\pi}{2}$  است. شکل زیر پاسخ فاز این مدار را نشان می دهد.



مدار  $RLC$  موازی:

مدار  $RLC$  موازی را به شکل زیر در نظر می گیریم.



از ویژگیهای حالت تشدید در مدار آن است که  $V_o$  ماکسیمم،  $Z_p$  کاملاً مقاومتی و  $V_g$  و  $V_o$  هم فاز هستند. به علت تبادل انرژی بین اجزا واکنشی حلقه خازن - سلف، مدار موازی را مدار تانک یا *Tank Circuit* و به جریان حلقه جریان تانک گفته می شود. ادمیتانس مدار موازی عبارت است از:

$$Y = Y_L + Y_C$$

$$Y = \frac{1}{R_L + j\omega L} + j\omega C$$

$$\Rightarrow Y = \frac{R_L}{R_L^2 + \omega^2 L^2} - j \left( \frac{\omega L}{R_L^2 + \omega^2 L^2} - \omega C \right)$$

بررسی رابطه فوق نشان می دهد که حالت تشدید وقتی رخ می دهد که قسمت موهومی برابر صفر باشد (ماکزیمم امپدانس در خروجی). بنابراین خواهیم داشت:

$$\omega_p = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left( \frac{R_L}{L} \right)^2}$$

رابطه فوق به صورت زیر نیز نوشته می شود:

$$\omega_p = \omega_s \sqrt{1 - \frac{1}{Q_s^2}}$$

که در آن  $\omega_s$  فرکانس تشدید مدار سری  $RLC$  است و  $Q_s = \frac{L\omega_s}{R_L}$  ضریب کیفیت مدار سری در فرکانس تشدید  $\omega_s$  است. بدیهی است که برای مقادیر بزرگ  $Q_s$  فرکانس مدار تشدید موازی  $\omega_s$  برابر  $\omega_s$  است. در فرکانس تشدید فاز جریان و فاز ولتاژ منبع یکی است. به عبارت دیگر ضریب قدرت برابر واحد است و امپدانس ورودی  $Z_p$  مقاومت خالص و برابر است با:

$$Z_p = \frac{R_L^2 + L^2\omega_p^2}{R_L} = R_L + Q_p L\omega_p = R_L(1 + Q_p^2)$$

برای مقادیر بزرگ  $Q_p$  می توان نوشت:

$$Z_p = R_L Q_p^2$$

$$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad Q_s \gg 1$$

$$Z_p = \frac{L}{CR_L} \quad Q_s, Q_p \gg 1$$

با این ترتیب با انتخاب مناسب  $L$  و  $C$  می توان مقاومتهای ورودی متفاوتی بدست آورد. بدیهی است که اگر  $Z_p = R_g$  باشد ماکزیمم مقدار قدرت از منبع به بار منتقل می شود. روابط بین جریان خازن و جریان سلف با جریان منبع در فرکانس تشدید عبارت است از:

$$|I_C| \approx \frac{|V_o|}{|X_C|} = \omega_p C |V_o|$$

$$|I_g| \approx \frac{|V_o|}{|Z_p|} = \frac{CR_L}{L} |V_o|$$

$$\Rightarrow |I_C| = Q_p |I_g|$$

بنابراین می توان گفت که مدار بصورت یک تقویت کننده جریان عمل می کند. از این روست که در ورودی گیرنده های رادیویی یا تلویزیونی عموماً از مدار تشدید موازی استفاده می کنند. (آنتن ها به منزله منبع جریان هستند)

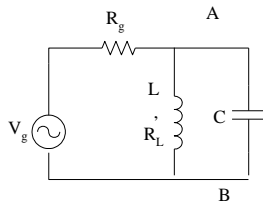
نظیر آنچه که در مدار سری دیدیم پاسخ فرکانسی مدار موازی نشان داده شده عبارت است از:

$$A_V = \frac{V_C}{V_g} = \frac{Z_p}{Z_p + R_g}$$

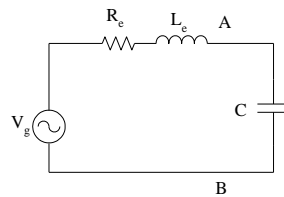
نظر به اینکه در فرکانس تشدید  $Z_p$  ماکزیمم مقدار خود را داراست لذا ولتاژ خروجی به حداکثر مقدار خود می رسد. در فرکانسهای کمتر و یا بیشتر از فرکانس تشدید ولتاژ خروجی کاهش می یابد. رابطه فرکانس های قطع و نیز عرض باند نظیر مدار سری عبارت است از:

$$BW = \frac{\omega_p}{Q_p}$$

با توجه به مدار معادل سری زیر پهنای باند به شکل زیر نوشته می شود:



مدارموازی



مدار سری معادل با مدار موازی از دو سر A و B

$$\begin{cases} V_g' = \frac{R_L + j\omega L}{R_g + R_L + j\omega L} V_g \\ R_e = \frac{R_g(R_L + R_L^2 + \omega^2 L^2)}{(R_g + R_L)^2 + \omega^2 L^2} \\ L_e = \frac{R_g^2 L}{(R_g + R_L)^2 + \omega^2 L^2} \end{cases}$$

$$Q_s = \frac{\omega_s L_e}{R_e}$$

$$Q_s = \frac{R_g L \omega_s}{R_g R_L + R_L^2 + \omega_s^2 L^2}$$

$$BW = \frac{\omega_s}{Q_s} = \frac{R_g R_L + R_L^2 + \omega_s^2 L^2}{R_g L}$$

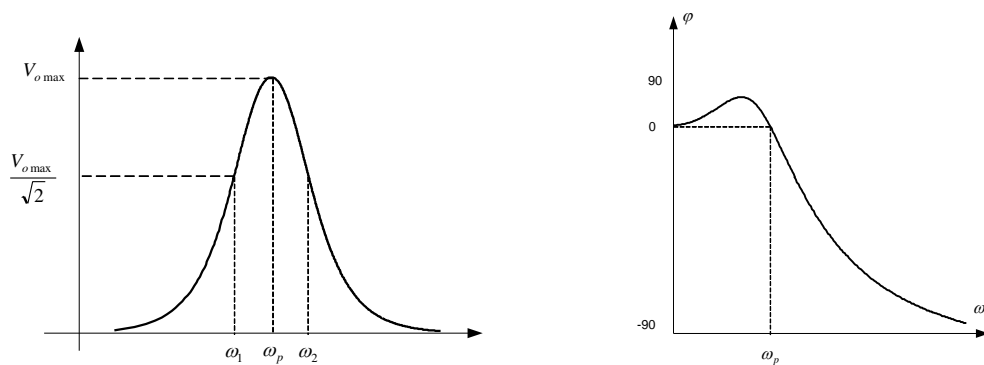
$$BW = \frac{R_L}{L} \left( 1 + \frac{R_L}{R_g} + \frac{\omega_s^2 L^2}{R_g R_L} \right)$$

$$\omega_s = \frac{1}{\sqrt{L_e C}}$$



در حالت کلی منبع  $V_g'$  برای یک مدار  $RLC$  سری دارای دامنه ای که تابعی از فرکانس باشد نیست. از این رو مساله پهنای باند وقتی که خروجی از دو سر خازن  $C$  گرفته می شود معنای درستی ندارد. در حالتیکه در شکل فوق چون  $V_g'$  تابعی از فرکانس است لذا مشخصه پاسخ دامنه در دو سر  $A$  و  $B$  به صورت یک فیلتر میان گذر خواهد بود.

فرمول پهنای باند بدست آمده نشان می دهد که هر چقدر  $R_g$  بیشتر شود عرض باند کمتر و مدار سلکتیو تر است (خاصیت انتخاب کنندگی مدار مربوط به فرکانس می شود). بنابراین در مدار موازی استفاده از منبع با مقاومت بیشتر به سلکتیو تر بودن مدار کمک می کند. شکلهای زیر منحنی پاسخ دامنه و پاسخ فاز مدار موازی را نشان می دهند.



### فرمول های مربوط به مدار های مرتبه اول و دوم

#### مدارهای سری

ضریب کیفیت Q ( $\tan \varphi$ )	رابطه اساسی (v)	$\sin \varphi$	$\cos \varphi$	امپدانس Z	مبنای جریان
$\frac{X_L}{R}$	$V^2 = V_R^2 + V_L^2$	$\frac{X_L}{Z}$	$\frac{R}{Z}$	$\sqrt{R^2 + X_L^2}$	مدار RL
$\frac{X_C}{R}$	$V^2 = V_R^2 + V_C^2$	$\frac{X_C}{Z}$	$\frac{R}{Z}$	$\sqrt{R^2 + X_C^2}$	مدار RC
$\infty$	$V =  V_L - V_C $	$\pm 1$	0	$ X_L - X_C $	مدار LC
$\frac{X_C}{R}$	$V^2 = V_R^2 + (V_L - V_C)^2$	$\frac{ X_L - X_C }{Z}$	$\frac{R}{Z}$	$\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$	مدار RLC

نکات: در مدار LC و RLC سری، اگر  $X_L > X_C$  مدار سلفی و اگر  $X_C > X_L$  مدار خازنی خواهد بود.

## مدارهای موازی

مبنای ولتاژ	$\frac{1}{Z^2}$ امپدانس	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	رابطه اساسی (i)	ضریب کیفیت Q ( $\tan \varphi$ )
مدار RL	$\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L^2}$	$\frac{Z}{R}$	$\frac{Z}{X_L}$	$I^2 = I_R^2 + I_L^2$	$\frac{R}{XL}$
مدار RC	$\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_C^2}$	$\frac{Z}{R}$	$\frac{Z}{X_C}$	$I^2 = I_R^2 + I_C^2$	$\frac{R}{XC}$
مدار LC	$\left  \frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C} \right $	0	$\pm 1$	$I =  I_L - I_C $	$\infty$
مدار RLC	$\frac{1}{R^2} + \left( \frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C} \right)^2$	$\frac{Z}{R}$	$Z \left( \frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L} \right)$	$I^2 = I_R^2 + (I_L - I_C)^2$	$\frac{R}{XC}$

نکات: در مدار LC و RLC موازی، اگر  $X_L > X_C$  مدار خازنی و اگر  $X_C > X_L$  مدار سلفی خواهد بود.

در مدار LC و RLC (سری و موازی) فرکانس تشدید  $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  می باشد .

## تعاریف مهم:

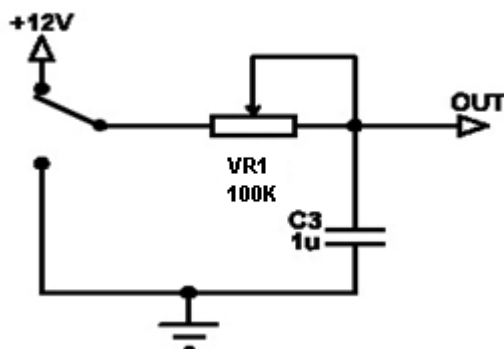
واحد	نام	نماد	واحد	نام	نماد
$\bar{O}$ (مهر-زیمنس)	ادمیتانس	$\frac{1}{Z}$	$\Omega$ (اهم)	امپدانس	Z
$\bar{O}$ (مهر-زیمنس)	کنداکتانس	$\frac{1}{R}$	$\Omega$ (اهم)	مقاومت	R
$\Omega$ (اهم)	رآکتانس سلفی	$X_L = L\omega$	H (هاری)	اندوکتانس	L
$\Omega$ (اهم)	رآکتانس خازنی	$X_C = \frac{1}{C\omega}$	F (فاراد)	کپسیتانس	C
rad/s (رادیان بر ثانیه)	سرعت زاویه‌ای	$\omega = 2\pi f$	Hz (هرتز)	فرکانس	$f = \frac{1}{T}$
کندوکتانس = قسمت حقیقی ادمیتانس			مقاومت = قسمت حقیقی امپدانس		
سوسپتانس = قسمت موهومی ادمیتانس			رآکتانس = قسمت موهومی امپدانس		

## آزمایش 4: شارژ و دشارژ خازن با ولتاژ DC

مراحل آزمایش:

(1) جامپرهای شماره 3 و 9 را در بلوک integrator/differentiator /RLC Circuits قرار دهید تا مدار زیر

حاصل شود.



integrator, متصل نمایید.

(2) سیم‌های تغذیه (+12V)

(3) ولوم VR1 را تا مقدار ماکزیمم بچرخانید.

(4) اسیلوسکوپ را در حالت DC و از حالت Roll اسیلوسکوپ استفاده کنید و به خروجی متصل نمایید.

(5) جامپر شماره 1 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.

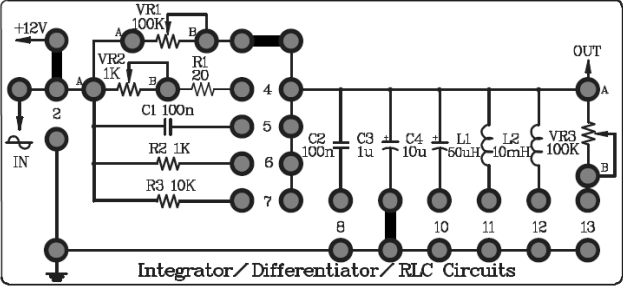
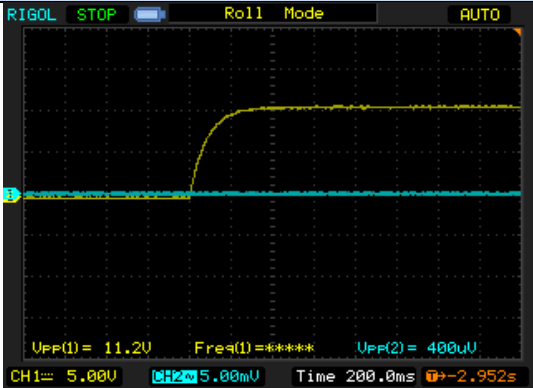
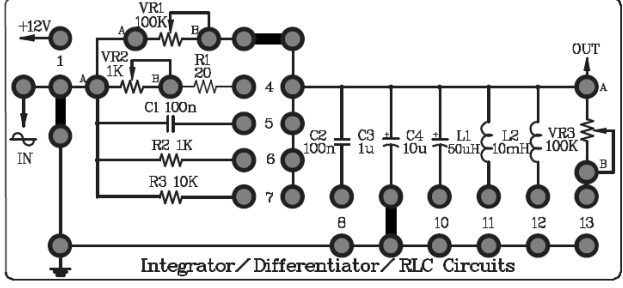
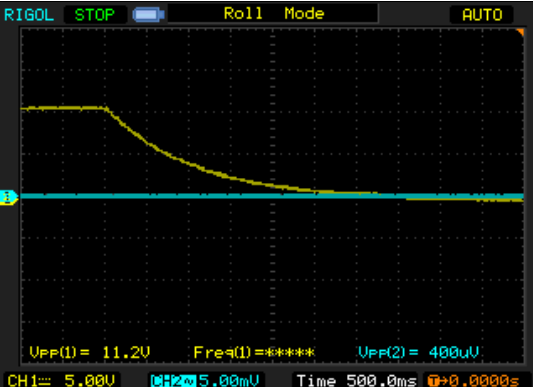
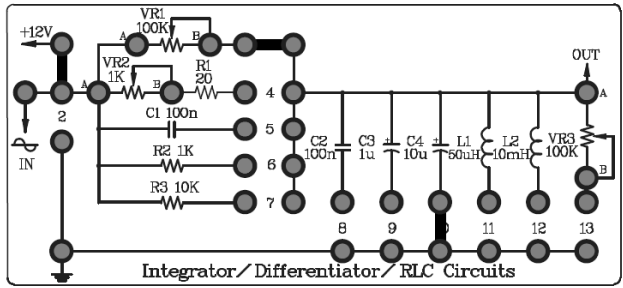
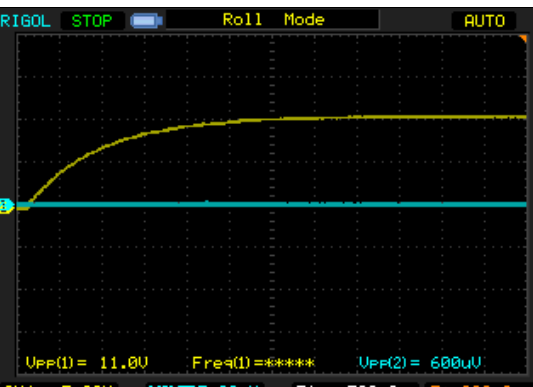
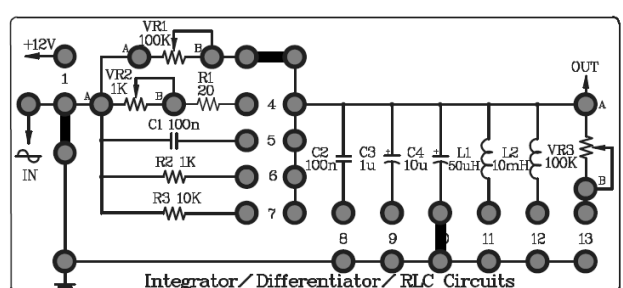
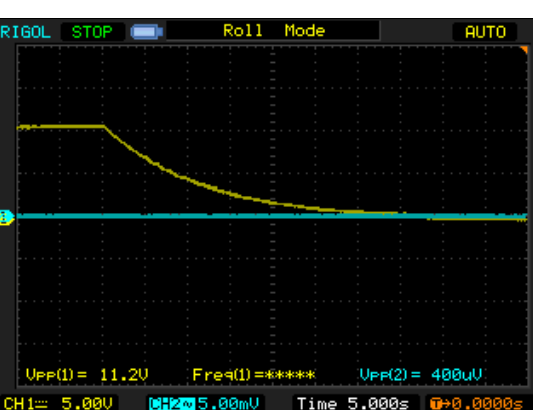
(6) جامپر شماره 1 را خارج نموده و جامپر شماره 2 را وارد نمایید تا ورودی به زمین متصل شود و به خروجی توجه

نمایید تا نزول ولتاژ خروجی را در واحد زمان (دشارژ) مشاهده نمایید. نتایج مشاهده را ثبت نمایید.

(7) جامپر شماره 9 را خارج نموده و جامپر شماره 10 را جایگزین نمایید تا خازن 10u به جای خازن 1u در مدار قرار

گیرد.

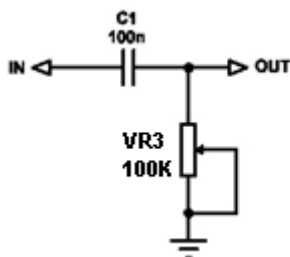
(8) مراحل (5) و (6) را تکرار نموده و نتایج حاصل را در جدول زیر ثبت نمایید.

سیم بندی مدار	شکل موج دو سر خازن
	
	
	
	

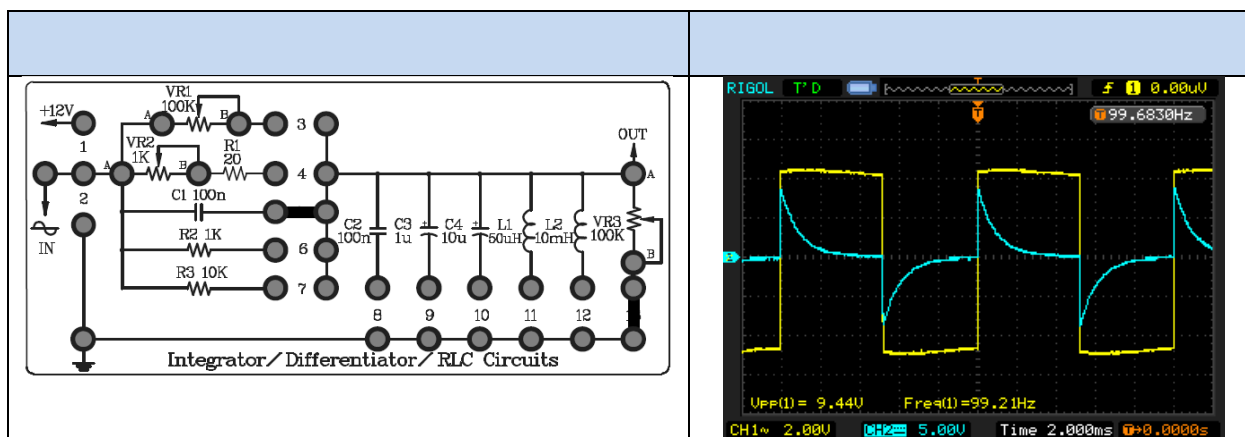
## آزمایش 5: مدار مشتق گیر RC

مراحل آزمایش:

- (1) جامپ‌های شماره 5 و 13 را در بلوک integrator/differentiator /RLC Circuits قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



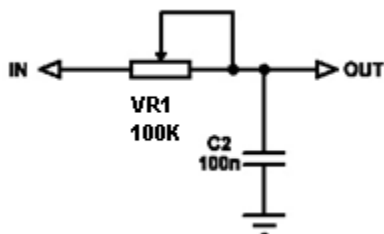
- (2) سیگنال مربعی با فرکانس 100Hz و دامنه 10Vp-p به ورودی اعمال نمایید.
- (3) ولوم را بطور تصادفی بچرخانید و اثر آن را در شکل موج خروجی مشاهده نمایید.
- (4) ولوم را طوری تنظیم نمایید تا شکل موج سوزنی بدون اعوجاج در خروجی ظاهر شود. سپس شکل موج خروجی را رسم نمایید.



## آزمایش 6: مدار انتگرال گیر RC

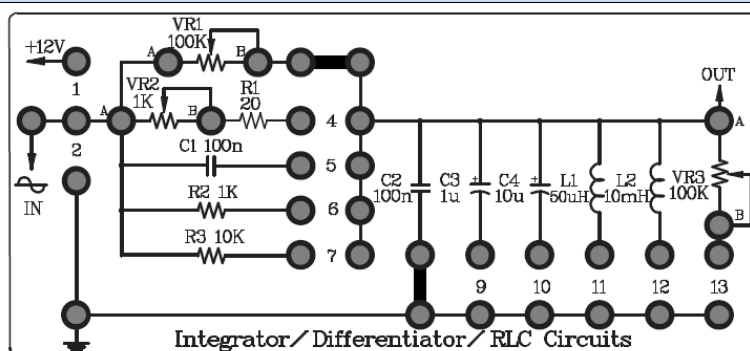
مراحل آزمایش:

- (1) جامپ‌های شماره 3 و 8 را در بلوک integrator/differentiator /RLC Circuits قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



- (2) سیگنال مربعی با فرکانس 100Hz و دامنه 10Vp-p به ورودی اعمال نمایید.
- (3) ولوم VR1 را بطور تصادفی بچرخانید و اثر آن را در شکل موج خروجی مشاهده نمایید.
- (4) ولوم VR1 را طوری تنظیم نمایید تا شکل موج مثلی با دامنه ماکزیمم و بدون اعوجاج در خروجی ظاهر شود. سپس شکل موج خروجی را رسم نمایید.

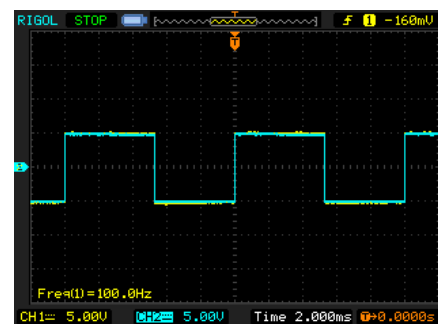
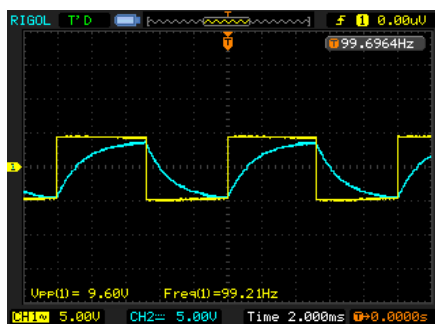
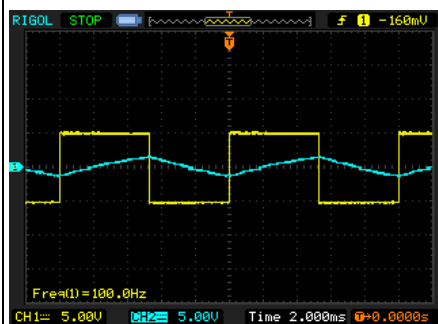
سیم بندی مدار



VR1=min

VR1= وسط

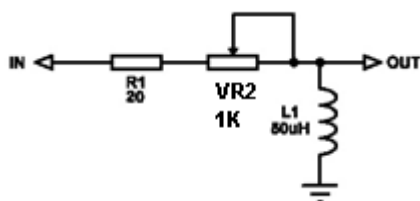
VR1=max



## آزمایش 7: مدار مشتق گیر RL

مراحل آزمایش:

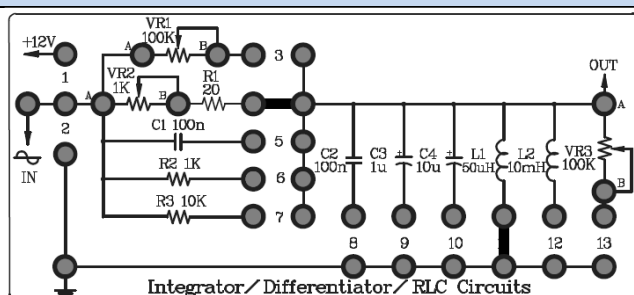
- (1) جامپرهای شماره 4 و 11 را در بلوک integrator/differentiator /RL Circuits قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



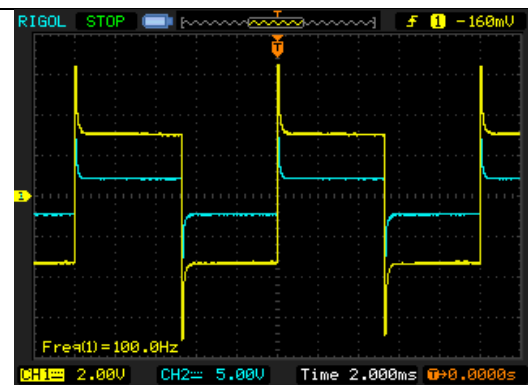
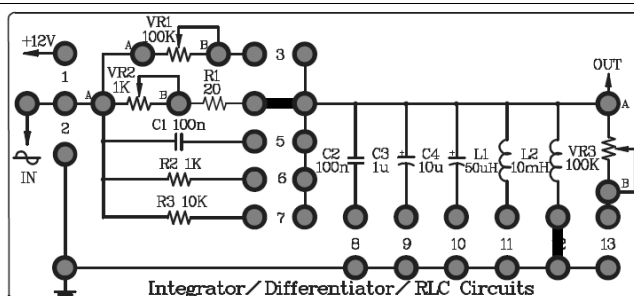
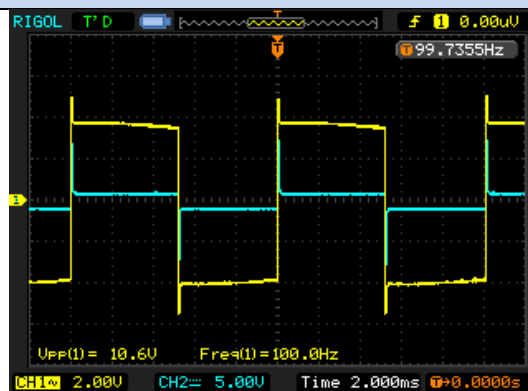
- (2) سیگنال مربعی با فرکانس 10KHz و دامنه 10Vp-p به ورودی اعمال نمایید.
- (3) ولوم VR2 را بطور تصادفی بچرخانید و اثر آن را در شکل موج خروجی مشاهده نمایید.
- (4) ولوم VR2 را طوری تنظیم نمایید تا شکل موج سوزنی بدون اعوجاج در خروجی ظاهر شود. سپس شکل موج خروجی را رسم نمایید.
- (5) جامپر شماره 11 را جایگزین شماره 10 نموده و مراحل آزمایش را تکرار نمایید.



سیم بندی مدار



شکل موج

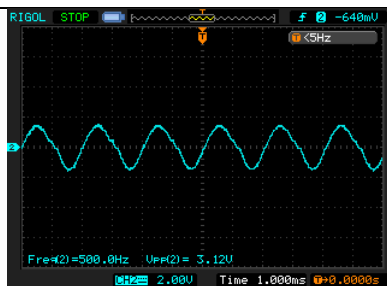
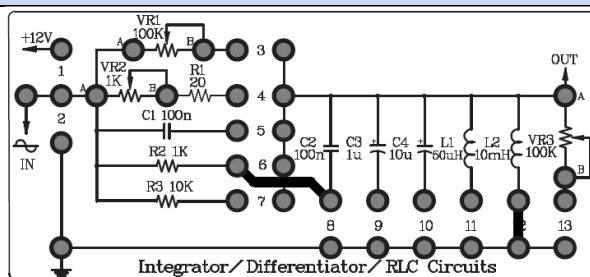


## آزمایش 8: مدار RLC سری

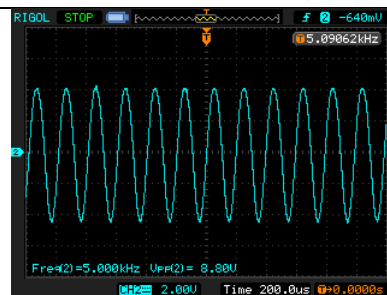
مراحل آزمایش:

- (1) جامپرها را در بلوک Integrator/differentiator /RLC Circuits مطابق شکل سیم بندی قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.
- (2) سیگنال سینوسی به ورودی اعمال نمایید.
- (3) ولوم دامنه را طوری تنظیم نمایید تا شکل موج بدون اعوجاج در خروجی ظاهر شود.
- (4) ولوم فرکانس را بطور تصادفی بچرخانید و اثر آن را در شکل موج خروجی را از دو سر مقاومت مشاهده نمایید.
- (5) فرکانس تشدید را پیدا کنید .

## مدار RLC سری

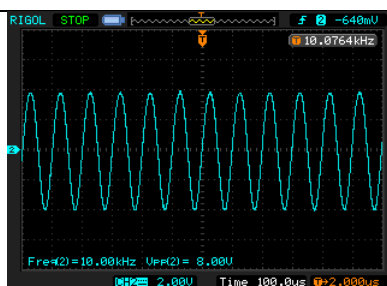


F=500Hz

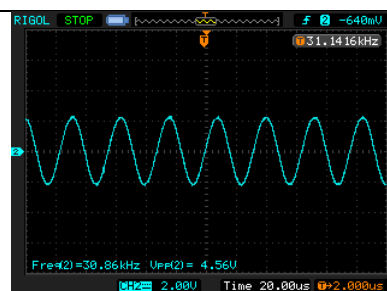


F=5kHz

(ماکسیمم دامنه در خروجی)



F=10kHz



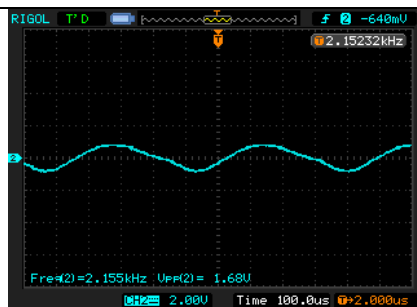
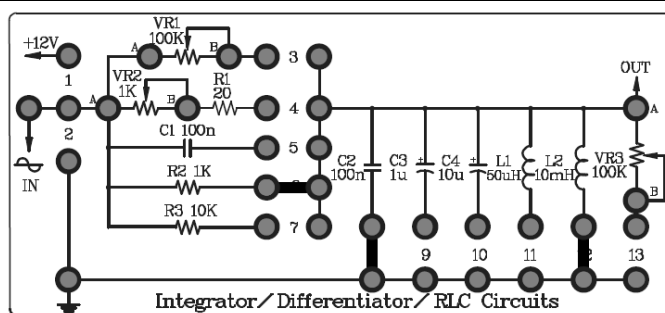
F=30kHz

## آزمایش 9: مدار RLC موازی

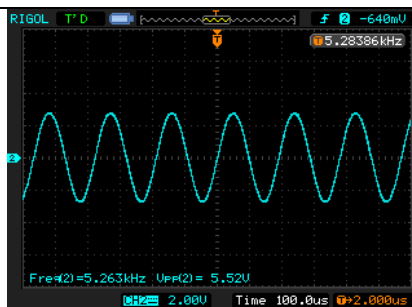
مراحل آزمایش:

- (1) جامپرهای شماره 6 و 8 و 12 را در بلوک Integrator/differentiator /RLC Circuits قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.
- (2) سیگنال سینوسی به ورودی اعمال نمایید.
- (3) ولوم دامنه را طوری تنظیم نمایید تا شکل موج بدون اعوجاج در خروجی ظاهر شود.
- (4) ولوم فرکانس را بطور تصادفی بچرخانید و اثر آن را در شکل موج خروجی را از دو سر مقاومت مشاهده نمایید.
- (5) فرکانس تشدید را پیدا کنید.

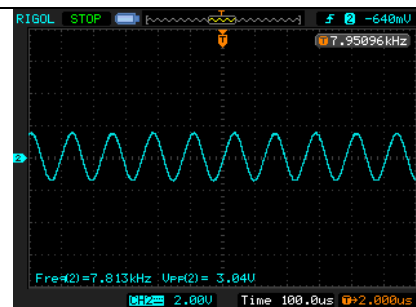
مدار RLC موازی



F=2.1kHz



F=5.2kHz



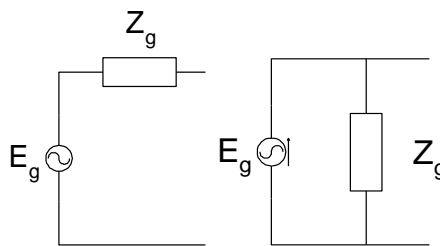
F=7.8kHz

## فصل ششم

### امپدانس داخلی منبع و تطبیق امپدانس

## اندازه گیری امپدانس داخلی منبع

مقدمه: همانطور که می دانید مقاومت داخلی (یا امپدانس) منبع ولتاژ، تاثیر زیادی بر روی برخی مدارها دارد و چنانچه مقاومت داخلی منبع ولتاژ کوچکتر باشد مزیت بیشتری دارد. در این آزمایش مقاومت و یا امپدانس داخلی منبع ولتاژ به کار برده شده را تعیین می کنیم. معمولا در اندازه گیری های سعی می شود که از مدل تونن (یا نورتن) منابع بدست آمده و در محاسبات به کار برده شود. شکل زیر این مدلها را نشان می دهد. برای پی بردن به اهمیت این موضوع فرض کنیم که یک منبع ولتاژ 100 ولتی دارای مقاومت داخلی 450 اهم باشد. اگر مقاومت ورودی شبکه مصرف کننده 50 اهم باشد در این صورت ولتاژی که به دو سر بار مصرفی می رسد عبارت است از:

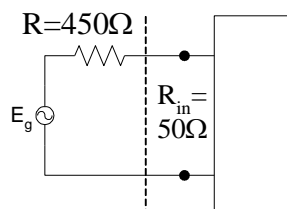


الف: نورتن

ب: تونن

$$V_{load} = V_{ab} = \frac{50}{450 + 50} \times 100 = 10V$$

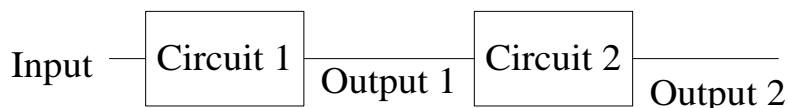
به این ترتیب 10 درصد ولتاژ منبع در دو سر بار ظاهر می شود. بنابراین باید سعی شود که مقاومت داخلی منبع خیلی کوچک باشد تا اتلاف انرژی در دو سر مقاومت داخلی به حداقل برسد. نکته قابل توجه دیگر در انتقال توان ماکزیمم به بار است. بطوریکه می دانیم بایستی  $R_{load} = R_{in}$  باشد تا این امر صورت پذیرد. برای همین منظور لازم است که برخی اوقات تغییراتی برای تطبیق و هماهنگی مقاومت بار با مقاومت داخلی منبع در مدار داده شود که مساله تطبیق امپدانس مطرح می شود. لذا برای آزمایش فوق بایستی که مقاومت داخلی منبع را بشناسیم.



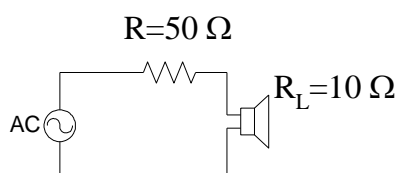
شبکه مصرف و منبع 450 اهمی

## تطبیق امپدانس

در مدارهای الکتریکی و الکترونیکی معمولاً لازم است قسمتهای مختلفی به هم وصل شوند. اتصال مستقیم یک مدار به خروجی مدار دیگر اثر بارگذاری خواهد داشت.



اگر امپدانس ورودی مدار دوم با امپدانس خروجی مدار اول مطابق نباشد، توان لازم به مدار دوم و خروجی 2 منتقل نمی شود. مثلاً اگر یک بلندگو به امپدانس 10 اهم را به خروجی مداری به امپدانس 50 اهم وصل کنیم تنها  $\frac{1}{6}$  توان به بار می رسد و  $\frac{5}{6}$  آن در امپدانس خروجی تلف می شود.

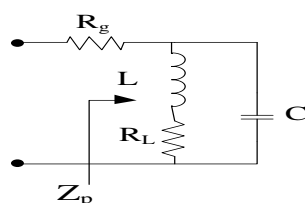


بنابراین در اتصال دو مدار به هم باید در تطابق امپدانس آنها دقت کرد. در صورت عدم تطابق با قرار دادن مدارهای واسطه ای می توان تطبیق امپدانس ایجاد نمود.



در بعضی کاربردها تطبیق امپدانس با عناصر فعال مانند ترانزیستور انجام می گیرد و در بعضی موارد از مدارهای غیرفعال استفاده می شود. همانطور که می دانید در مدار  $RLC$  موازی امپدانس از دو سر شاخه سلف و خازن در فرکانس  $\omega_p$  برابر است با:

$$Z_p = R_L(1 + Q_p^2) = AR_L$$

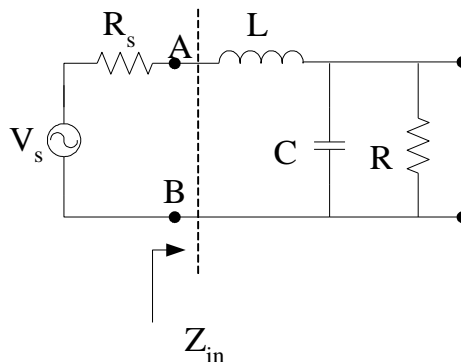


می توان با تعیین مناسب  $L$  و  $C$ ، مقدار  $A$  را طوری تعیین نمود که تطبیق امپدانس با خروجی منبع ایجاد گردد و چون  $L$  و  $C$  توان مصرف نمی کنند، لذا توان منتقله در  $R_L$  مصرف خواهد شد.

شرط تطبیق امپدانس  $Z_g = Z_{in}$  می باشد به طوریکه توان ماکزیمم به خروجی منتقل می شود و  $Z_{in}$  امپدانس ورودی مدار تطبیق است.

## مدار تطبیق امپدانس درجه 2

مدار شکل زیر را در نظر بگیرید که به آن منبعی با امپدانس ورودی  $R_s$  اعمال می گردد. برای تطبیق امپدانس میان منبع و مقاومت  $R$ ، از یک سلف  $L$  و یک خازن  $C$  استفاده می کنیم. با محاسبه  $Z_{in}$  داریم:



$$Z_{in} = \frac{R}{1 + R^2 C^2 \omega^2} + j \left( L\omega - \frac{R^2 C \omega}{1 + R^2 C^2 \omega^2} \right)$$

برای انتقال ماکزیمم توان شرط زیر باید برقرار باشد:

$$Z_{in} = \overline{R_s}$$

و از آنجا خواهیم داشت:

$$\text{Im}(Z_{in}) = 0$$

$$\text{Re}(Z_{in}) = R_s$$

$$\frac{1}{R^2} + C^2 \omega^2 = \frac{C}{L}$$

$$\frac{R}{1 + R^2 C^2 \omega^2} = R_s$$

$$R_s = \frac{L}{CR}$$

و اگر فرض کنیم  $R_s = \alpha R$  خواهیم داشت:

$$\frac{L}{C} = \alpha R^2$$

$$C^2 \omega^2 = \frac{1 - \alpha}{\alpha} \cdot \frac{1}{R^2}$$

چون  $C^2 \omega^2 > 0$  بنابراین:  $\alpha < 1$

لذا مدار فوق برای حالتی بکار می رود که مقاومت بار بزرگتر از مقاومت منبع باشد.

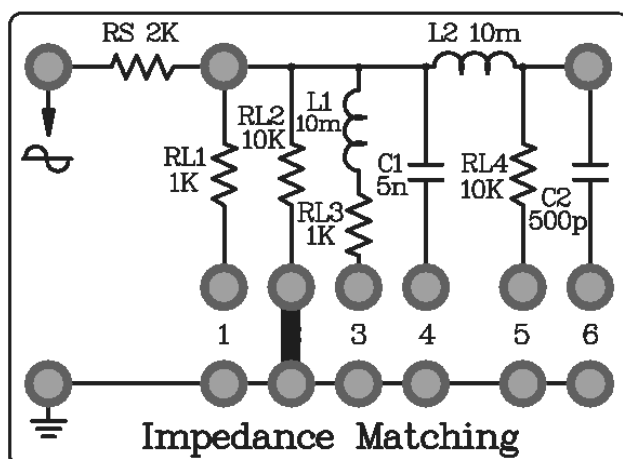
در مسائل روزمره  $R$  و  $R_s$  مشخص هستند و فرکانسی که در آن توان ماکزیمم باید انتقال یابد نیز معلوم می باشد لذا از روابط فوق  $L$  و  $C$  محاسبه می شوند.



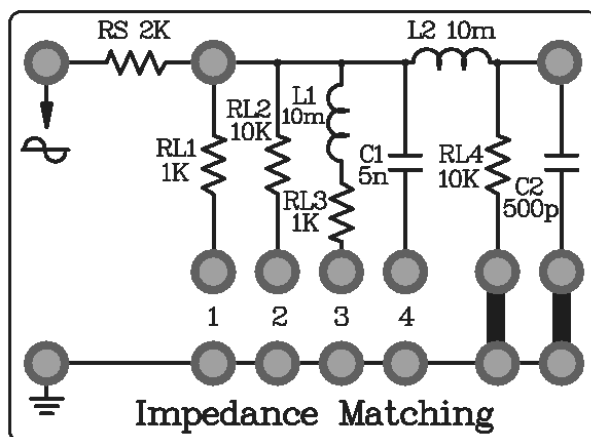
## آزمایش 10 : تطبیق امپدانس

مراحل آزمایش:

- (1) جامپرهای شماره 2 را در بلوک Impedance Matching قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود. در مدار زیر RS معادل مقاومت داخلی منبع می باشد .



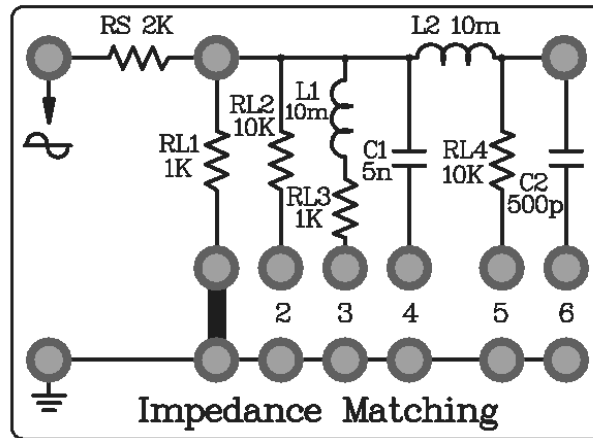
- (2) به ورودی مدار یک سیگنال سینوسی اعمال نمایید و ولتاژ خروجی را از دو سر مقاومت بار RL2 مشاهده کنید .
- (3) سپس به جای جامپر شماره 2 ، جامپرهای شماره 5 و 6 را در Impedance Matching قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



- (4) به ورودی مدار یک سیگنال سینوسی اعمال نمایید و ولتاژ خروجی را از دو سر مقاومت بار RL4 مشاهده کنید .

(5) فرکانس ورودی را تغییر دهید و تغییرات را در خروجی مشاهده نمایید. فرکانسی که در آن خروجی به مقدار ماکسیمم خود می‌رسد را تعیین کنید.

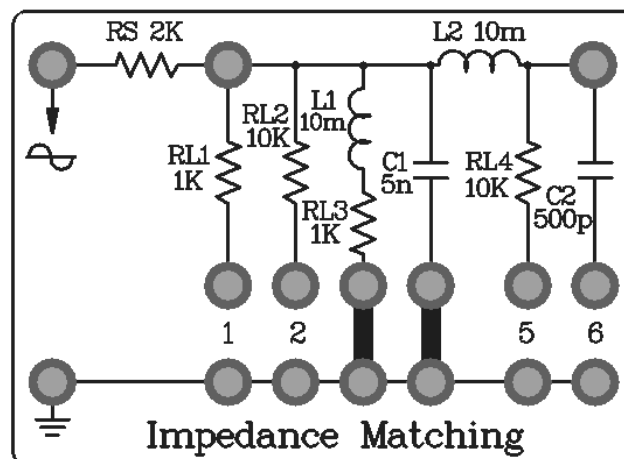
(6) جامپرهای شماره 1 را در بلوک Impedance Matching قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



(7) به ورودی مدار یک سیگنال سینوسی اعمال نمایید و ولتاژ خروجی را از دو سر مقاومت بار مشاهده کنید.

(8) سپس به جای جامپر شماره 1، جامپرهای شماره 4 و 3 را در Impedance Matching قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.

(9) فرکانس ورودی را تغییر دهید و تغییرات را در خروجی مشاهده نمایید. فرکانسی که در آن خروجی به مقدار ماکسیمم خود می‌رسد را تعیین کنید.



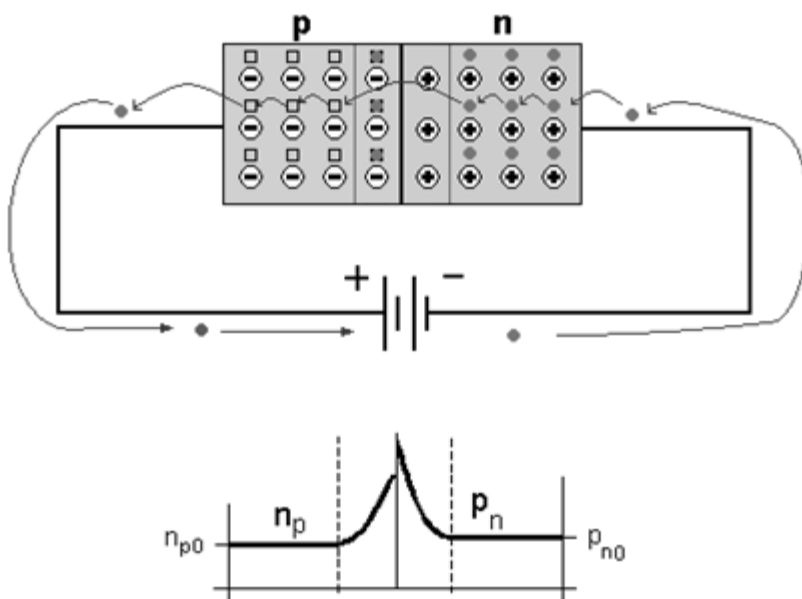
## فصل هفتم

آشنائی با دیود ها و بررسی مشخصه استاتیکی آنها

## نیمه هادی

موادی در طبیعت وجود دارند که عملکرد آنها از جهت انتقال الکترون نه کاملاً مانند هادی است و نه کاملاً شبیه عایق، بلکه در شرایطی خاص هدایت الکتریکی آنها قابل کنترل است. این مواد نیمه هادی نام دارند و مهمترین آنها ژرمانیوم و سیلیکون است که ماده اصلی قطعات الکترونیکی مهم مانند دیود، ترانزیستور و پردازنده‌ها را تشکیل می‌دهند. از خصوصیات اصلی نیمه هادی آن است که دارای دو حامل بار الکتریکی می‌باشد. الکترون و حفره، حامل‌های بار الکتریکی در نیمه هادی‌ها می‌باشند در حالی که در فلزات فقط یک نوع حامل بار الکتریکی یعنی الکترون موجود می‌باشد.

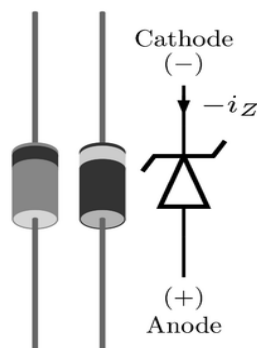
اگر ناخالصی افزوده شده به نیمه هادی موجب افزایش الکترون برای آن نیمه هادی گردد، به آن نیمه هادی نوع n (negative) گفته می‌شود و اگر ناخالصی افزوده شده موجب کاهش الکترون (یا افزایش حفره) گردد، به آن نیمه هادی نوع p (positive) گفته می‌شود.



## دیود معمولی

از اتصال دو نیمه هادی نوع n و p یک پیوند p-n، یعنی دیود تشکیل می‌گردد. نیمه هادی نوع n را کاتد و نیمه هادی

نوع p را آند می‌نامند.



## دسته بندی دیودها :

در دسته بندی اصلی ، دیودها را به سه قسمت اصلی تقسیم میکنند، دیودهای سیگنال (Signal) که برای آشکار سازی در رادیو بکار می روند و جریانی در حد میلی آمپر از خود عبور میدهند، دیودهای یکسو کننده (Rectifiers) که برای یکسو سازی جریانهای متناوب بکار برده میشوند و توانایی عبور جریانهایی زیاد را دارند و بالاخره دیودهای زنر (Zener) که برای تثبیت ولتاژ از آنها استفاده می شود .

انواع دیود ها :

۱- دیود اتصال نقطه ای

۲- دیود زنر

۳- دیود نور دهنده LED

۴- دیود خازنی ( واراكتور )

۵- فتو دیود

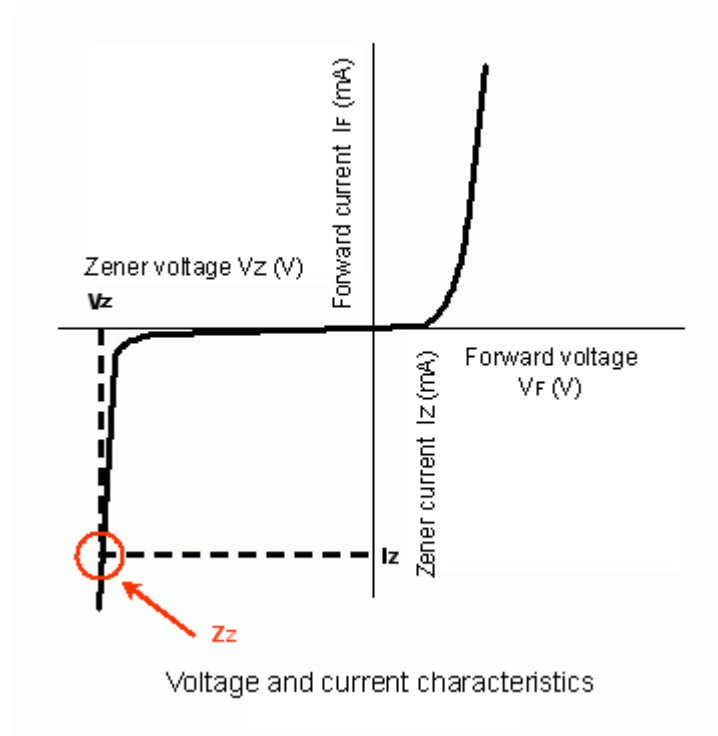
## دیود اتصال نقطه ای

دیود های معمولی در بایاس معکوس ایجاد ظرفیت خازنی حدود PF می کنند . اگر بخواهیم دیود را در فرکانس های بالا به کار ببریم ، به علت ظرفیت خازنی در بایاس معکوس ، جریان در مدار عبور می کند. دلیل این امر این است که در فرکانس های بالا مقاومت دیود کم می شود . برای جلوگیری از این مسئله، از دیود اتصال نقطه ای استفاده می کنیم .

## دیود زنر

دیود زنر ، مانند یک دیود معمولی از دو نیمه هادی نوع P & N ساخته می شود. اگر یک دیود معمولی را در بایاس معکوس اتصال دهیم و ولتاژ معکوس را زیاد کنیم ، در یک ولتاژ خاص ، دیود در بایاس معکوس نیز شروع به هدایت می کند . ولتاژی که دیود در بایاس مخالف شروع به هدایت می کند، به ولتاژ زنر معروف است و با تنظیم ناخالصی می توان ولتاژ شکسته شدن پیوند ها را کنترل کرد . دیود زنر پس از اینکه وارد ناحیه شکست خود شد، ولتاژ دو سرش ثابت می ماند اما جریانش می تواند زیاد شود. البته در ناحیه شکست جریانی که از دیود زنر عبور خواهد کرد نباید از حد معینی بیشتر شود.

منحنی مشخصه ی دیود زنر:



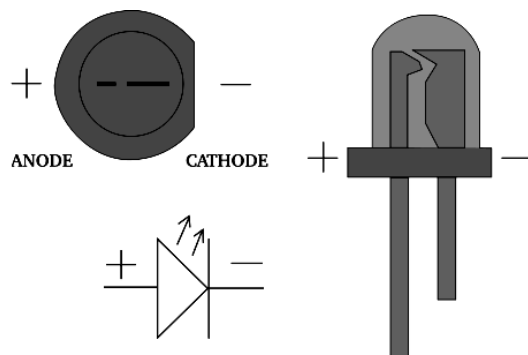
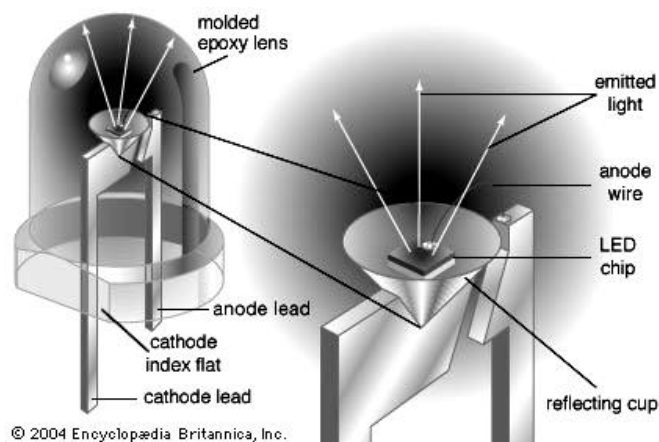
از این خاصیت دیود زنر برای ثابت نگه داشتن ولتاژ در رگولاتورهای ولتاژ استفاده می شود.

دیودهای زنر را با ولتاژهای شکست متفاوت می سازند. مانند 2.4V, 3V, 5.6V, 4.7V ...

معمولا برای متمایز کردن دیود زنر از دیودهای معمولی از حرف Z استفاده می شود. Z 7.5

ولتاژ زنر : ولتاژی که دیود زنر به ازای آن در بایاس معکوس ، هادی می شود به ولتاژ زنر معروف است .

## دیود نور دهنده LED



این دیود از دو نوع نیمه هادی P & N تشکیل شده است. هر گاه این دیود در بایاس مستقیم ولتاژی قرارگیرد و شدت جریان به اندازه کافی باشد، دیود، از خود نور تولید می کند. نور تولید شده در محل اتصال دو نیمه هادی تشکیل می شود. نور تولیدی بستگی به جنس به کار برده شده در نیمه هادی دارد. این لامپ چند مزایا بر لامپ های معمولی دارد که عبارتند از:

- ۱- کوچک بودن و نیاز به فضای کم

- ۲- محکم بودن و داشتن عمر طولانی (حدود صد هزار ساعت کار)

- ۳- قطع و وصل سریع نور

- ۴- تلفات حرارتی کم

- ۵- ولتاژ کار کم، بین ۱٫۷ ولت تا ۳٫۳ ولت

- ۶- جریان کم حدود چند میلی آمپر با نور قابل رویت

- ۷- توان کم، حدود ۱۰ تا ۱۵۰ میلی وات

## دیود خازنی ( واراكتور )

این دیود از دو نیمه هادی نوع P & N تشکیل می شود . دیود خازنی در واقع دیودی است که به جای خازن بکار می رود و مقدار ظرفیت آن با ولتاژ دو سر آن رابطه عکس دارد .

در الکترونیک از انواع دیودهایی که با ظرفیت خازنی متغیر ، دیود واراكتور یا دیود تنظیمی است استفاده می شود. مقدار این ظرفیت خازنی تابعی است از ولتاژی که به پایه های دیود می دهیم.

بطور معمول دیود واراكتور در آمپلی فایرهای پارامتری ، اسیلاتورهای پارامتری و اسیلاتور کنترل شده با ولتاژ ( یکی از اجزا اساسی حلقه قفل شده فاز ) وسینتی سائیزهای فرکانس است . ولی عمده ترین کاربرد آن در خازن کنترل شده با ولتاژ است . در بعضی موارد هم از این دیود می توان به عنوان یکسوسازی استفاده کرد.

## فتو دیود

این دیود از دو نیمه هادی نوع P & N تشکیل می شود . با این تفاوت که محل پیوند P & N ، جهت تاباندن نور به آن از مواد پلاستیکی سیاه پوشیده نمی باشد ، بلکه توسط شیشه و یا پلاستیک شفاف پوشیده می گردد تا نور بتواند با آسانی به آن بتابد . روی اکثر فتو دیود ها یک لنز بسیار کوچک نصب می شود تا بتواند نور تابانیده شده به آن را متمرکز کرده و به محل پیوند برساند .

## دیودهای سیگنال

این نوع از انواع دیودها برای پردازش سیگنالهای ضعیف (معمولاً رادیویی و کم جریان) تا حداکثر حدود 100 m.A کاربرد دارند. معروف ترین و پر استفاده ترین آنها دیود 1N4148 است که از سیلیکون ساخته شده است و ولتاژ شکست مستقیم آن 0.7 ولت است .

اما برخی از دیود های سیگنال از ژرمانیم هم ساخته می شوند، مانند OA90 که ولتاژ شکست مستقیم پایین تری دارد، (حدود 0.2 ولت). به همین دلیل از این نوع دیود بیشتر برای آشکار سازی امواج مدوله شده رادیویی استفاده می شود .

بصورت یک قانون کلی هنگامی که ولتاژ شکست مستقیم دیود خیلی مهم نباشد، از دیودهای سیلیکون استفاده می شود. دلیل آن مقاومت بهتر آنها در مقابل حرارت محیط یا حرارت هنگام لحیم کاری و نیز مقاومت الکتریکی کمتر در ولتاژ مستقیم است. همچنین دیود های سیلیکونی سیگنال معمولاً در ولتاژ معکوس جریان نشتی بسیار کمتری نسبت به نوع ژرمانیم دارند .



از کاربرد دیگری که برای دیودهای سیگنال وجود دارد می توان به استفاده از آنها برای حفاظت مدار هنگامی که رله در یک مدار الکترونیکی قرار دارد نام برد. هنگامی که رله خاموش می شود تغییر جریان در سیم پیچ آن میتواند در دوسر آن ولتاژ بسیار زیادی القا کند که قرار دادن یک دیود در جهت مناسب میتواند این ولتاژ را خنثی کند .

### استفاده از دیود زبر برای تهیه ولتاژ ثابت دیودهای زبر

همانطور که قبلاً اشاره شد، از این دیودها برای تثبیت ولتاژ استفاده می شود . این نوع از دیود ها برای شکسته شدن با اطمینان در ولتاژ معکوس ساخته شده اند، بنابراین بدون ترس می توان آنها را در جهت معکوس بایاس کرد و از آنها برای تثبیت ولتاژ استفاده نمود. به هنگام استفاده از آنها معمولاً از یک مقاومت برای محدود کردن جریان بطور سری نیز استفاده می شود .

دیودهای زبر معمولاً با حروفی که در آنها Z وجود دارد نامگذاری می شوند مانند BZX یا BZY و ... ولتاژ شکست آنها نیز معمولاً روی دیود نوشته می شود، مانند 4V7 که به معنی ۴٫۷ ولت است. همچنین توان تحمل این دیود ها نیز معمولاً مشخص است، در بازار نوع 400 mW و 1.3 W آن بسیار رایج است .

### روش نام گذاری دیودها

**روش ژاپنی:** در این روش نامگذاری، از عدد 1 و حرف S که به دنبال آن می آید استفاده می شود. و سپس تعدادی شماره خواهد آمد که مراجعه به جدول می توان مشخصات الکتریکی آن را به دست آورد در این روش، جنس و نوع دیود مشخص نمی باشد. به عنوان مثال دیود 1S3010A ، دیود زبر است (درموارد زیادی برای دیودهای زبر حرف A را در انتهای شماره ها می آورند) و دیود 1S310 یک دیود معمولی و دیود 1S2049 دیود واراكتور می باشد .

**روش اروپایی:** در روش اروپایی، تا سال 1960 تمامی دیودها را با حروف OA با تعدادی شماره به دنبال آن مشخص می کردند که با مراجعه به جدول می توانستیم مشخصات الکتریکی آن را بدست آوریم. مانند: دیود OA34 اما از سال 1960 به بعد این روش نامگذاری تغییر کرد. نحوه تغییر بدین صورت بود :دیودهایی که بیشتر در مدارات رادیو و تلویزیون به کار میروند، با دو حرف و سه شماره مشخص می شوند و دیودهایی که کاربرد آنها در مدارات مخصوص می باشد با سه حرف و دو شماره معین می گردند. در ذیل روش نامگذاری دو حرفی و سه شماره ای خواهد آمد :

حرف اول جنس نیمه هادی به کار رفته در دیود را مشخص میکند، اگر دیود از جنس ژرمانیوم باشد با حروف A و اگر از جنس سیلیسیم باشد با حروف B مشخص می نمایند .

حرف دوم: یکی از حروف زیر می باشد که نوع دیود را مشخص می کند :

A- دیود معمولی یکسو ساز

B - دیود واراكتور

Y - دیود یکسو کننده قدرت

Z - دیود زنر

بعد از حروف، شماره هایی آورده می شود که می توان با مراجعه به جدول مشخصات الکتریکی آن را بدست آورد. به عنوان

مثال :

دیود معمولی یکسوکننده ژرمانیومی AA116

دیود معمولی یکسوکننده سیلیسیمی BA316

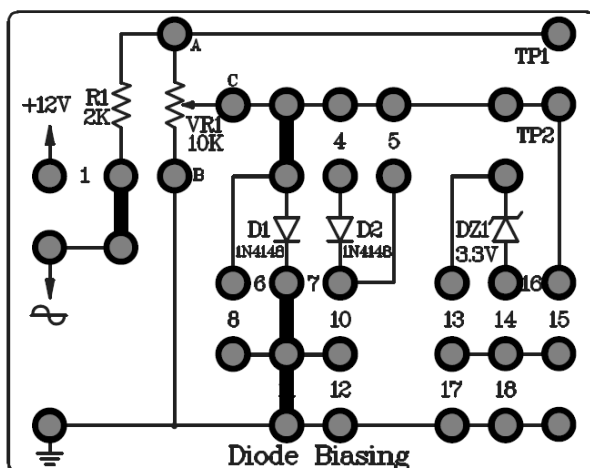
**روش آمریکایی:** در این روش نام دیود با 1N شروع می شود و پس از آن تعدادی شماره می آید که با دانستن این عدد و

مراجعه به جدول مشخصات دیودها، می توان سایر مشخصات آنرا بدست آورد .

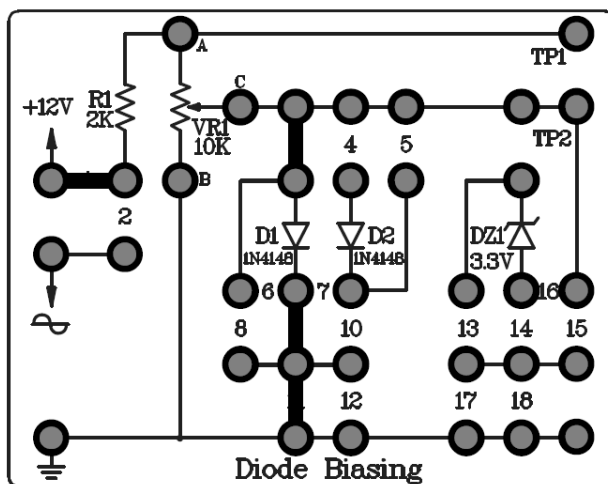
## آزمایش 11: دیود سیلیکونی

## مراحل آزمایش:

- (1) جامپرهای شماره 2 و 3 و 9 را در Block Diode Biasing و یک آمپرتر در محل جامپر 11 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



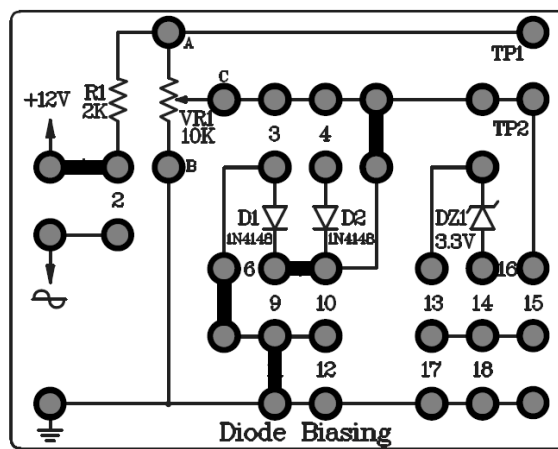
- (2) به ورودی مدار یک سیگنال سینوسی 1 kHz 10 Vp-p اعمال کنید .
- (3) ولوم VR1 را با مقدار 10K درون مدار قرار دهید .
- (4) با کانال اول اسیلوسکوپ ولتاژ دو سر (Tp1-Tp2) و با کانال دوم اسیلوسکوپ ولتاژ دو سر (زمین-Tp2) مشاهده کنید و اسیلوسکوپ را در حالت x-y قرار داده و با تغییر ولوم VR1 تغییرات ایجاد شده در تصاویر لیسازو را مشاهده کنید.
- (5) به جای جامپر شماره 2 ، جامپر شماره 1 را در Block Diode Biasing مدار قرار دهید تا ولتاژ 12V DC وارد مدار شود.



(6) با تغییر ولوم ، ولتاژ مستقیم (ولتاژ دوسر دیود ) و جریان مستقیم (جریان شاخه دیود ) را اندازه گیری نمائید و در جدول زیر ثبت کنید .

ولتاژ مستقیم (V)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
جریان مستقیم							

(7) جامپرهای شماره 5 و 7 و 8 را در Block Diode Biasing قرار دهید و یک آمپر متر در محل جامپر 11 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



(8) ولوم VR1 را با مقدار 10K درون مدار قرار دهید .

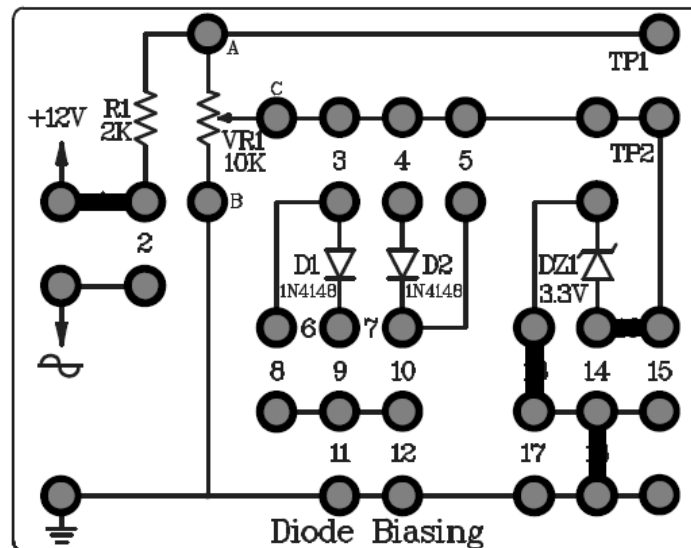
(9) با تغییر ولوم ، ولتاژ معکوس (ولتاژ دوسر دیود ) و جریان معکوس (جریان شاخه دیود ) را اندازه گیری نمائید و در جدول زیر ثبت کنید .

ولتاژ معکوس (V)	1	2	3	4	5	8	9
جریان معکوس							

## آزمایش 12: دیود زبر

مراحل آزمایش:

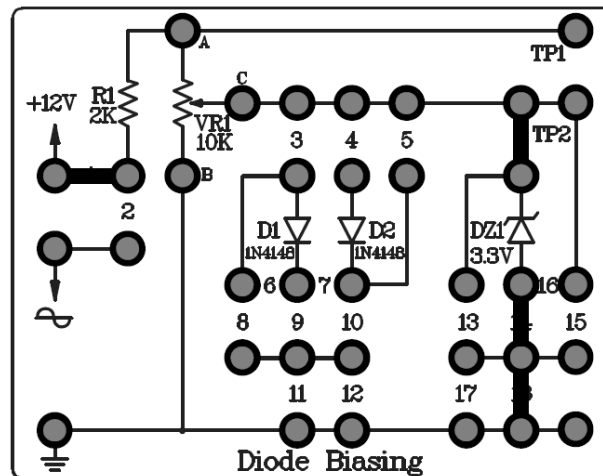
- 1) جامپرهای شماره 1 و 16 و 13 را در Block Diode Biasing و یک آمپر متر در محل جامپر 18 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



- 2) به ورودی مدار ولتاژ 12V dc ، اعمال کنید .
- 3) ولوم VR1 را با مقدار 10K درون مدار قرار دهید .
- 4) با تغییر ولوم ، ولتاژ مستقیم (ولتاژ دوسر دیود ) و جریان مستقیم (جریان شاخه دیود ) را اندازه گیری نمائید و در جدول زیر ثبت کنید .

(V) ولتاژ مستقیم	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
جریان مستقیم							

(5) جامپرهای شماره 1 و 14 را در Block Diode Biasing و یک آمپر متر در محل جامپر 18 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



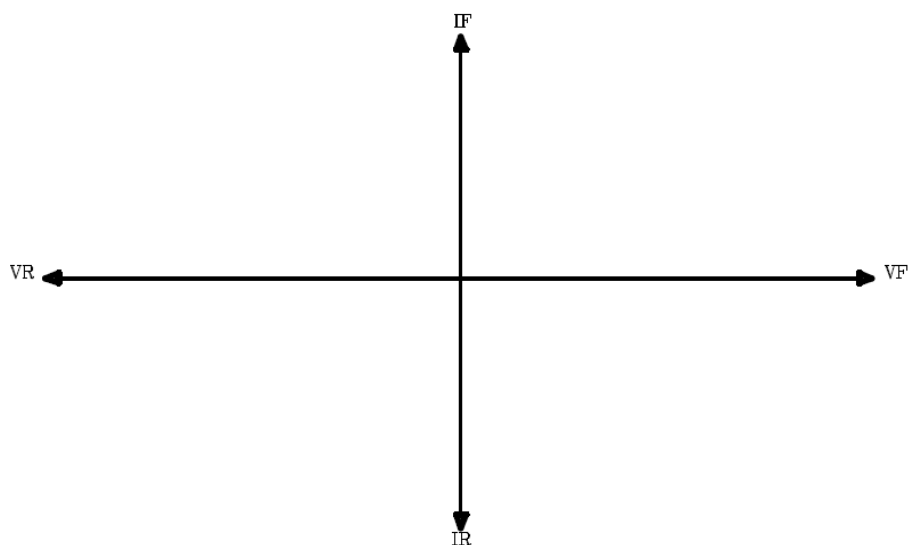
(6) به ورودی مدار ولتاژ 12V dc اعمال کنید .

(7) ولوم VR1 را با مقدار 10K درون مدار قرار دهید .

(8) با تغییر ولوم ، ولتاژ معکوس (ولتاژ دوسر دیود ) و جریان معکوس (جریان شاخه دیود ) را اندازه گیری نمائید و در جدول زیر ثبت کنید .

ولتاژ معکوس (V)	0	0.5	1	1.5	1.6	1.8	2	2.1	2.2	2.4	2.6
جریان معکوس											

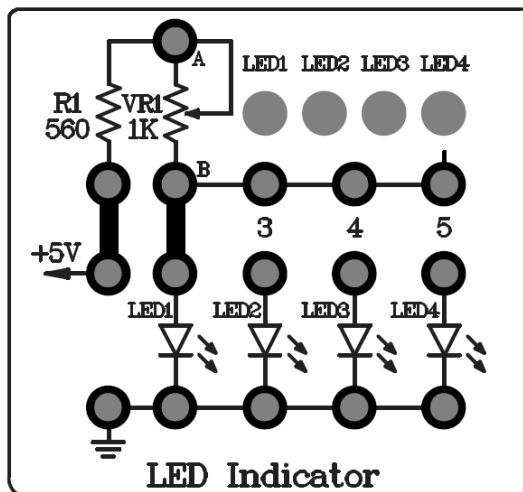
(9) منحنی مشخصه دیود را بر اساس مقادیر دو جدول بالا ، در نمودار زیر رسم کنید .



## آزمایش 13 : رابطه بین جریان و روشنایی LED

مراحل آزمایش:

(1) جامپرهای شماره 1 را در Block LED Indicator و یک آمپرتر در محل جامپر 2 قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



(2) به ورودی مدار ولتاژ 5V dc ، اعمال کنید .

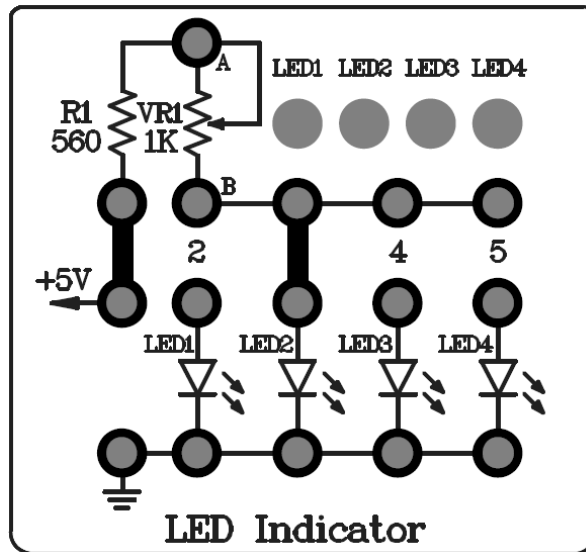
(3) ولوم VR1 را با مقدار 1K درون مدار قرار دهید .

(4) با تغییر ولوم ، ولتاژ مستقیم (ولتاژ دوسر دیود ) و جریان مستقیم (جریان شاخه دیود ) و میزان روشنایی LED را اندازه

گیری نمائید و در جدول زیر ثبت کنید .

VR 1K	ماکسیمم	وسط	مینیمم
ولتاژ مستقیم (V)			
جریان مستقیم			
روشنایی			

(5) به جای جامپر 2، به ترتیب در محل جامپرهای شماره 3 و 4 و 5 یک آمپر متر قرار دهید.



(6) به ترتیب برای هر LED جریان مستقیم (جریان شاخه دیود) را اندازه گیری نمایید و در جدول زیر ثبت کنید.

LED	1	2	3	4
جریان مستقیم				



## فصل هشتم

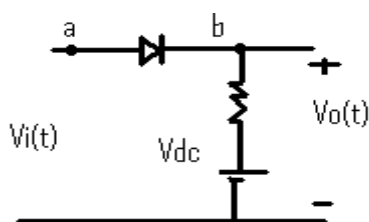
مدارهای کلیپ ، کلمپ و دوبرابر کننده ولتاژ

## بررسی مدار برش دهنده یا محدودکننده (کلیپ)

مدارهای برش دهنده را برای محدود کردن ولتاژ از بالا، پائین یا هر دو بکار می‌برند. در این مدارها برای برش از دیود و مقاومت استفاده می‌کنند. مقاومت مورد استفاده در مدارات برش دهنده می‌بایست در مقایسه با مقاومت دیود در بایاس مستقیم، بیشتر باشد. (  $R \gg R_d$  ) مدار یکسوساز نیم موج نیز یک مدار برش دهنده می‌باشد، که سطح برش آن، مقدار صفر می‌باشد. برای دست یافتن به سطح برشی مخالف صفر، می‌توان از یک منبع تغذیه DC استفاده کرد. مدار شکل زیر یک مدار برش دهنده سطح  $V_{dc}$  می‌باشد.

در نتیجه، عملکرد مدار برش دهنده را می‌توان بصورت یک دستور IF تلقی کرد که در آن سطح تصمیم‌گیری -

سطح برش - مقداری غیر صفر می‌باشد. برای تحلیل این مدار، مانند کلیه مدارهای دیودی، ابتدا باید تشخیص داده شود که دیود با چه شرطی روشن یا خاموش می‌شود.



حالتی را فرض کنید که دیود را از مدار جدا شده است. (یعنی دو سر  $a$  ,  $b$  اتصال باز می‌شود) ولتاژ دو نقطه  $a$  و  $b$  برابر است با :

$$V_a = V_s \text{ و } V_b = V_{dc} \quad (1)$$

از طرفی دیگر :

$$V_D = V_{ab} = V_a - V_b \quad (2)$$

با توجه به دو معادله (1) و (2) :

$$V_D = V_s - V_{dc} \quad (3)$$

از طرفی می‌دانیم:

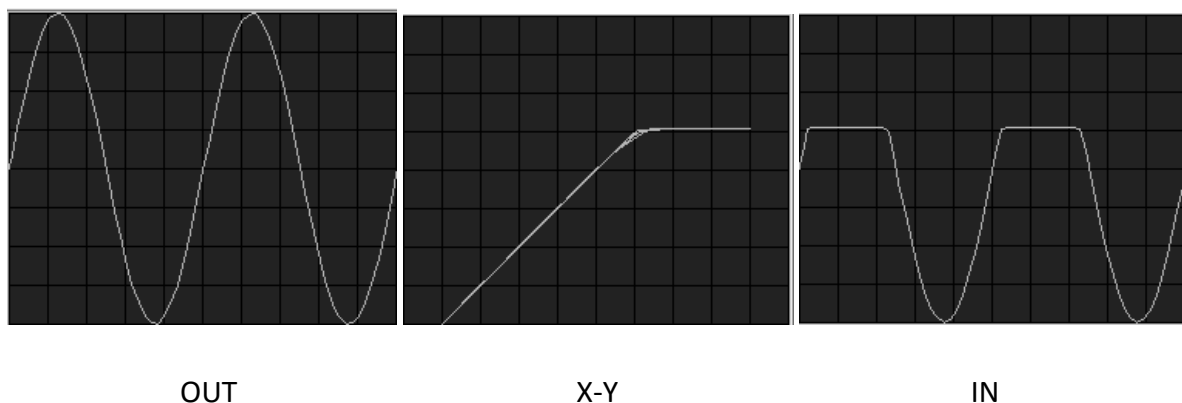
$$\begin{cases} \text{if } V_D > 0 \rightarrow D: On \rightarrow V_o(t) = V_s(t) \\ \text{if } V_D < 0 \rightarrow D: Off \rightarrow V_o(t) = V_{dc} \end{cases} \quad (4)$$

با بکارگیری دو معادله (3) و (4) معادله زیر نتیجه می‌دهد:

$$\begin{cases} \text{if } V_s > V_{dc} \rightarrow D: On \rightarrow V_o(t) = V_s(t) \\ \text{if } V_s < V_{dc} \rightarrow D: Off \rightarrow V_o(t) = V_{dc} \end{cases} \quad (5)$$

معادله (5) نشان می‌دهد که مدار، ورودی را روی سطح  $V_{dc}$  می‌برد.

شکل‌های رسم شده در صفحه بعد به ترتیب نشان دهنده ی شکل موج ولتاژ ورودی (کانال 1)، شکل موج ولتاژ خروجی (کانال 2) و نهایتاً منحنی مشخصه است که همان طور که در شکل پیداست در حالت X-Y رسم می‌شود.



مدار برش با استفاده از دیود زهر:

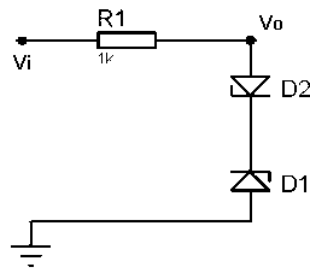
با توجه به اینکه استفاده از منبع ولتاژ هزینه بر بوده و در دسترس نمی‌باشد می‌توان مدار برشی با استفاده از دو دیود زهر طراحی کرد. ولی کیفیت این مدار به اندازه ی مدار قبلی نیست زیرا مشخصه ی زهر به تیزی مشخصه ی دیود های معمولی نمی‌باشد.

تحلیل مدار (مشابه مدار قبل):

$$\forall V_i < -4 \rightarrow D1: ON \ \&\& \ D2: OFF \rightarrow V_o = -4$$

$$\forall -4 < V_i < 2 \rightarrow D1: OFF \ \&\& \ D2: OFF \rightarrow V_o = V_i$$

$$\forall V_i > 2 \rightarrow D1: OFF \ \&\& \ D2: ON \rightarrow V_o = 2$$



ولتاژ شکست D1 : 2.7V

ولتاژ شکست D2 : 4.7V

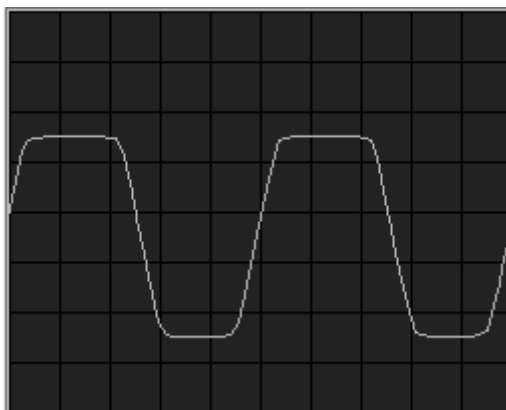
شکل موجهای بدست آمده :



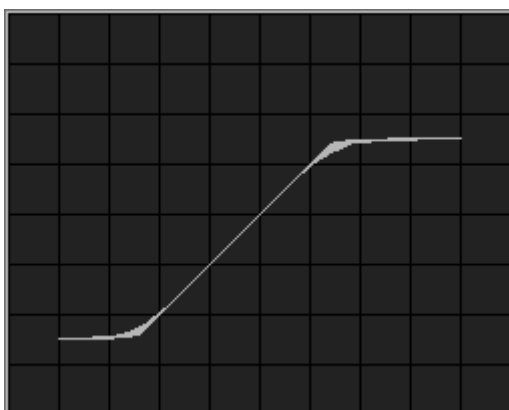
IN

همان طور که از دو شکل بعدی نیز مشخص است، لبه قسمت بریده شده در این مدار کمی حالت خمیدگی دارد در حالی که در مدار قبلی لبه ها تیز تر بودند .

این اثر بر روی منحنی مشخصه نیز نمایان است و می توان دید که منحنی مشخصه هم از حالت ایده آل فاصله ی بیشتری گرفته.



OUT



X-Y

## مدارهای کلمپ

از این مدار می توان برای مقید کردن حداکثر یا حداقل یک شکل موج متناوب به یک ولتاژ مبنای  $V_r$  استفاده می شود. در واقع مدار کلمپ سطح DC سیگنال را به اندازه  $+V_r$  یا  $-V_r$  تغییر می دهد.

کلمپ یک مدار دیودی است که یک مقدار dc را به ولتاژ متناوب اضافه یا کم میکند.

دو نوع میباشد:

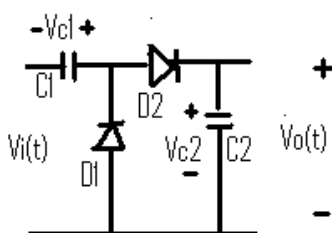
کلمپ در سطح صفر

کلمپ در سطح غیر صفر

## مدار چند برابر کننده ولتاژ:

مدارات چند برابر کننده ولتاژ، منابع تغذیه‌ای هستند که ولتاژ خروجی آن‌ها چند برابر ولتاژ ماکزیمم ورودی است. اساس اینگونه مدارها بر شارژ خازن استوار می‌باشد و تا حدودی شبیه مدارهای جهش تحلیل می‌شود. بر خلاف مدارهای جهش، خروجی مدارهای چند برابر کننده، ولتاژ دو سر خازن می‌باشد.

مدار **Error! Reference source not found.** یک مدار دو برابر کننده را نشان می‌دهد:



فرض می‌شود که سیگنال ورودی، یک سیگنال سینوسی و شارژ اولیه خازن‌ها برابر صفر ولت باشد. در نیم سیکل منفی دیود  $D_1$  روشن می‌شود و خازن  $C_1$  فرصت برای شارژ می‌یابد. خازن  $C_1$  به اندازه ماکزیمم ولتاژ ورودی شارژ می‌شود و سپس دیود  $D_1$  خاموش و مسیر شارژ خازن قطع می‌شود. چرا؟

$$V_{C1} = V_m$$

در نیم سیکل مثبت بعدی دیود  $D_2$  روشن می‌شود و خازن  $C_2$  فرصت برای شارژ می‌یابد. با توجه به شارژ خازن  $C_1$  و معادله KVL

$$-V_s(t) - V_{C1} + V_{C2} = 0$$

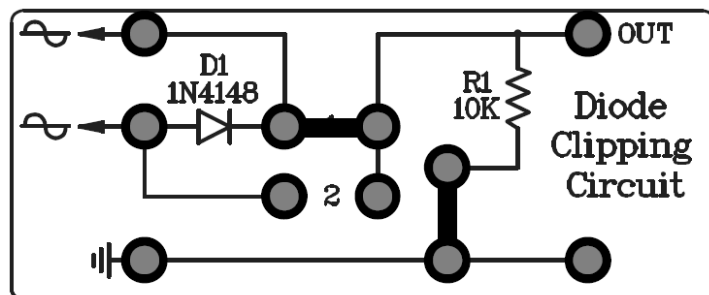
خازن  $C_2$  تا مقدار  $2V_m$  شارژ می‌شود و سپس دیود  $D_2$  خاموش می‌شود.

$$V_{C2} = 2V_m$$

## آزمایش 14 : مدار کلیپ

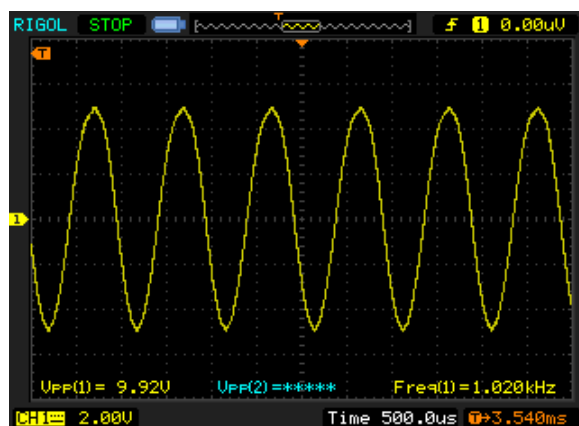
مراحل آزمایش:

(1) جامپرهای شماره 1 و 3 را در Block Diode Clipping Circuit قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.

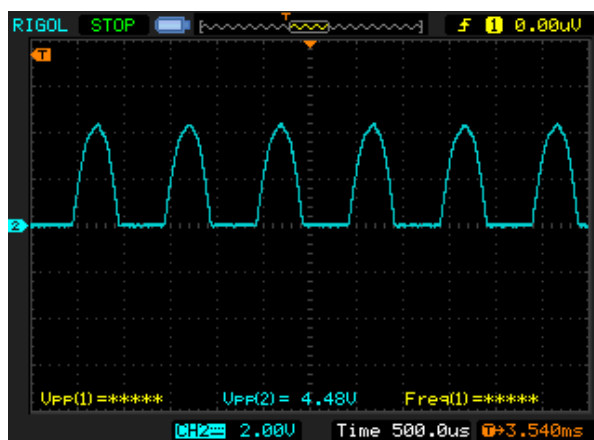


(2) به پین پایینی ورودی مدار یک سیگنال سینوسی 1kHz 10 Vp-p اعمال کنید .

(3) با اسیلوسکوپ ولتاژ in , out را مشاهده و مقایسه کنید .



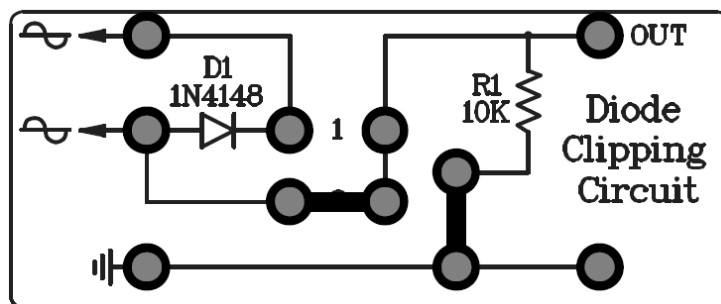
In



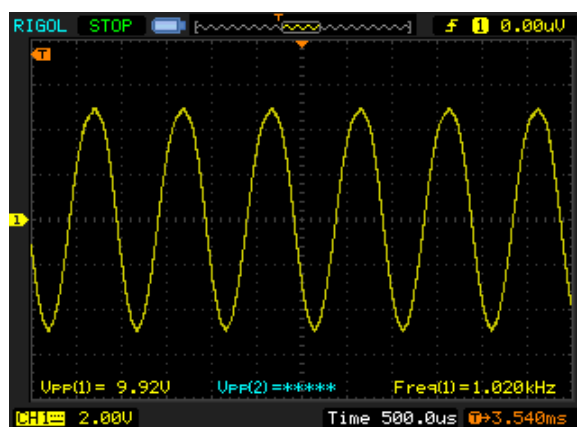
OUT

(4) به جای جامپر شماره 1، جامپر شماره 2 را در Diode Clipping Circuit مدار قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.

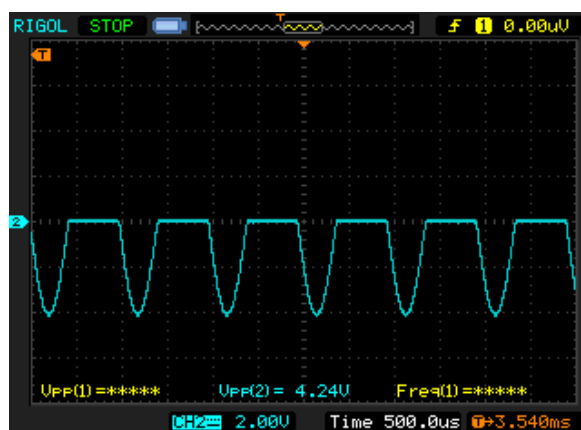
(5) به پین بالایی ورودی مدار یک سیگنال سینوسی 10 Vp-p, 1kHz ، اعمال کنید .



(6) با اسیلوسکوپ ولتاژ in , out را مشاهده کنید .



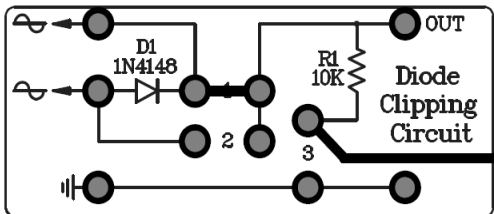
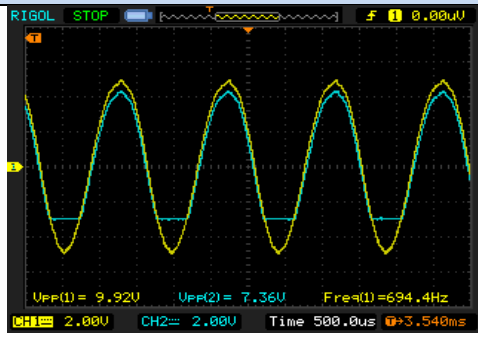
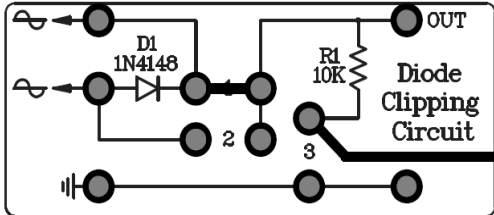
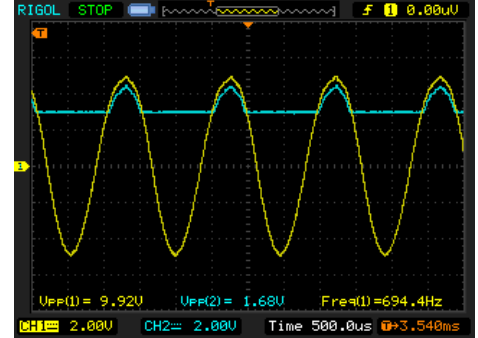
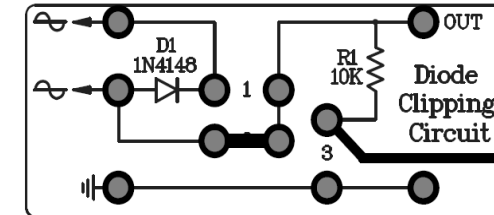
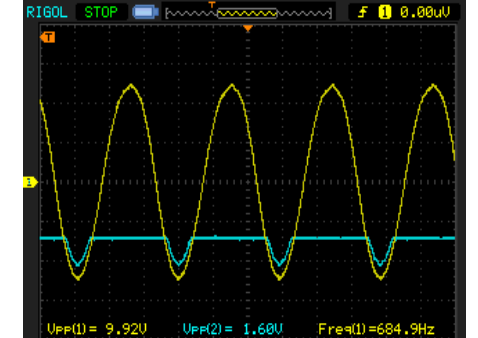
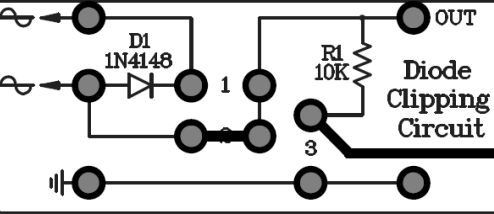
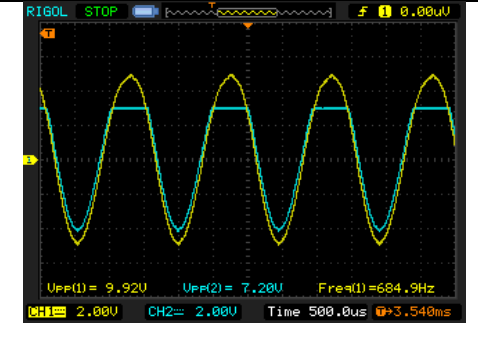
In



Out



(7) مطابق جدول زیر به جای جامپر شماره 3 تغذیه DC را در Block Diode Clipping Circuit قرار دهید و به ترتیب جدول را کامل کنید.

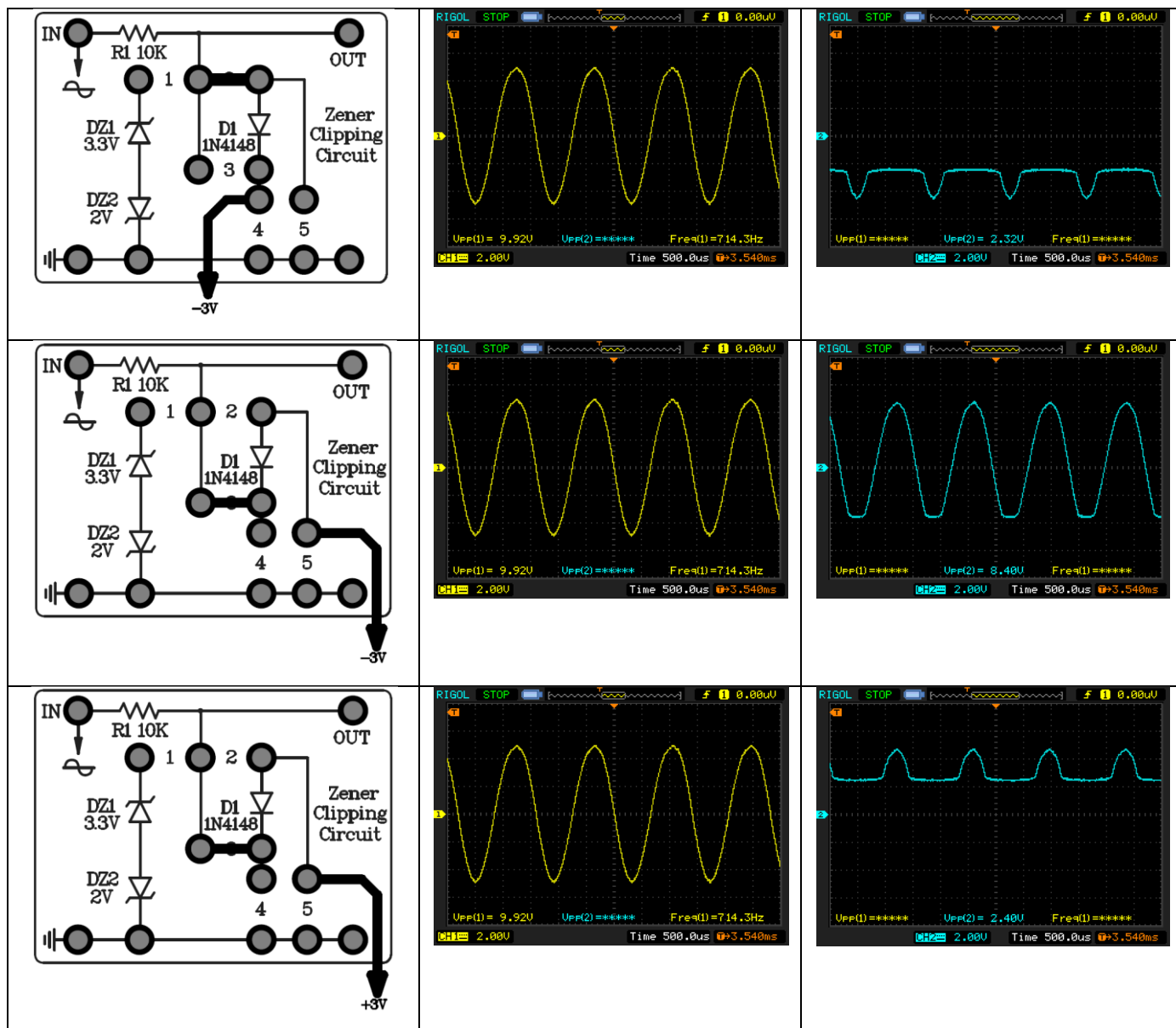
مدار کلیپ	سیگنال in, out
	
	
	
	

## آزمایش 15 : مدار کلیپ

مراحل آزمایش:

- 1) جامپر ها را در Block Zener Clipping Circuit مطابق شکل در هر ردیف از جدول زیر قرار دهید.
- 2) به پین ورودی مدار یک سیگنال سینوسی  $10\text{ Vp-p}$   $1\text{ kHz}$  ، اعمال کنید .
- 3) با اسیلوسکوپ ولتاژ in , out را مشاهده و مقایسه کنید .

مدار کلیپ	in	out

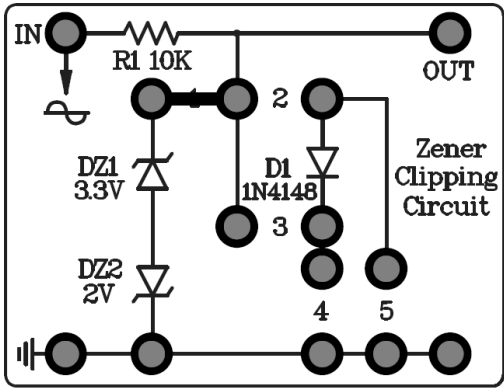
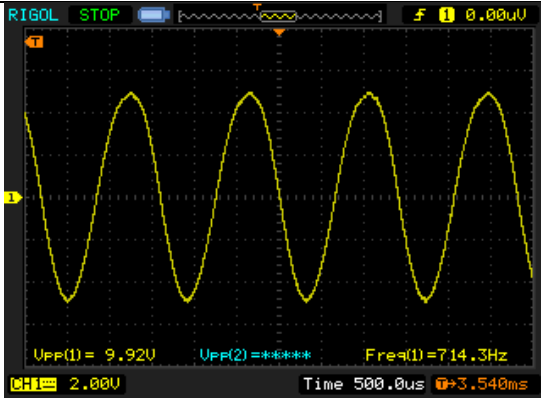
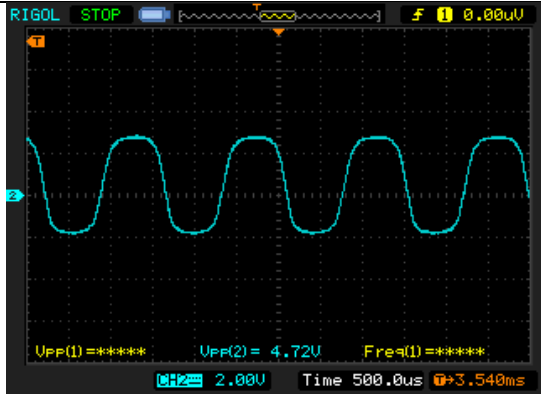
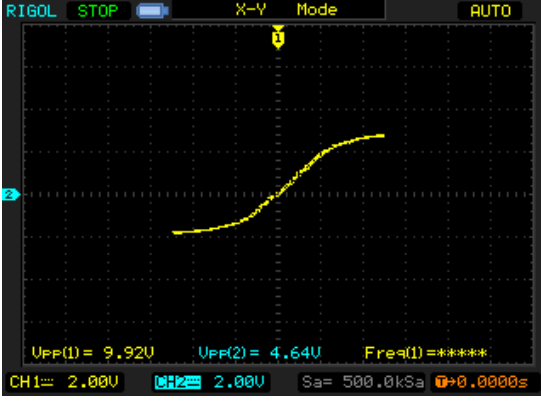


(4) جامپرهای شماره 1 را در Block zener Clipping Circuit قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.

(5) به پین ورودی مدار یک سیگنال سینوسی 1kHz 10 Vp-p، اعمال کنید.

(6) با اسیلوسکوپ ولتاژ in, out را مشاهده و مقایسه کنید.

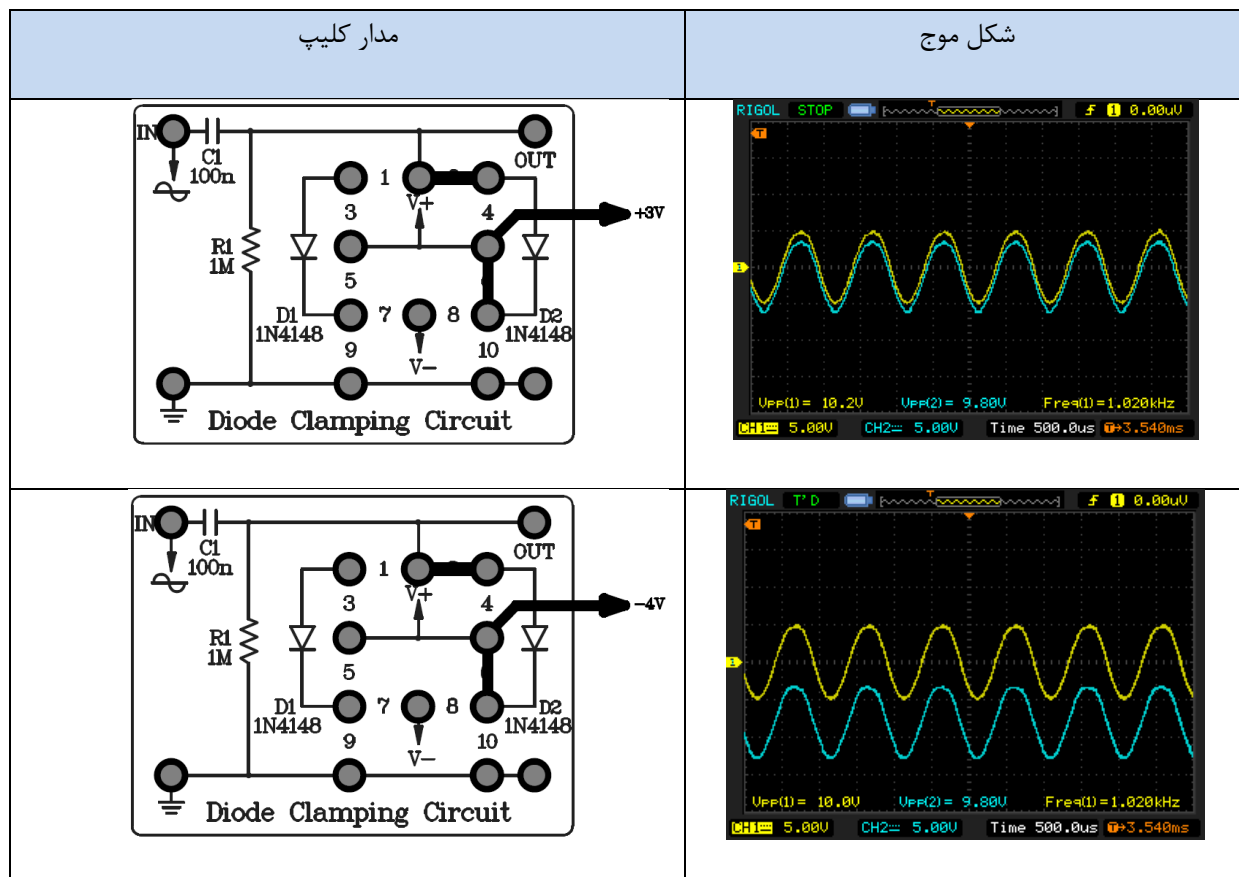
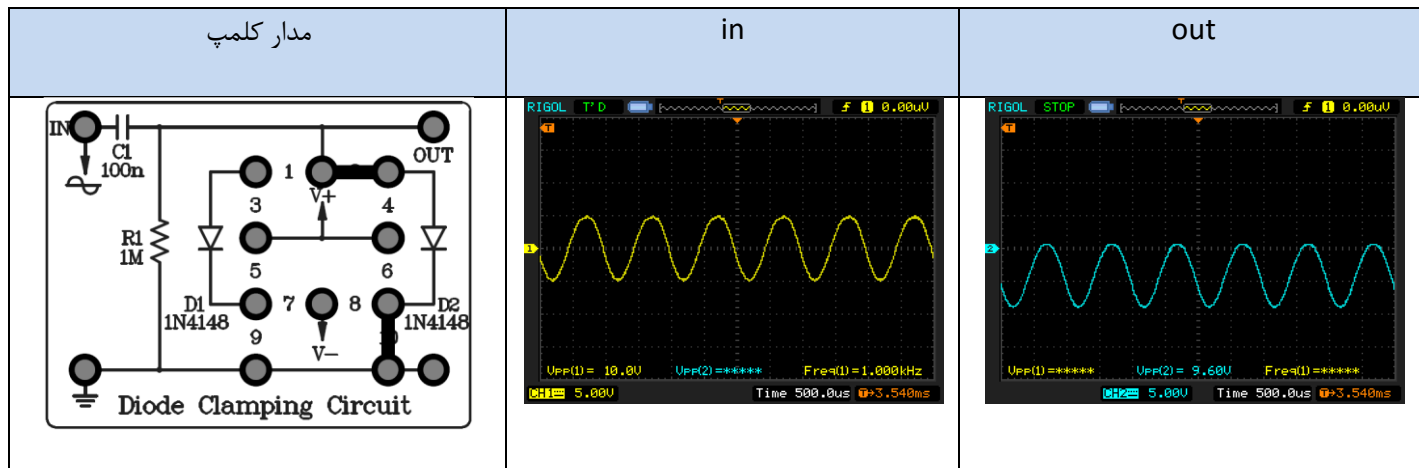
(7) کانال اول را به ورودی و کانال دوم را به خروجی متصل کنید و اسیلوسکوپ را در حالت X-Y قرار دهید و تصویر لیسازو را مشاهده کنید.

مدار کلیپ	
In	
out	
X-Y	

## آزمایش 16: مدار کلمپ

مراحل آزمایش:

- 1) جامپرهای 2 و 10 را در Diode Clamping Circuit مطابق شکل زیر قرار دهید .
- 2) به پین ورودی مدار یک سیگنال سینوسی  $10\text{ Vp-p}$   $1\text{ kHz}$  اعمال کنید .
- 3) با اسیلوسکوپ ولتاژ  $\text{in}$  ,  $\text{out}$  را مشاهده و مقایسه کنید .



## فصل نهم

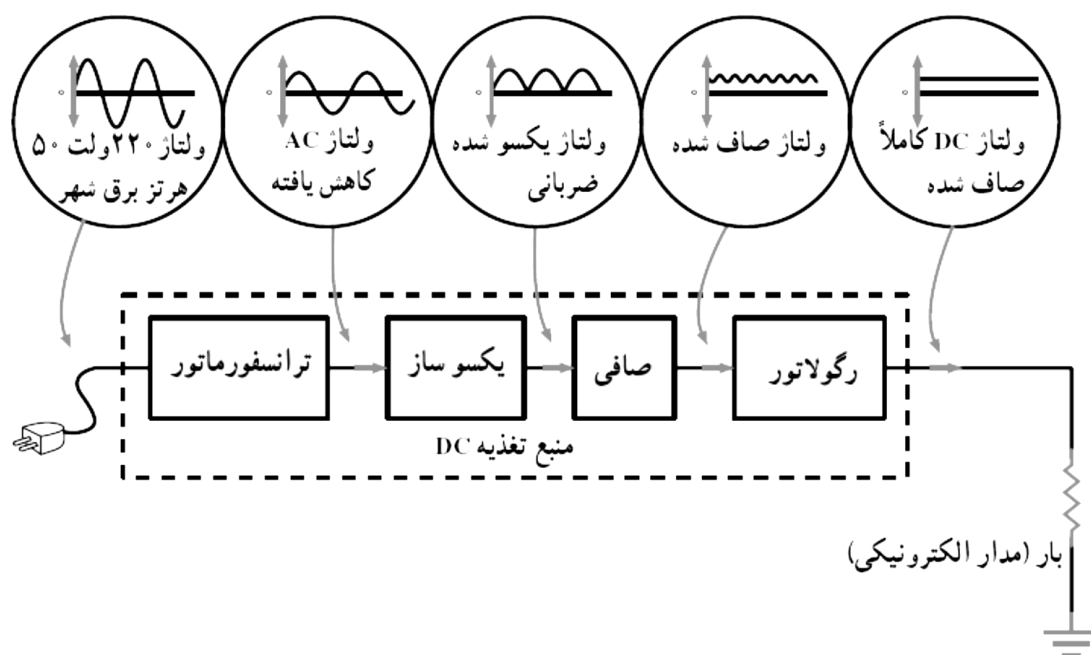
### یکسوکننده ها

## مقدمه

برق شهری، برق ac است، ولی اکثر وسایل خانگی نیاز به برق DC دارند. (تمام ترانزیستور ها و به طور کلی ICها از برق DC استفاده می کنند).

برای به دست آوردن یک ولتاژ DC مناسب استفاده از مراحل زیر مرسوم است :

1. تبدیل سطح ولتاژ ac به مقدار مورد نیاز توسط یک ترانسفورمر
2. استفاده از یک مدار یک سوساز (نیم موج یا تمام موج) (از خروجی این مرحله می توان برای یک مصرف کننده ی غیر حساس استفاده کرد)
3. استفاده از یک صافی خازنی
4. استفاده از رگلاتور یا تنظیم کننده



یادآوری:

اسیلوسکوپ یک پیک سنج است یعنی  $V_m$  را اندازه گیری می کند؛ مولتی متر ac یک موثر سنج است یعنی  $V_{rms}$  را اندازه

می گیرد؛ مولتی متر DC یک متوسط سنج است یعنی  $V_{DC}$  را اندازه می گیرد.

در یک یکسو کننده هر سه نوع این موج ها را داریم.

$$F_{DC} = \frac{1}{T}, \quad w = 2 * \pi * 50, \quad T = \frac{2 * \pi}{w}$$

واضح است که مقدار DC یک سینوسی کامل صفر خواهد بود.

(نحوه محاسبه را یاد داشته باشید)

محاسبه ی  $V_{rms}$  برای یک سینوسی کامل :

$$F_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}, \quad w = 2 * \pi * 50, \quad T = \frac{1}{50}$$

با توجه به اینکه شکل کلی ولتاژهایی که ما با آنها سر و کار داریم به صورت  $V_m \sin(\omega.t)$  است، کافی است برای محاسبه ی مقادیر مذکور  $V_m$  را به وسیله ی اسیلوسکوپ اندازه بگیریم و در فرمول های مربوطه قرار دهیم.

مقادیر  $rms$  و  $DC$  برای چند شکل موج معمول :

- سینوسی کامل:

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$$V_{DC} = 0$$

- سینوسی یکسوشده ی نیم موج

$$V_{rms} = \frac{V_m}{2}$$

$$V_{DC} = \frac{V_m}{\pi}$$

- سینوسی یکسوشده ی تمام موج

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$$V_{DC} = \frac{2V_m}{\pi}$$

کاربرد های مدار یکسوکند ی تمام موج با پل دیودی:

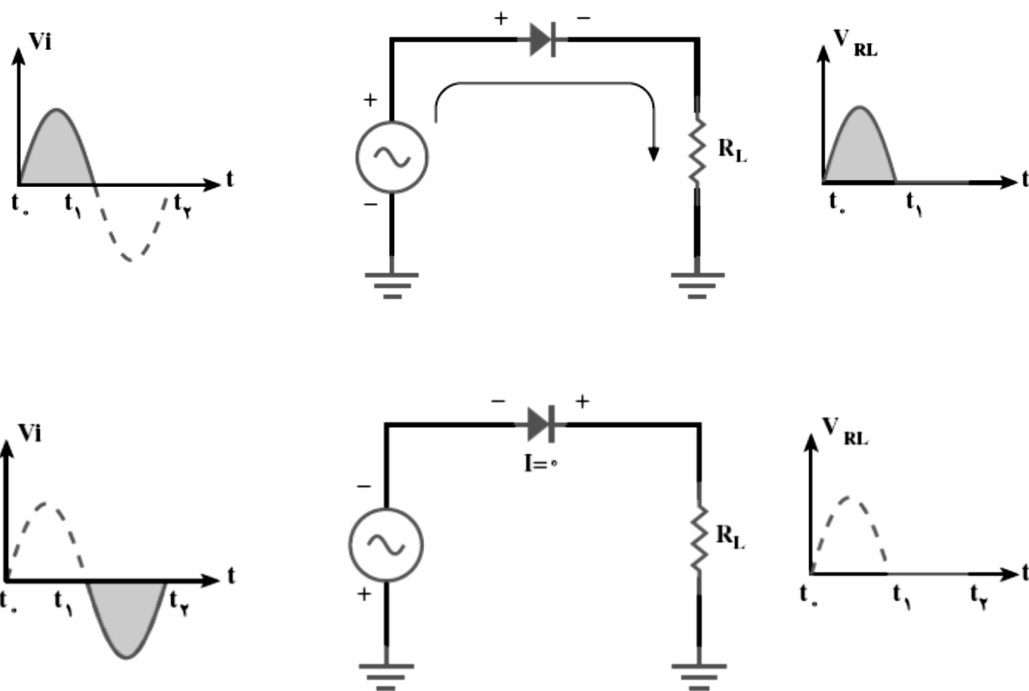
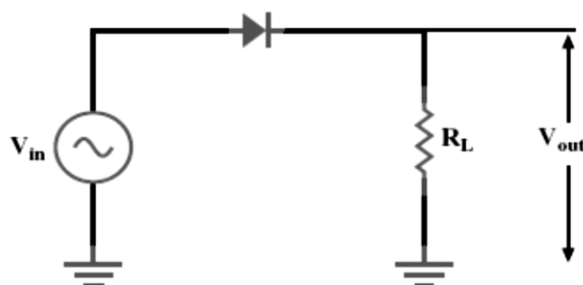


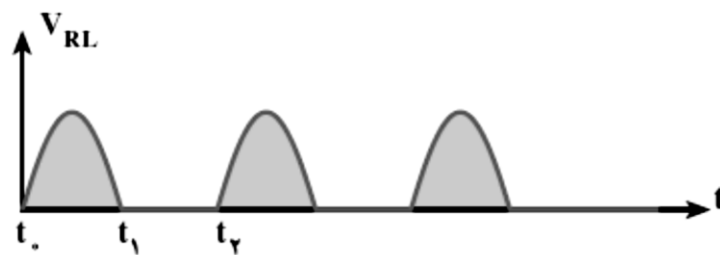
اگر توجه کرده باشید خط تلفن دارای ولتاژ DC است و مثبت و منفی آن فرق می کنند ولی ما به این مطلب هنگام وصل تلفن به پریز توجهی نمی کنیم. در واقع در ورودی تمام تلفن ها یک پل دیودی به کار رفته است. در یک پل دیودی به هر صورت هم که ورودی را وصل کنیم، خروجی همواره دارای پلاریته ی یکسانی خواهد بود.

پس یک کاربرد دیگر این مدار (به غیر از یکسوسازی برای ساختن ولتاژ DC از AC) حفاظت دستگاه های الکتریکی در مقابل پلاریته ی معکوس می باشد.

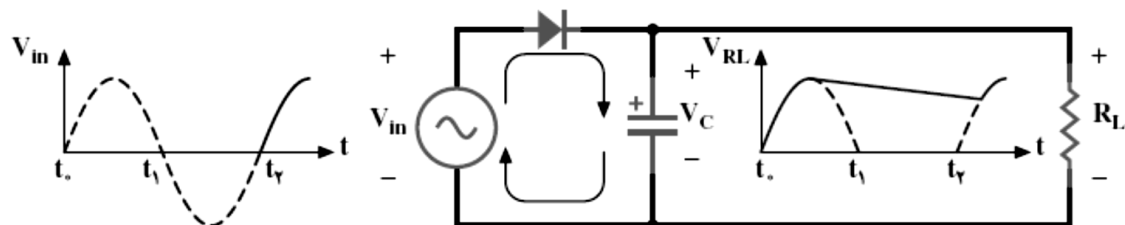
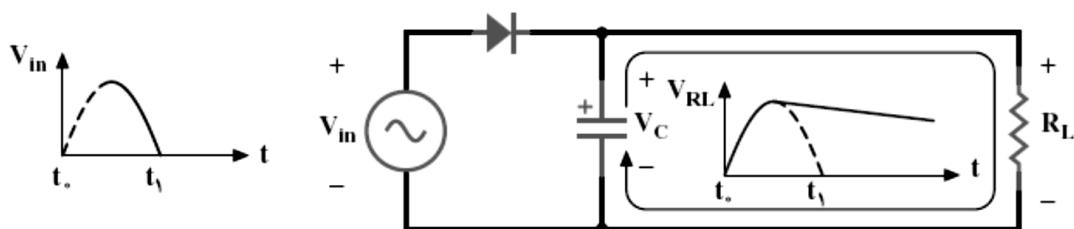
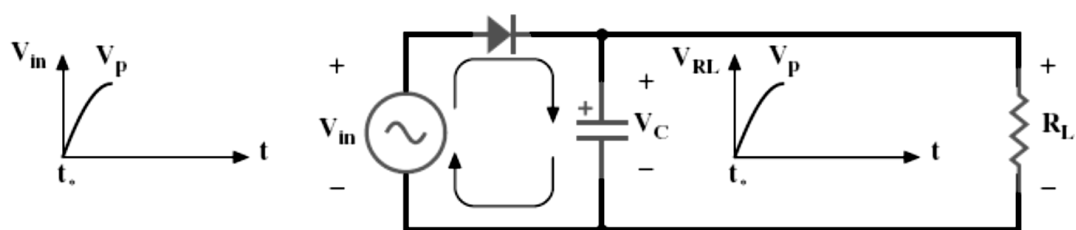
نکته: در این مدار PIV دیودها باید برابر با ولتاژ خروجی ترانس باشد.

یکسوساز نیم موج مثبت:





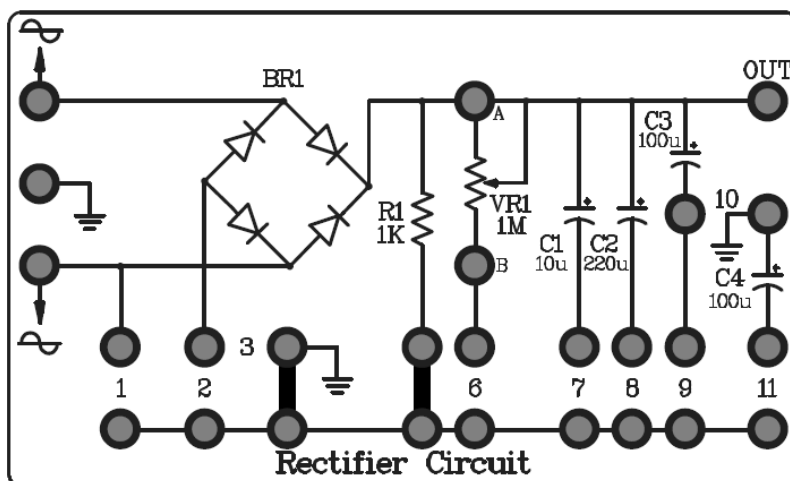
یکسوساز نیم موج مثبت با صافی خازن:



## آزمایش 17: یکسو کننده نیم موج

مراحل آزمایش:

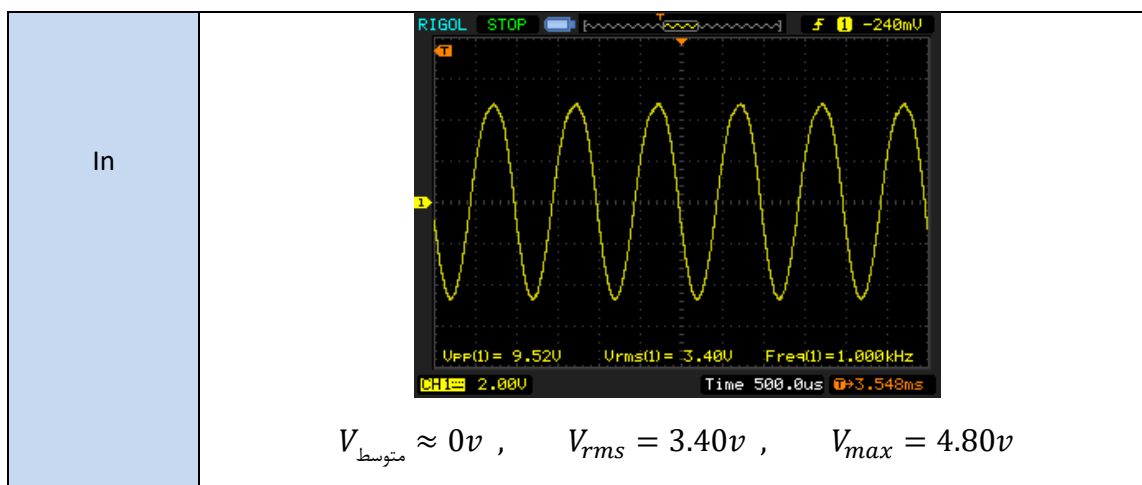
(1) جامپر ها را در Block Rectifier Circuit مطابق شکل زیر قرار دهید.

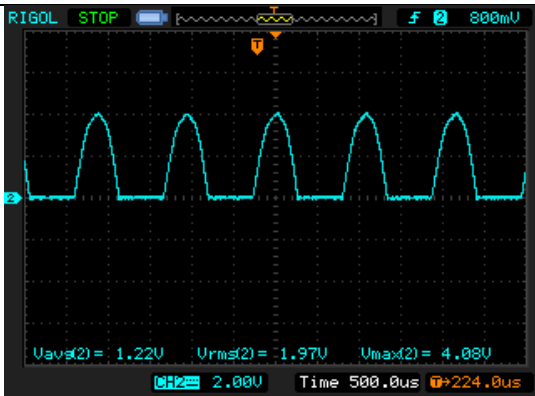
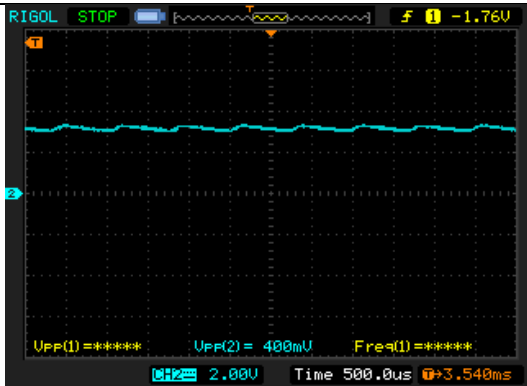
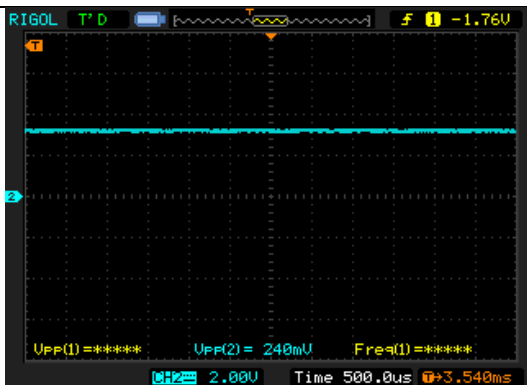
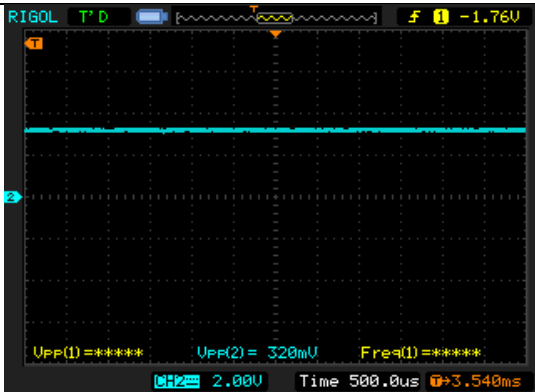


(2) به پین ورودی بالایی مدار یک سیگنال سینوسی 1kHz 10 Vp-p، اعمال کنید.

(3) با اسیلوسکوپ ولتاژ in , out را مشاهده و مقایسه کنید.

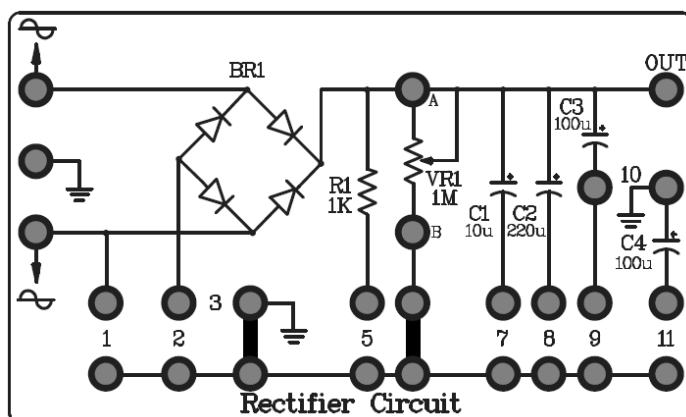
(4) برای مشاهده خروجی فیلتر شده، به ترتیب جامپرهای 7، 9 و 8 را وارد مدار کنید و اثر آن را بر خروجی ببینید.



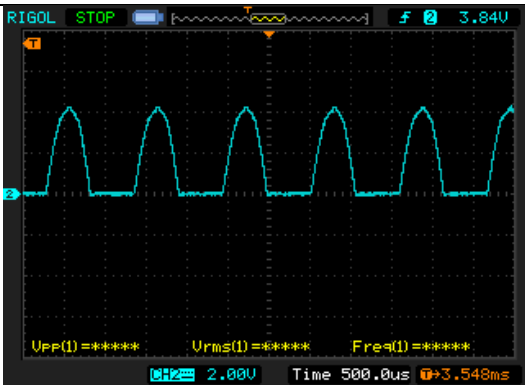
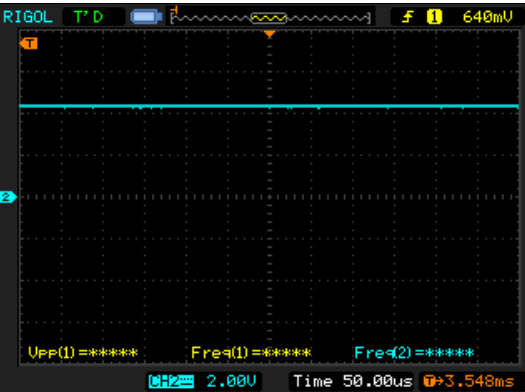
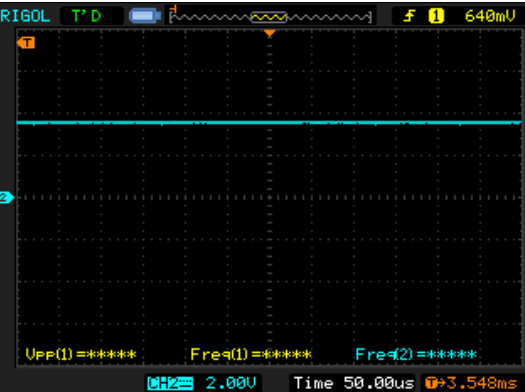
<p>out بدون فیلتر</p>	 <p><math>V_{\text{متوسط}} = 1.22v</math> , <math>V_{rms} = 1.97v</math> , <math>V_{max} = 4.08v</math></p>
<p>با فیلتر <math>C = 10\mu F</math></p>	 <p><math>V_{PP}(1) = \text{*****}</math> , <math>V_{PP}(2) = 400mV</math> , <math>Freq(1) = \text{*****}</math></p>
<p>با فیلتر <math>C = 100\mu F</math></p>	 <p><math>V_{PP}(1) = \text{*****}</math> , <math>V_{PP}(2) = 240mV</math> , <math>Freq(1) = \text{*****}</math></p>
<p>با فیلتر <math>C = 220\mu F</math></p>	 <p><math>V_{PP}(1) = \text{*****}</math> , <math>V_{PP}(2) = 320mV</math> , <math>Freq(1) = \text{*****}</math></p>

(5) به جای جامپر 5، جامپر شماره 6 را وارد مدار کنید و دوباره مراحل بالا را تکرار کنید و اثر آن را بر خروجی ببینید.

(6) ولوم VR1 را با مقدار 1M درون مدار قرار دهید.



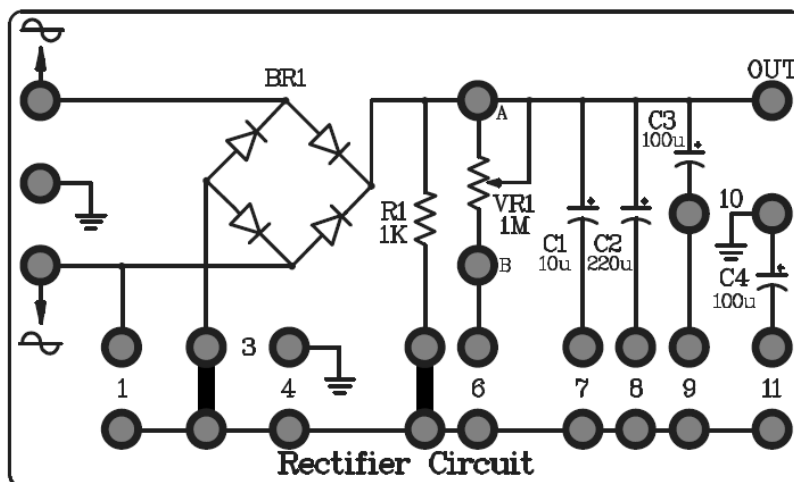
In	<p><math>V_{\text{متوسط}} \approx 0v</math> , <math>V_{rms} = 3.40v</math> , <math>V_{max} = 4.80v</math></p>
out VR1= max بدون فیلتر	

<p>out VR1= min بدون فیلتر</p>	
<p>با فیلتر VR1= max <math>C = 100\mu F</math></p>	
<p>با فیلتر VR1= min <math>C = 220\mu F</math></p>	

## آزمایش 18: یکسو کننده تمام موج پل

مراحل آزمایش:

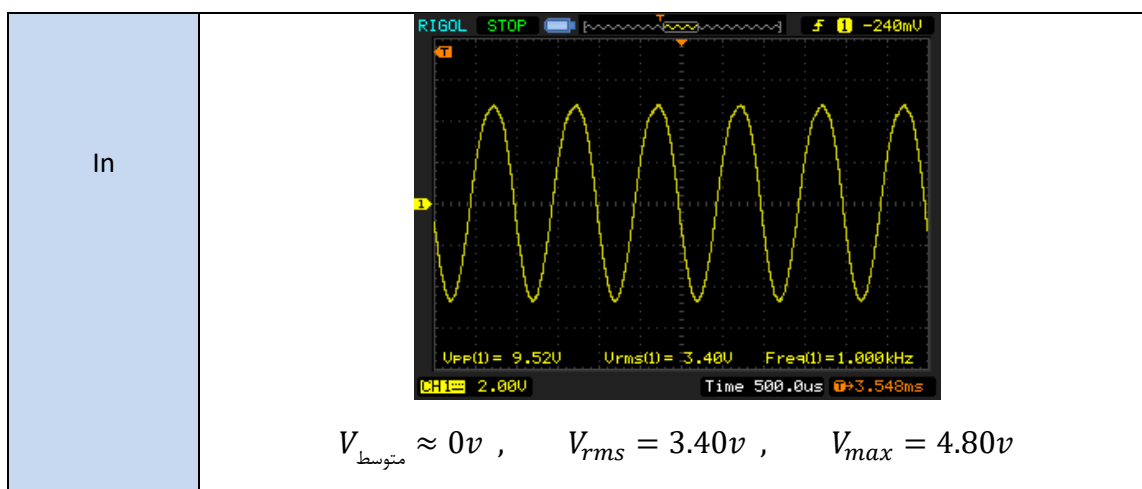
(1) جامپر ها را در Block Rectifier Circuit مطابق شکل زیر قرار دهید.

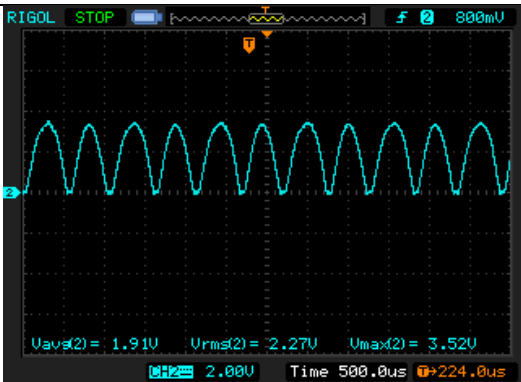
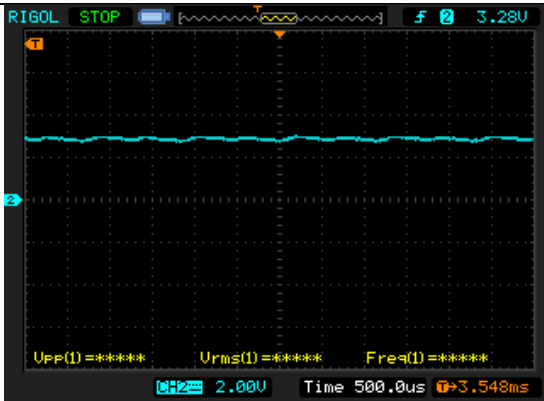
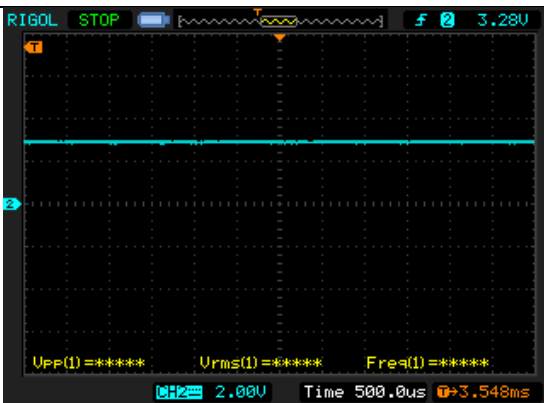
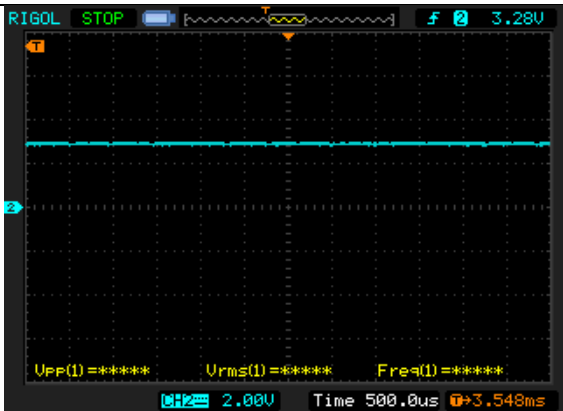


(2) پین ورودی بالایی را به خروجی فانکشن ژنراتور و پین پایینی مدار را به زمین فانکشن متصل نموده و یک سیگنال سینوسی  $10\text{ Vp-p}$   $1\text{ kHz}$  اعمال کنید.

(3) با اسیلوسکوپ ولتاژ ورودی و خروجی یعنی دو سر مقاومت  $R1$  را مشاهده و مقایسه کنید.

(4) برای مشاهده خروجی فیلتر شده، به ترتیب جامپرهای 7، 9 و 8 را وارد مدار کنید و اثر آن را بر خروجی ببینید.



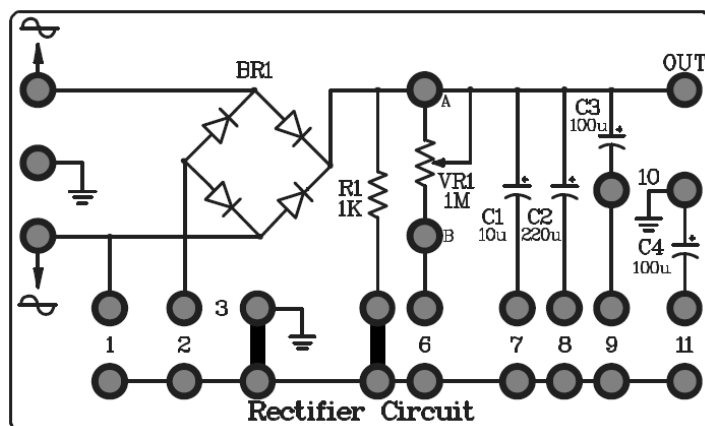
<p>out بدون فیلتر</p>	 <p><math>V_{\text{متوسط}} = 1.91v</math> , <math>V_{rms} = 2.27v</math> , <math>V_{max} = 3.52v</math></p>
<p>با فیلتر <math>C = 10\mu F</math></p>	
<p>با فیلتر <math>C = 100\mu F</math></p>	
<p>با فیلتر <math>C = 220\mu F</math></p>	



## آزمایش 19: یکسوساز تمام موج

مراحل آزمایش:

(1) بلوک دیاگرام مدار در Block Rectifier Circuit در شکل زیر دیده می شود .

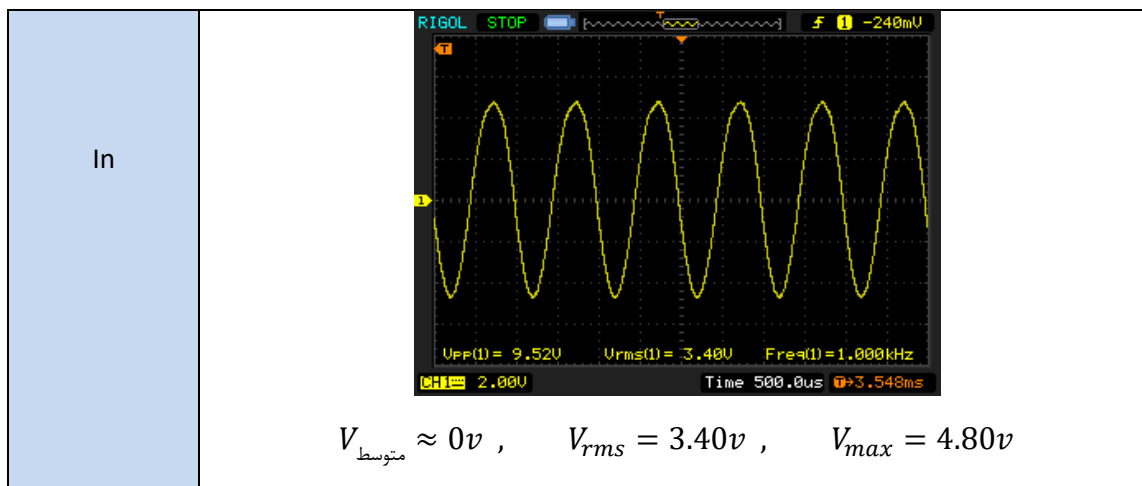


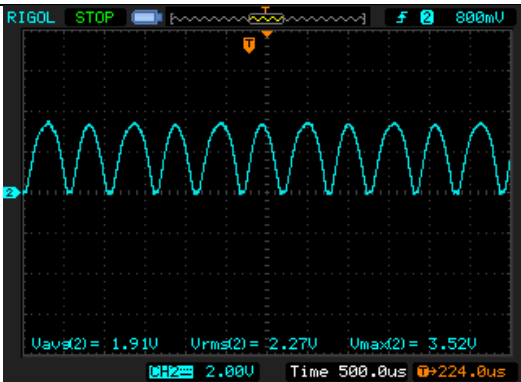
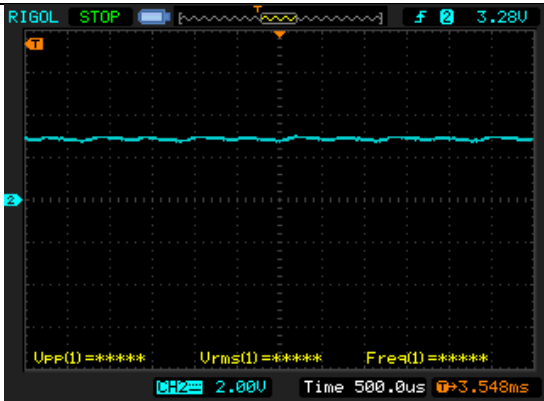
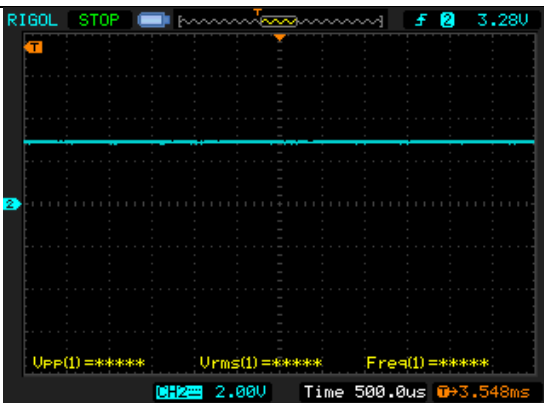
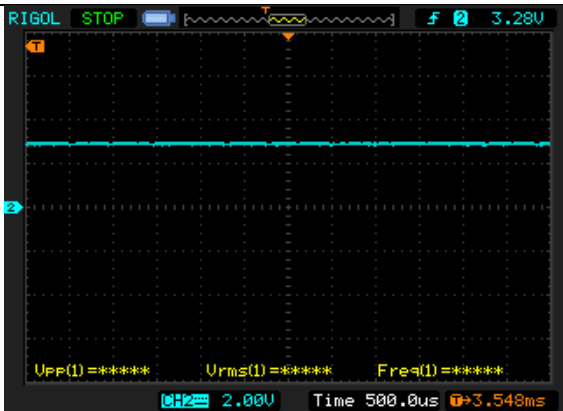
(2) به پین ورودی بالایی یک سیگنال سینوسی 10 Vp-p 1kHz اعمال نمایید (10V-0V) و همچنین با استفاده از یک

فانکشن ژنراتور دیگر یک سیگنال سینوسی مشابه اما معکوس به پین ورودی پایینی اعمال کنید (0V-10V). (دقت کنید در

صورت یکسان نبودن دو سیگنال ممکن است سیگنال خروجی دارای اعوجاج باشد).

(3) با اسیلوسکوپ ولتاژ in ، out را مشاهده و مقایسه کنید.

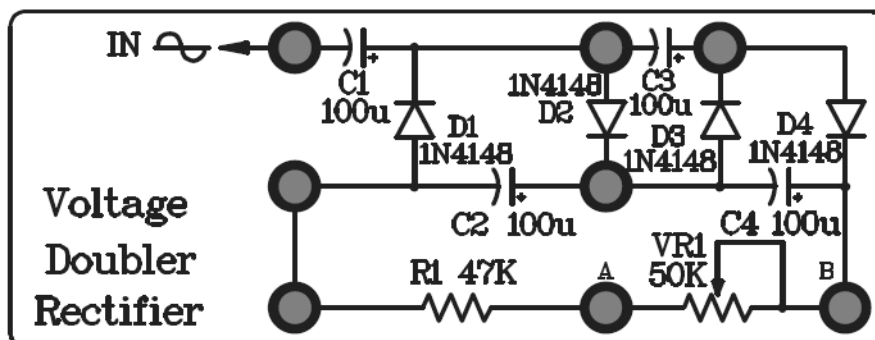


<p>out بدون فیلتر</p>	 <p><math>V_{\text{متوسط}} = 1.91v</math> , <math>V_{rms} = 2.27v</math> , <math>V_{max} = 3.52v</math></p>
<p>با فیلتر <math>C = 10\mu F</math></p>	
<p>با فیلتر <math>C = 100\mu F</math></p>	
<p>با فیلتر <math>C = 220\mu F</math></p>	

## آزمایش 20: یکسوساز دو برابرکننده ولتاژ

مراحل آزمایش:

(1) بلوک دیاگرام مدار در Voltage Doubler Rectifier در شکل زیر دیده می‌شود.

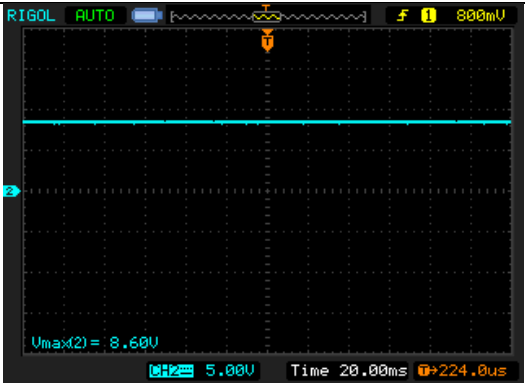
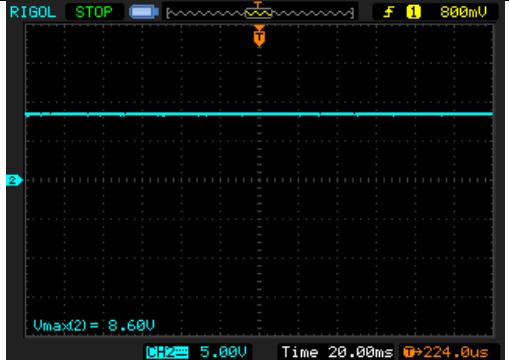
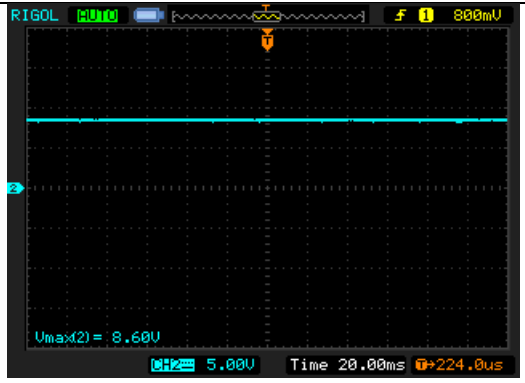


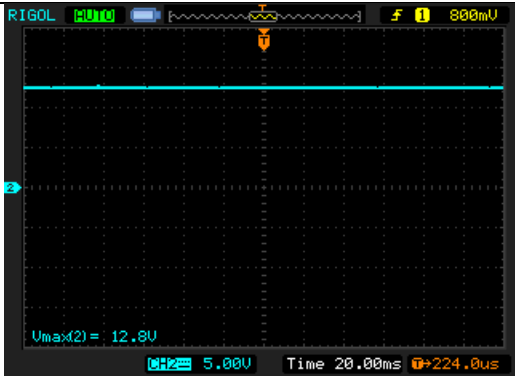
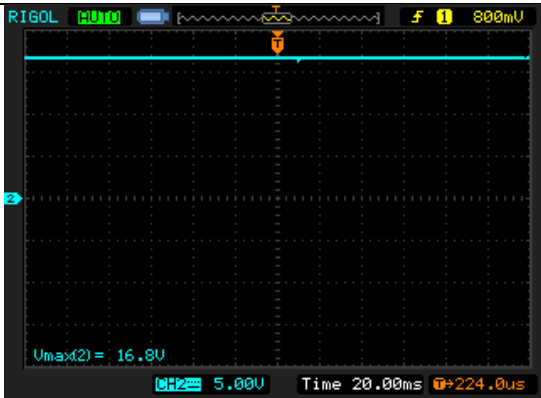
(2) به پین ورودی مدار یک سیگنال سینوسی 1kHz 10 Vp-p اعمال کنید و پین متصل به آند D1 را، زمین کنید.

(3) با اسیلوسکوپ ولتاژ in و سپس به ترتیب ولتاژ دو سر خازن های C1، C2، C3 و C4 را مشاهده و مقایسه کنید.

(4) همچنین به ترتیب ولتاژ دو سر خازن های C1 + C3 و C2 + C4 را مشاهده کنید.

In	<p> <math>V_{\text{متوسط}} \approx 0v</math> , <math>V_{\text{rms}} = 3.40v</math> , <math>V_{\text{max}} = 4.80v</math> </p>
VC1	<p> <math>V_{\text{max}(2)} = 4.40V</math> </p>

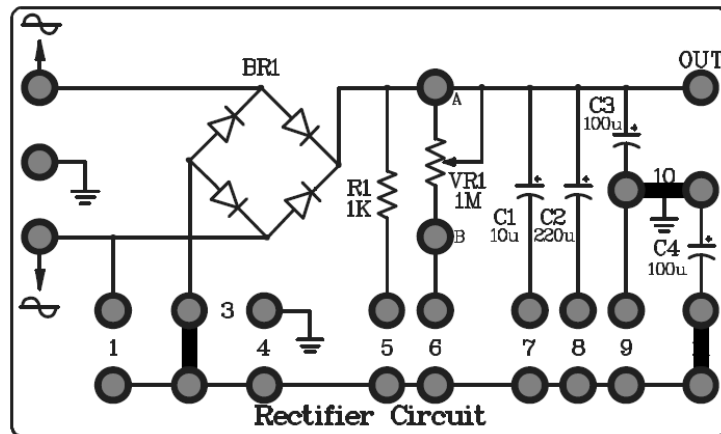
	$V_{DC} = 4.40v \approx V_m$
VC2	 $V_{DC} = 8.60v \approx 2V_m$
VC3	 $V_{DC} = 8.60v \approx 2V_m$
VC4	 $V_{DC} = 8.60v \approx 2V_m$

<p>V(C3+C1)</p>	 $V_{DC} = 12.8v \approx 3V_m$
<p>V(C4+C2)</p>	 $V_{DC} = 16.8v \approx 4V_m$

## آزمایش 21: یکسوساز دو برابرکننده ولتاژ (با پل دیودی)

مراحل آزمایش:

(1) بلوک دیاگرام مدار در Block Rectifier Circuit در شکل زیر دیده می شود.

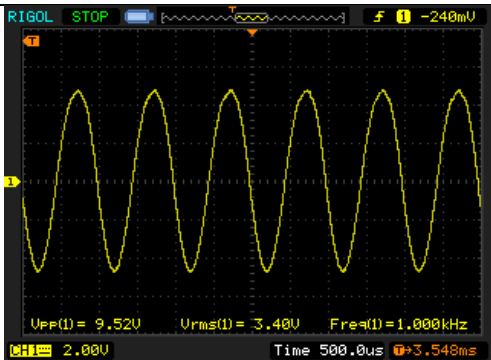
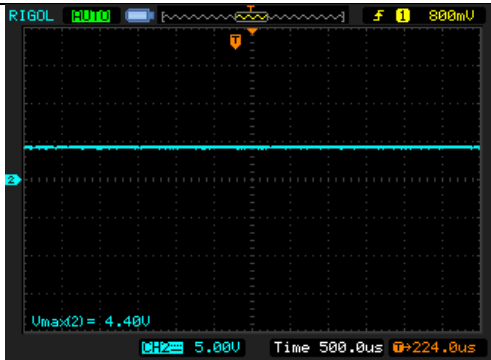
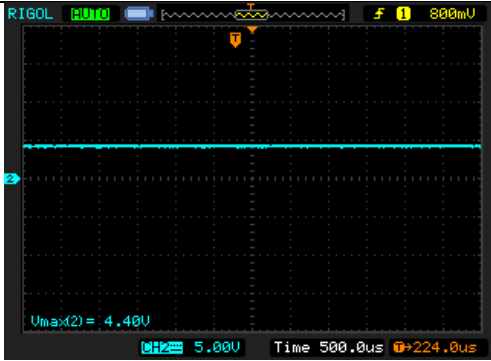
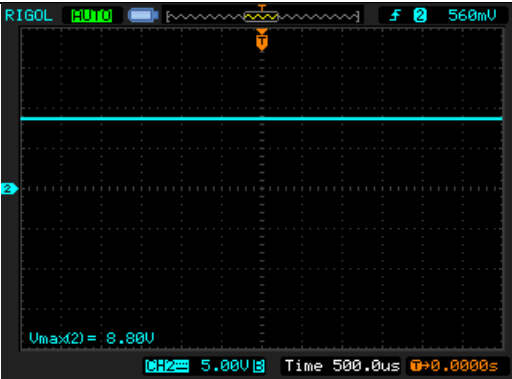


(2) به پین ورودی بالایی یک سیگنال سینوسی 10 Vp-p 1kHz اعمال نمایید (10V-0V) و همچنین با استفاده از یک

فانکشن ژنراتور دیگر به سیگنال سینوسی مشابه به پین ورودی پایینی اعمال کنید (0V-10V). (دقت کنید در صورت یکسان

نبودن دو سیگنال ممکن است سیگنال خروجی دارای اعوجاج باشد).

(3) با اسیلوسکوپ ولتاژ in و out سپس به ترتیب ولتاژ دو سر خازن های C3 و C4 را مشاهده و مقایسه کنید.

In	 <p> <math>V_{\text{متوسط}} \approx 0v</math> ,    <math>V_{rms} = 3.40v</math> ,    <math>V_{max} = 4.80v</math> </p>
VC3	 <p> <math>V_{DC} = 4.40v \approx V_m</math> </p>
VC4	 <p> <math>V_{DC} = 4.40v \approx V_m</math> </p>
V(C4+C3)	 <p> <math>V_{DC} = 8.80v \approx 2V_m</math> </p>

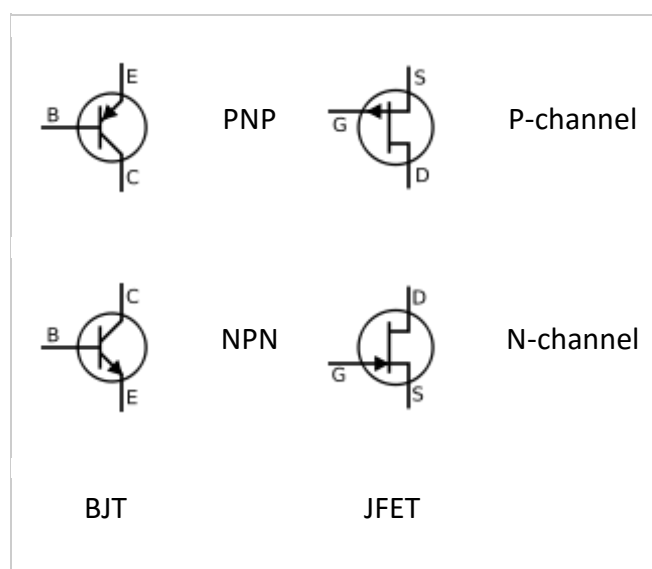
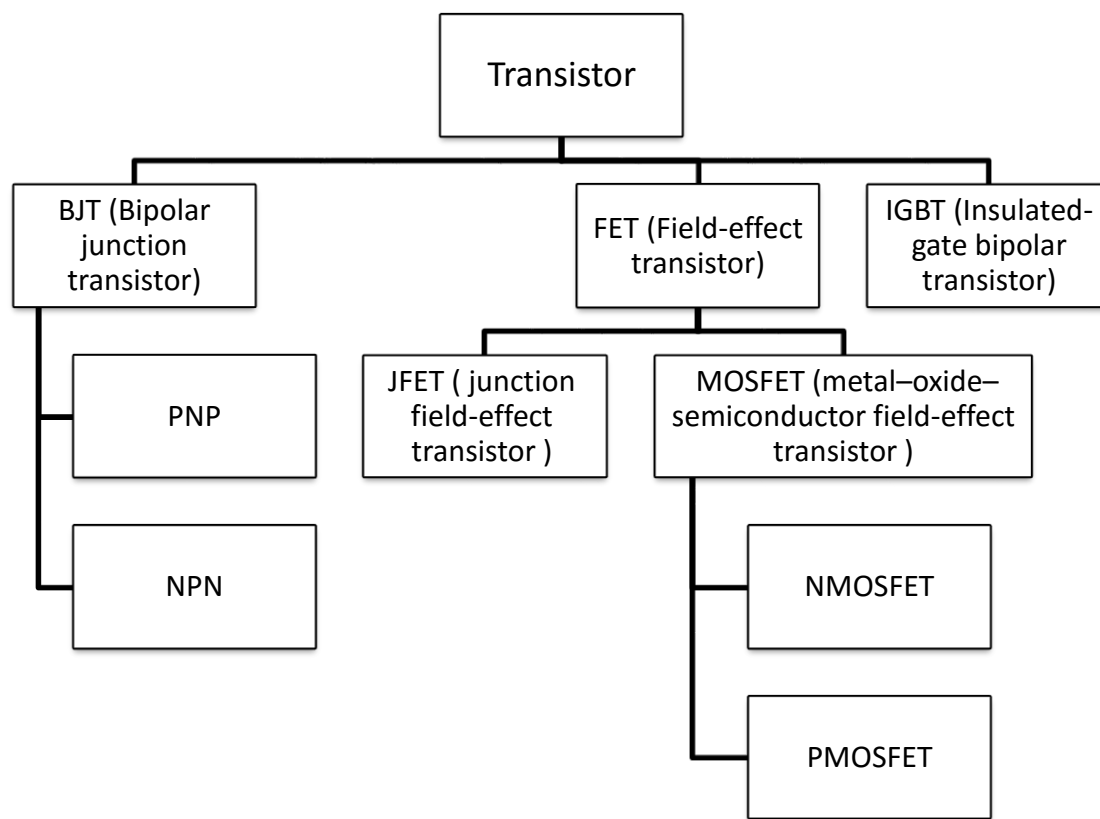
## فصل دهم

انواع ترانزیستور مشخصه های آن و تقویت کننده های

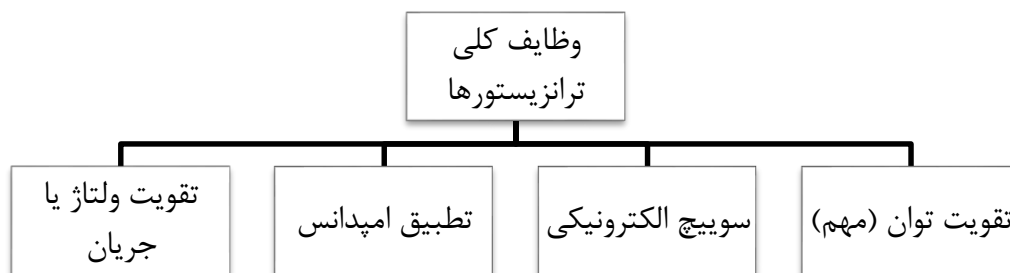
ترانزیستوری



## انواع ترانزیستور



BJT and JFET symbols



در مورد کاربرد ترانزیستور به عنوان تقویت کننده ی توان باید توجه داشت که ترانزیستور توان یک سیگنال ac را به وسیله ی توانی که از منبع DC می گیرد تقویت می نماید. ( مسلما از آنجایی که ترانسفورمرها توان خروجی و ورودی برابری دارند نمی توانند به عنوان تقویت کننده ی توان مورد استفاده قرار گیرند )

### چگونگی عملکرد ترانزیستور BJT و یک نمونه مدار بایاس آن

ترانزیستور دارای سه پایه است که عبارت است از: امیتر، کلکتور و بیس

همانطور که می دانیم، امیتر الکترون ها (حفره ها) را به بیس پخش می کند و کلکتور آنها را از لایه بیس جمع می کند. از این رو، اتصال بیس-کلکتور بزرگ تر از اتصال بیس-امیتر است. مدار شکل ، مدار معادل یک ترانزیستور را نشان می دهد. از همین مدار معادل برای تشخیص پایه بیس ترانزیستور استفاده می شود. یعنی، تنها پایه ای که نسبت به دو پایه دیگر مانند دیود عمل می کند بیس است. بعبارت دیگر، اهم متر از یک جهت مقدار مقاومت کم را نشان می دهد و از جهت دیگر مقدار مقاومت زیاد را نشان می دهد. (مقاومت بین کلکتور و امیتر از هر دو جهت مقدار زیاد است)

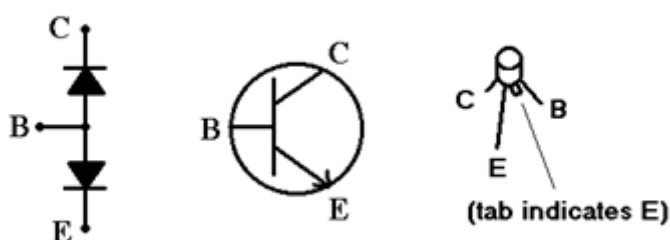
حال با مشخص بودن بیس ترانزیستور، می توان نوع آنرا تشخیص داد. حالتی را در نظر بگیرید که اهم متر مقاومت کمی را نشان می دهد، اگر سیم مثبت اهم متر به پایه بیس متصل می باشد ترانزیستور از نوع NPN می باشد و اگر سیم منفی اهم متر به پایه بیس متصل می باشد ترانزیستور از نوع PNP می باشد. (چرا ؟ )

حال با تشخیص پایه بیس و نوع ترانزیستور با یک تست ساده دیگر می توان پایه های امیتر و کلکتور ترانزیستور را تشخیص داد. برای مثال در یک ترانزیستور NPN، سیم مثبت اهم متر را به پایه بیس متصل کرده و سپس سیم منفی اهم متر را هر بار به یکی از دو پایه دیگر وصل کرده و مقدار مقاومت آنرا یادداشت کنید. پایه ای که نسبت به بیس مقاومت کمتر را نشان می دهد کلکتور می باشد. ( برای ترانزیستور PNP سیم منفی اهم متر را به بیس متصل کرده و ... )

## شناسایی پایه های ترانزیستور:

هر چند پیوند های B-C و B-E هر دو به صورت یک دیود عمل می کنند ولی باید توجه داشت که نمی توان از پایه ی کلکتور به جای امیتر استفاده کرد زیرا از لحاظ ساختاری با هم تفاوت دارند. (درصد ناخالصی و عرض ناحیه)

بنابراین قبل از بستن مدار باید بتوانیم پایه های ترانزیستور را از هم تشخیص دهیم. ما در آزمایشگاه با ترانزیستور BC107 کار می کنیم. در این ترانزیستور پایه ی امیتر توسط زائده ای که در کنار آن وجود دارد مشخص می شود و پایه های دیگر را مطابق شکل زیر می شناسیم:



## تست ترانزیستور:

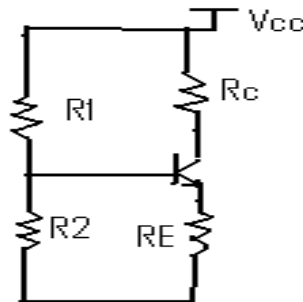
پس از تشخیص پایه ها، باید از سلامت ترانزیستور اطمینان حاصل کنیم. برای این کار کفایت چک شود که دیود هر دو پیوند BE و BC به درستی کار می کنند.

برای این منظور از مولتی متر در حالت تست دیودی استفاده می کنیم (در مولتی مترهای آزمایشگاه دکمه های  $2\Omega$  و  $200\Omega$  را همزمان فشار دهید) و از ترمینال های V- $\Omega$  و COM استفاده کنید.

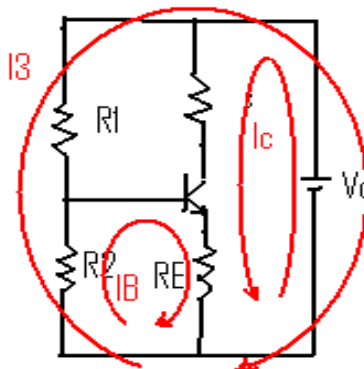
مثبت را به بیس، و منفی را یک بار به E و یک بار به C وصل کنید، در صورت سلامت دیود مولتی متر عددی بین 0.45 تا 0.75 را نشان می دهد، ولی در غیر این صورت پیوند سوخته است. (مشابه تست دیود)

## بایاس ترانزیستور

در شکل زیر ، یک مدار بایاس ترانزیستور نشان داده شده است.



منبع تغذیه  $V_{CC}$  بوسیله دو مقاومت  $R_1$  و  $R_2$  ولتاژ بیس ترانزیستور را تامین می کند. مقاومت های  $R_C$  و  $R_E$  مقاومت های بایاس ترانزیستور هستند. در مدار بایاس ترانزیستور، هدف، بدست آوردن نقطه کار ترانزیستور ( $V_{CE}$  و  $I_C$ ) می باشد. برای بدست آوردن نقطه کار ترانزیستور، با استفاده از تحلیل گره، مدار **Error! Reference source not found.** بصورت زیر تحلیل می شود.



معادلات مورد نیاز برای بدست آوردن نقطه کار بصورت زیر می باشد:

$$\begin{cases} -V_{CC} + R_C * I_C + V_{CE} + R_E * (I_C + I_B) = 0 \\ R_2 * (I_B + I_3) + V_{BE} + R_E * (I_B + I_C) = 0 \\ R_2 * (I_3 + I_B) + R_1 * I_3 + V_{CC} = 0 \\ V_{BE} = 0.7 \\ I_C = \beta * I_B \end{cases}$$

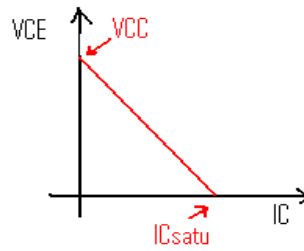
دستگاه معادلات فوق، یک دستگاه 5 معادله 5 مجهول می باشد که براحتی می توان نقطه کار ترانزیستور یعنی  $I_C$  و  $V_{CE}$  را بدست آورد. معادله  $KVL$  حاکم بر حلقه خروجی ( $I_C$ ) در مدار شکل را معادله مشخصه ترانزیستور می نامند. معادله  $KVL$  حاکم بر حلقه خروجی بصورت زیر می باشد:

$$-V_{CC} + R_C * I_C + V_{CE} + R_E * (I_C + I_B) = 0$$

در نتیجه

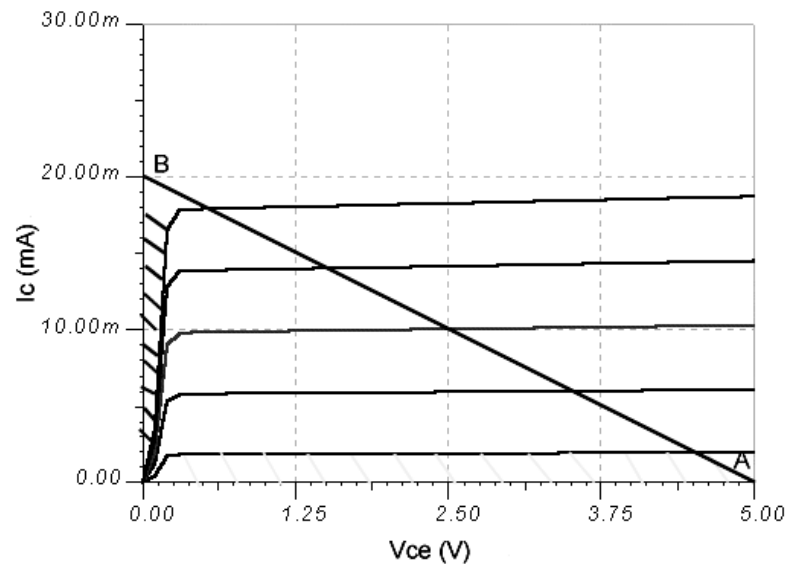
$$-V_{CC} + R_C * I_C + V_{CE} + R_E * \left( I_C + \frac{I_C}{\beta} \right) = 0$$

معادله فوق که یک معادله خط حاصل از دو متغیر  $V_{CE}$  و  $I_C$  می‌باشد، در شکل زیر نشان داده شده است.



### کاربرد به عنوان یک سوئیچ

برای درک نحوه ی عملکرد سویچینگ یک BJT باید نواحی کاری آن را شناخت (قطع، اشباع و فعال)



خط مورب رسم شده همان خط بار است.

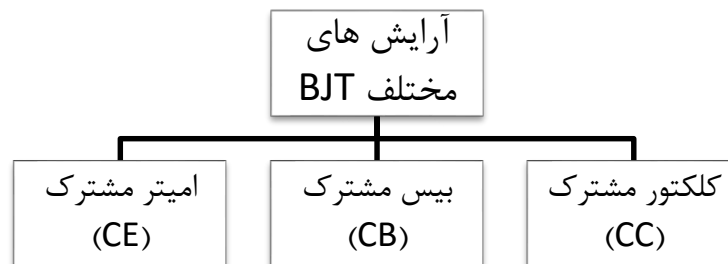
در ناحیه ی اشباع  $I_C$  ماکسیمم شده و  $V_{CE}$ ،  $0.2V$  است.

$$V_{CE(Sat.)} = 0.2V$$

$$V_{BE(ON)} = 0.7V$$

$$I_C = \beta I_B$$

## آرایش های مختلف BJT



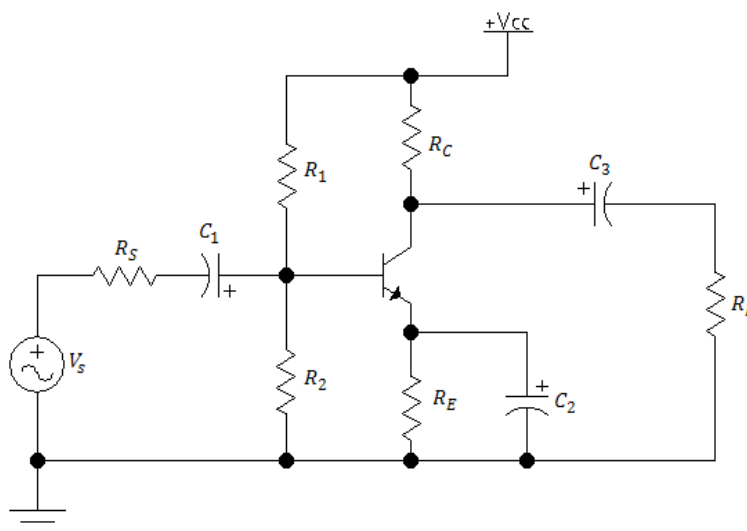
CE : ورودی به بیس اعمال می شود و خروجی از کلکتور گرفته می شود. (پایه سوم از نظر ac زمین می شود)

CB : ورودی به امیتر داده شده و خروجی از کلکتور گرفته می شود. (پایه ی سوم از نظر ac زمین می شود)

CC : ورودی به بیس داده شده و خروجی از امیتر گرفته می شود. (پایه ی سوم از نظر ac زمین می شود)

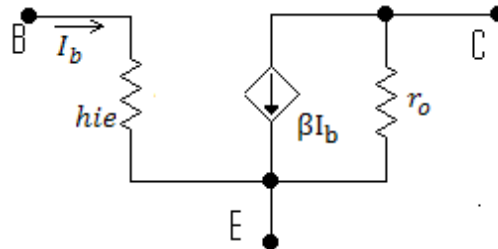
### مدار تقویت کننده امیتر مشترک

در شکل مدار تقویت کننده امیتر مشترک نشان داده شده است :

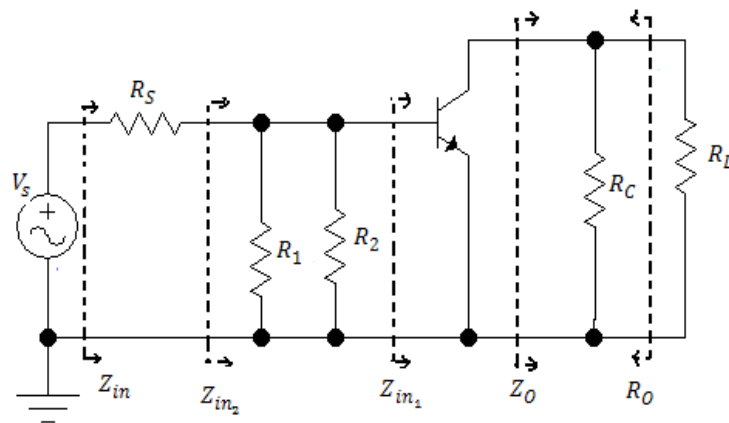


در این تقویت کننده سیگنال ورودی به بیس اعمال می شود و خروجی از کلکتور ترانزیستور گرفته می شود. خازن  $C_2$ ، خازن بای پاس و خازن های  $C_1$  و  $C_3$  خازن های کوپلاژ هستند که مولفه متناوب و مستقیم را از هم جدا می نماید.

برای تحلیل مدارهای تقویت کننده ترانزیستوری، مانند تحلیل dc، بجای ترانزیستور از مدار معادل ac آن استفاده می‌شود. مدار معادل ac ترانزیستور NPN در شکل زیر نشان داده شده است.



با اتصال کوتاه کردن خازن‌ها و خنثی کردن منبع تغذیه dc، مدار معادل ac تقویت کننده امپتر مشترک بصورت زیر بدست می‌آید.



در شکل بالا مقاومت‌های تونن دیده شده بصورت زیر می‌باشد:

$$\begin{cases} Z_{in1} = h_{ie} \\ Z_{in2} = (Z_{in1} \parallel R_1 \parallel R_2) \\ Z_{in} = R_s + Z_{in2} \end{cases} \quad \begin{cases} R_o = r_o \parallel R_C \\ Z_o = R_L \parallel R_C \end{cases}$$

بهره ولتاژ در شکل بصورت

$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_B} * \frac{V_B}{V_s}$$

می‌باشد. در مدار شکل روابط زیر برقرار می‌باشد:

$$\frac{V_o}{V_B} = -\beta \frac{\text{مقاومت دیده شده از کلکتور}}{\text{مقاومت دیده شده از بیس}} = -\beta \frac{Z_o}{Z_{in1}}$$

$$\frac{V_B}{V_S} = \frac{Z_{in2}}{R_S + Z_{in2}}$$

در نتیجه:

$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = -\beta \frac{Z_{in2}}{R_s + Z_{in2}} \frac{Z_o}{Z_{in1}}$$

بهره جریان مدار برابر

$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = \frac{i_o * R_L}{i_s * Z_{in}} = A_I \frac{R_L}{Z_{in}} \rightarrow A_I = A_v * \frac{Z_{in}}{R_L}$$

می باشد.

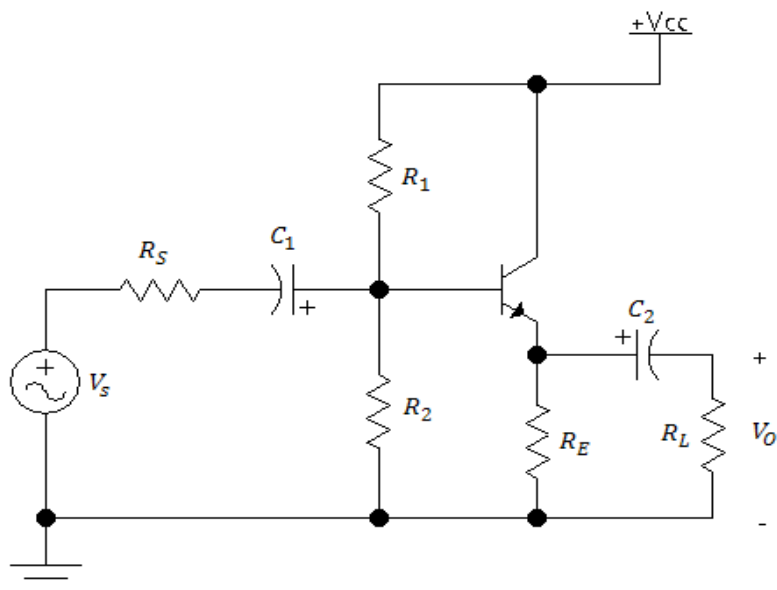
### نکات مهم در مورد تقویت کننده امیتر مشترک

- 1- تقویت کننده امیتر مشترک برای تقویت ولتاژ و جریان و توان بکار می رود.
- 2- تقویت کننده امیتر مشترک دارای امپدانس خروجی و ورودی متوسط است.
- 3- تقویت کننده امیتر مشترک دارای  $A_I$  و  $A_V$  زیاد است.
- 4- اضافه کردن  $R_E$  یا عدم وجود  $C_2$  باعث کاهش شدید  $A_V$  می شود.

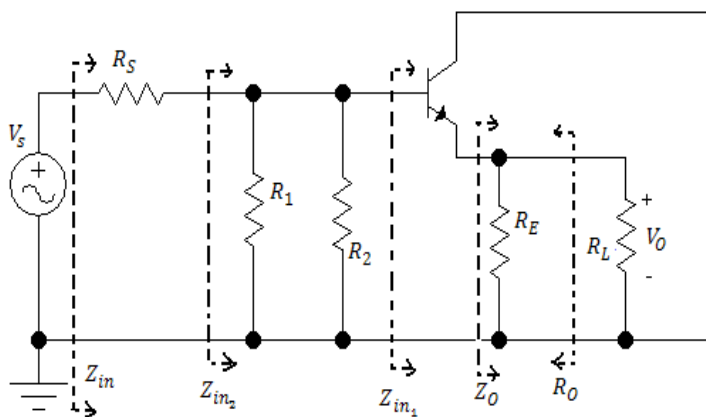


### تقویت کننده کلکتور مشترک

در شکل زیر مدار تقویت کننده کلکتور مشترک نشان داده شده است:



در این تقویت کننده سیگنال ورودی به بیس اعمال می شود و خروجی از امیتر ترانزیستور گرفته شده است. خازن های  $C_1$  و  $C_2$  خازن های کوپلاژ هستند که مولفه متناوب و مستقیم را از هم جدا می نماید. مدار معادل ac مدار فوق بصورت زیر می باشد:



در شکل بالا مقاومت های تونن دیده شده بصورت زیر می باشد:

$$\begin{cases} Z_{in1} = h_{ie} + (\beta + 1)(R_E \parallel R_L) \\ Z_{in2} = (Z_{in1} \parallel R_1 \parallel R_2) \\ Z_{in} = R_S + Z_{in2} \end{cases}$$

$$Z_O = R_L \parallel R_E$$

بهره ولتاژ بصورت

$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_B} * \frac{V_B}{V_s}$$

می باشد. در مدار روابط زیر برقرار می باشد:

$$\frac{V_o}{V_B} = \beta \frac{\text{مقاومت دیده شده از امیتر}}{\text{مقاومت دیده شده از بیس}} = \beta \frac{Z_o}{Z_{in1}}$$

$$\frac{V_B}{V_s} = \frac{Z_{in2}}{R_s + Z_{in2}}$$

در نتیجه:

$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = \beta \frac{Z_{in2}}{R_s + Z_{in2}} \frac{Z_o}{Z_{in1}}$$

بهره جریان مدار برابر

$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = \frac{i_o * R_L}{i_s * Z_{in}} = A_I \frac{R_L}{Z_{in}} \rightarrow A_I = A_v * \frac{Z_{in}}{R_L}$$

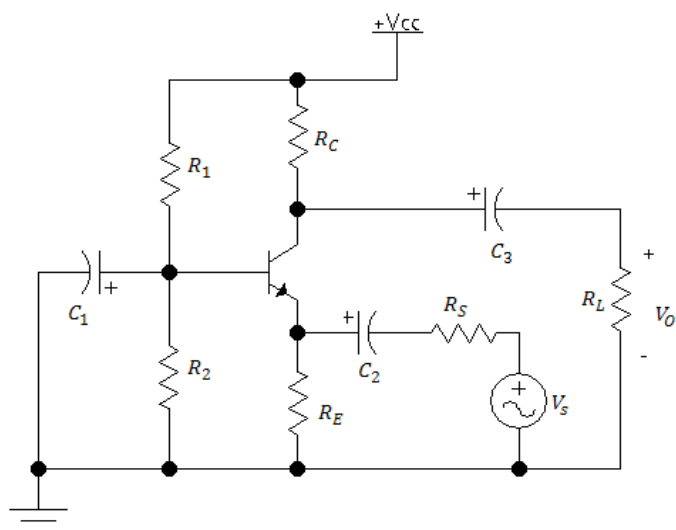
می باشد.

### نکات مهم در مورد تقویت کننده کلکتور مشترک

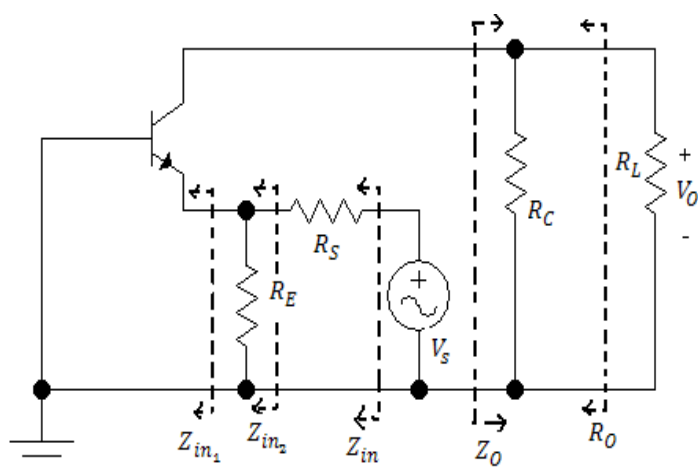
- 1- تقویت کننده کلکتور مشترک جهت تطبیق امپدانس و به عنوان بافر استفاده می شود.
- 2- امپدانس ورودی در این گرایش زیاد و امپدانس خروجی کم است.
- 3- این تقویت کننده دارای  $AV < 1$  و  $AI \gg 1$  است.
- 4- ولتاژ خروجی با ولتاژ ورودی هم فاز است.

## تقویت کننده بیس مشترک

در شکل زیر مدار تقویت کننده بیس مشترک نشان داده شده است :



در این تقویت کننده سیگنال ورودی به امیتر اعمال می شود و خروجی از کلکتور ترانزیستور گرفته شده است . خازن های  $C_1$  و  $C_3$  خازن های کوپلاژ هستند که مولفه متناوب و مستقیم را از هم جدا می نماید. مدار معادل ac مدار فوق بصورت زیر می باشد:



مقاومت های تونن دیده شده بصورت زیر می باشد:

$$\begin{cases} Z_{in1} = r_e \\ Z_{in2} = (Z_{in1} \parallel R_E) \\ Z_{in} = R_s + Z_{in2} \end{cases}$$

$$Z_o = R_L \parallel R_C$$

بهره ولتاژ بصورت

$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_E} * \frac{V_E}{V_s}$$

می باشد. در مدار شکل روابط زیر برقرار می باشد:

$$\frac{V_o}{V_E} = \alpha \frac{\text{مقاومت دیده شده از کلکتور}}{\text{مقاومت دیده شده از امیتر}} = \alpha \frac{Z_o}{Z_{in1}}, \quad \alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

9

$$\frac{V_E}{V_s} = \frac{Z_{in2}}{R_s + Z_{in2}}$$

در نتیجه:

$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = \alpha \frac{Z_{in2}}{R_s + Z_{in2}} \frac{Z_o}{Z_{in1}}$$

بهره جریان مدار شکل برابر مقدار زیر می باشد.

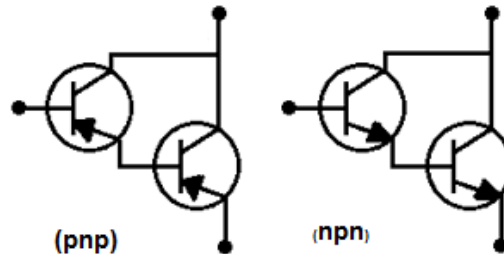
$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = \frac{i_o * R_L}{i_s * Z_{in}} = A_I \frac{R_L}{Z_{in}} \rightarrow A_I = A_v * \frac{Z_{in}}{R_L}$$

### نکات مهم در مورد تقویت کننده بیس مشترک

- 1- امپدانس ورودی این تقویت کننده کم و امپدانس خروجی آن متوسط است.
- 2- گین ولتاژ یا  $AV$  زیاد و گین جریانی کم و کوچکتر از یک است.
- 3- کاربرد آن به عنوان تقویت کننده فرکانس بالا به علت پهنای باند وسیع می باشد.
- 4- ولتاژ ورودی نسبت به ولتاژ خروجی هم فاز است.

## مدار دارلینگتون

از اتصال امیتر یک ترانزیستور به بیس دیگری همزمان با اتصال کلکتورهای آنها به یکدیگر زوج دارلینگتون تشکیل می شود. زوج دارلینگتون به دو صورت (npn) و (pnp) است که به صورت زیر است.



$$Z_i = \frac{V_b}{I_b} \cong R_e(1 + \beta_1)\beta_2$$

$$A_i(1 + \beta_1)\beta_2 = \frac{I_c}{I_b}$$

## ترانزیستورهای اثر میدان FET

FET یا ترانزیستور اثر میدانی یک عنصر کنترل شده با ولتاژ می باشد که در آن عامل ایجاد کننده جریان الکترون ها (در نوع n) و حفره ها (در نوع P) هستند.

ولتاژ بحرانی (Pinch-off): مقدار  $V_{GS}$  که اگر به JFET اعمال شود باعث مسدود شدن کامل کانال می شود و در این حالت  $I_D = 0$  می شود.

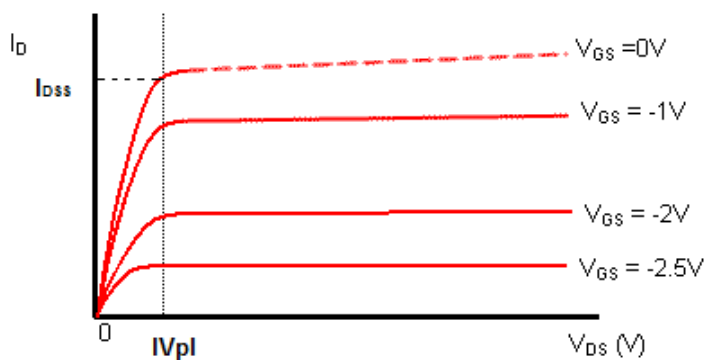
جریان درین سورس اشباع ( $I_{DSS}$ ): مقدار جریانی است که اگر دو شرط زیر برقرار باشد از کانال می گذرد و حداکثر مقدار مجاز جریان کانال است.

$$\begin{cases} V_{GS} = 0 \\ |V_{DS}| = |V_P| \end{cases} \rightarrow I_D = I_{DSS}$$

## منحنی مشخصه خروجی:

اگر تغییرات  $I_D$  بر حسب تغییرات  $V_{DS}$  رسم شود منحنی مشخصه خروجی حاصل می شود که در این حالت  $V_{GS}$  منحنی مختلفی حاصل می شود.

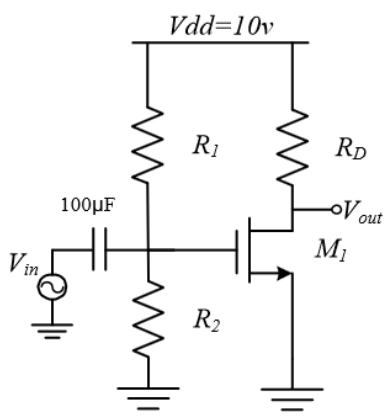
$$\begin{cases} V_{GS} = 0 \\ |V_{DS}| = |V_P| \end{cases} \rightarrow I_D = I_{DSS}$$



## تقویت کننده سورس مشترک

آرایش سورس مشترک یکی از مناسب ترین انتخاب ها برای طراحی تقویت کننده است که در شکل زیر مشاهده می شود.

اضافه کردن مقاومت  $R_S$  در سورس ترانزیستور پایداری نقطه بایاس را بهبود می بخشد، اما بهره ولتاژ مدار کم می شود.



$$A_V = \frac{V_O}{V_S} = \frac{-g_m \cdot (R_D \parallel R_{DS})}{1 + g_m \cdot R_S} \approx \frac{-g_m \cdot R_D}{1 + g_m \cdot R_S}$$

برای افزایش بهره  $R_S$  را برای سیگنال های AC صفر می کنیم به این صورت که مقاومت را توسط یک خازن نسبتاً بزرگ که در فرکانس کار مدار، امپدانس ناچیزی داشته باشد بای پس می کنیم. در این حالت می توان نوشت:

$$A_V = -g_m \cdot (R_D \parallel r_{DS}) \approx -g_m \cdot R_D$$

مقاومت خروجی این تقویت کننده برابر  $R_L \parallel r_{DS}$  است، مقدار  $r_{DS}$  در ناحیه Pinch Off بسیار بزرگ است

$$R_{out} \approx R_D$$

مقدار مقاومت ورودی تقویت کننده نیز از موازی کردن  $R_G$  با مقاومت ورودی J-FET بدست می آید.

مقاومت ورودی J-FET معمولاً بسیار بزرگ (در حدود  $10^9 \Omega$ ) است بنابراین این مقاومت ورودی تقریباً با  $R_G$  برابر است مقدار  $R_G$  معمولاً بزرگ انتخاب می شود تا امپدانس ورودی تقویت کننده زیاد باشد.

این موضوع یکی از مهمترین مزایای تقویت کننده های FET است که باعث می شود این مدارها برای تقویت سیگنال تولید شده توسط منابع با امپدانس بالا (مانند میکروفون) بسیار مناسب باشد.

### تقویت کننده درین مشترک

یکی از آرایش های رایج در تقویت کننده های FET، آرایش درین مشترک است. مدار این نوع تقویت کننده در شکل زیر دیده می شود. در این مدار  $R_S$  علاوه بر ایجاد بایاس تقویت کننده، سطح سیگنال AC را در خروجی افزایش می دهد.

$$A_V = \frac{g_m \cdot R_S}{1 + g_m \cdot R_S}$$

$$R_{in} = R_G$$

$$R_{out} = R_S \parallel \frac{1}{g_m} = \frac{R_S}{1 + g_m \cdot R_S}$$

همانطور که مشاهده می شود، بهره ولتاژ این مدار تقریباً برابر ۱، امپدانس ورودی آن بسیار زیاد و امپدانس خروجی آن کم است. این موضوع استفاده از این آرایش را در مدارهای تطبیق امپدانس و بافرها توجیه می کند.

مشخصات تقویت کننده سورس مشترک، درین مشترک و گیت مشترک به ترتیب با مشخصات تقویت کننده های امیتر مشترک، کلکتور مشترک و بیس مشترک مشابه می باشد.

## انواع کوپلاژ بین تقویت کننده ها:

### (1) کوپلاژ مستقیم:

اگر اتصال بین تقویت کننده ها به صورت مستقیم و بدون واسطه باشد اصطلاحاً کوپلاژ مستقیم نامیده می شود. در این نوع کوپلاژ تغییرات نقطه کار dc یک تقویت کننده که در اثر عوامل مختلف تغییر داشته (مانند حرارت) بر نقطه کار تقویت کننده های دیگر تاثیر می گذارد لذا مدار دارای پایداری حرارتی مناسبی نیست.

لازم به ذکر است که به دلیل ارتباط بدون واسطه دو تقویت کننده باهم فرکانس قطع پایین صفر می باشد و در این نوع کوپلاژ محدوده فرکانس های پایین خوب و مناسب تقویت می شود. همچنین در این نوع کوپلاژ قابلیت تقویت ولتاژ dc توسط تقویت کننده ها موجود است.

### (2) کوپلاژ RC یا خازنی :

اگر ارتباط dc ما بین تقویت کننده ها به وسیله خازن های کوپلاژ از بین برود و تقویت کننده ها نسبت به یکدیگر از لحاظ dc ایزوله باشند کوپلاژ از نوع RC یا خازنی می باشد.

توجه به اینکه امپدانس خازن های کوپلاژ در فرکانس های پایین کم می باشد لذا افت ولتاژ روی این خازن ها در فرکانس های پایین زیاد خواهد بود و بنابراین در این نوع کوپلاژ ولتاژهای dc ورودی قابل تقویت نمی باشند همچنین کاربرد این نوع کوپلاژ در تقویت کننده های توان پایین می باشد.

### (3) کوپلاژ ترانسفورمری:

اگر عامل ارتباط ما بین تقویت کننده ترانسفورمر باشد کوپلاژ از نوع ترانسفورمری می باشد. در این نوع کوپلاژ نیز ارتباط dc ما بین تقویت کننده ها وجود ندارد و تغییرات نقطه کار یک تقویت کننده بر دیگری اثر ندارد در این نوع کوپلاژ تطبیق امپدانس میان بار و تقویت کننده در حد مطلوبی می باشد. اما با توجه به حجیم و سنگین بودن ترانسفورمر و همچنین غیر اقتصادی بودن آن کاربرد زیادی ندارد.

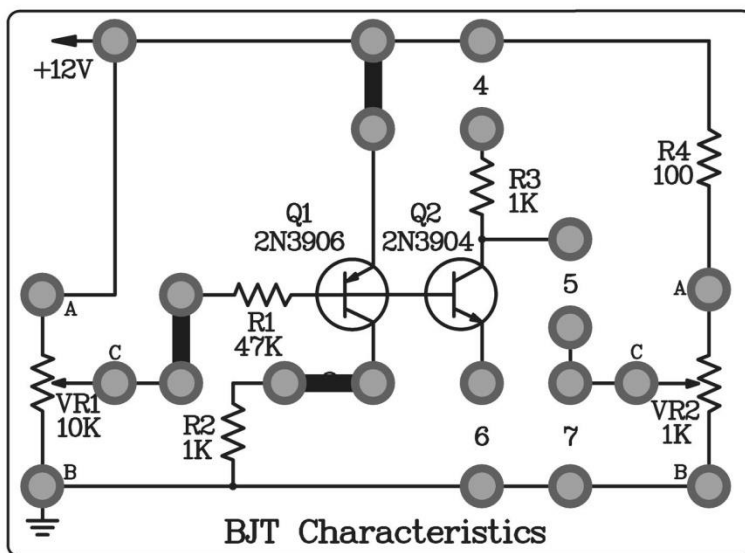
همچنین این نوع کوپلاژ دارای پاسخ فرکانسی مناسب نیست و فرکانس قطع بالا در این نوع کوپلاژ پایین می باشد. لازم به ذکر است که کاربرد این نوع کوپلاژ در تقویت کننده های توان بالا می باشد.



## آزمایش 22: مشخصه ترانزیستورهای BJT

مراحل آزمایش:

(1) بلوک دیاگرام مدار در BJT Characteristic در شکل زیر دیده می شود .



(2) به ورودی مدار ولتاژ 12V dc ، اعمال کنید .

(3) ولوم VR1 را با مقدار 10K درون مدار قرار دهید .

(4) در محل جامپرهای 1 و 2 و 3 آمپر متر قرار دهید.

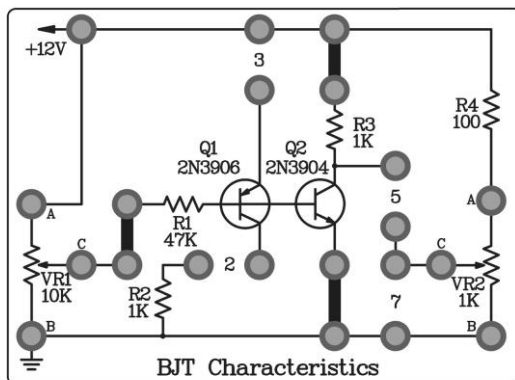
(5) با تغییر ولوم ، مقدار جریان کلکتور ، بیس و امیتر را اندازه گیری نمائید و مقادیر را در جدول زیر ثبت کنید .

$I_c$	$I_b$	$I_e$	$\beta = \frac{I_c}{I_b}$
3m	13.8 $\mu$	3m	217
$I_c(sat) = 11.7m$	100 $\mu$	11.7m	117

## آزمایش 23: مشخصه ترانزیستورهای BJT

مراحل آزمایش:

(1) بلوک دیاگرام مدار BJT Characteristic در شکل زیر دیده می شود .



(2) به ورودی مدار ولتاژ 12V dc ، اعمال کنید .

(3) ولوم VR1 را با مقدار 10K درون مدار قرار دهید .

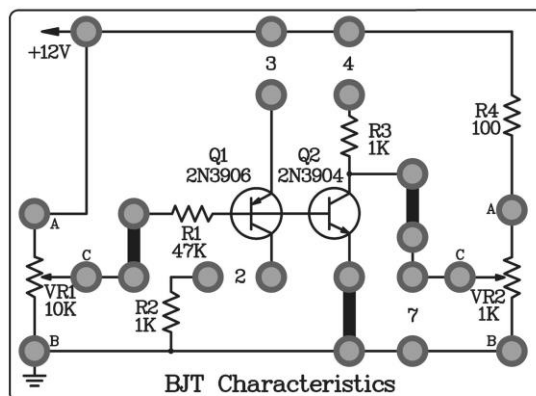
(4) در محل جامپرهای 1 و 4 و 6 آمپر متر قرار دهید.

(5) با تغییر ولوم ، مقدار جریان کلکتور ، بیس و امیتر را اندازه گیری نمائید و مقادیر را در جدول زیر ثبت کنید .

$I_c$	$I_b$	$I_e$	$\beta = \frac{I_c}{I_b}$
3m	8.2 $\mu$	3.05m	365
$I_c(sat) = 11.8m$	45 $\mu$	11.83m	264

(6) ولوم VR2 را با مقدار 1K درون مدار قرار دهید .

(7) در محل جامپرهای 1 و 5 آمپر متر قرار دهید و مدار را مطابق شکل کامل کنید .



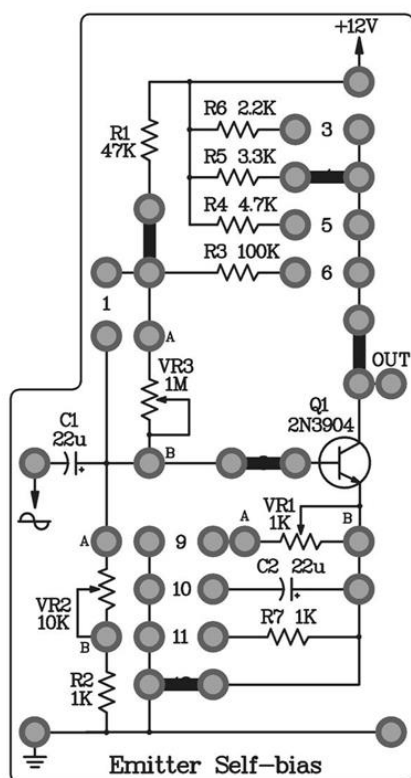
(8) با تغییر ولوم ، مقدار جریان کلکتور ، بیس و ولتاژ  $V_{ce}$  را اندازه گیری نمائید و مقادیر را در جدول زیر ثبت کنید .

	$V_{CE}$	0.1V	0.2V	0.3V	0.5V	0.7V	1.0V	3V	5V	max
$I_C$	$I_B = 0\mu$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$I_B = 10\mu$	$9\mu$	$17.4\mu$	1.3m	3.7m	3.7m	3.7m	3.8m	7.9m	4.1m
	$I_B = 20\mu$	$9.9\mu$	$18.6\mu$	1.46m	6.9m	6.9m	7m	7.3m	7.6m	8.2m
	$I_B = 30\mu$	$13\mu$	1.1m	8.8m	10m	10m	10.1m	10.7m	11.3m	12.2m
	$I_B = 40\mu$	$11.32\mu$	1.33m	10.8m	12.2m	13.2m	13.9m	14.6m	15.5m	17.6m

## آزمایش 24: تقویت کننده امیتر مشترک

مراحل آزمایش:

(1) بلوک دیاگرام مدار Emitter self-bias در شکل زیر دیده می شود.



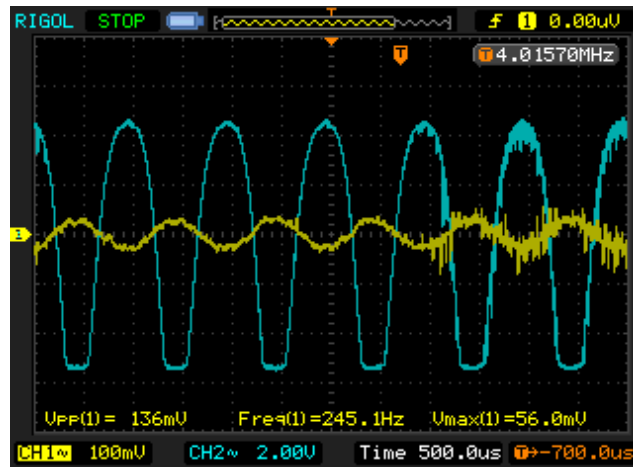
(2) ابتدا فقط ولتاژ 12V dc، را به مدار اعمال کنید.

(3) ولوم VR3 را با مقدار 1M درون مدار قرار دهید.

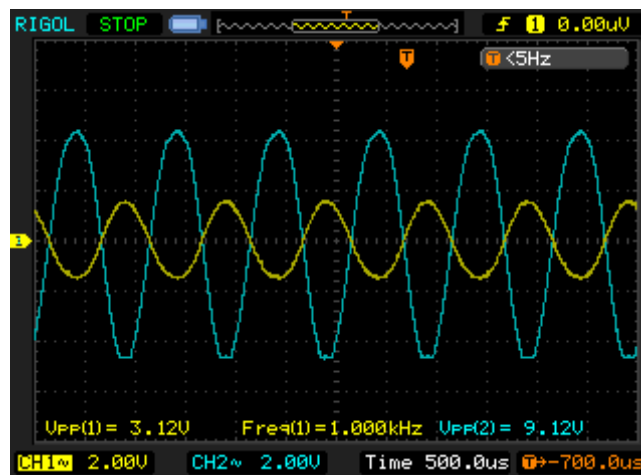
(4) در محل جامپرهای 8 و 7 آمپر متر قرار دهید و ولتاژ  $V_{CE}$  را نیز با مولتی متر اندازه بگیرید.(5) با تغییر ولوم، مقدار جریان کلکتور، بیس ولتاژ  $V_{BE}$  و  $V_{CE}$  را اندازه گیری نمایید و مقادیر را در جدول زیر ثبت کنید

$I_b$	$I_c$	$V_{CE}$	$V_{BE}$
10.4μ	3.5m	0.65V	0.66V
12.45μ	$I_c(sat) = 3.48m$	0.2V	0.674V
0.2m	$I_c(max) = 3.52m$	0.049V	0.691V

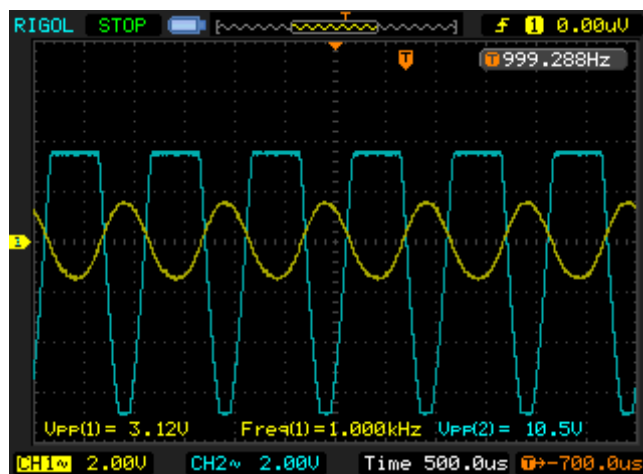
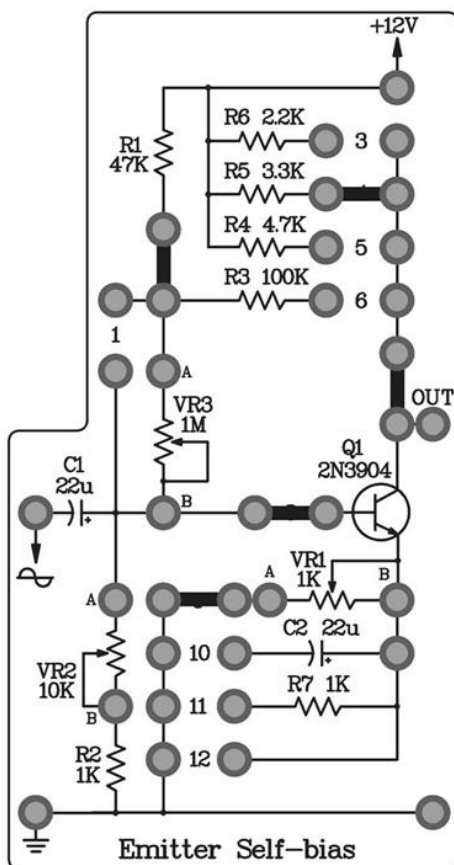
(6) سپس یک سیگنال سینوسی با فرکانس 1KHz به ورودی مدار اعمال کنید و ولوم را تا انتها بچرخانید. به وسیله اسیلوسکوپ سیگنال ورودی و خروجی را مشاهده کنید.



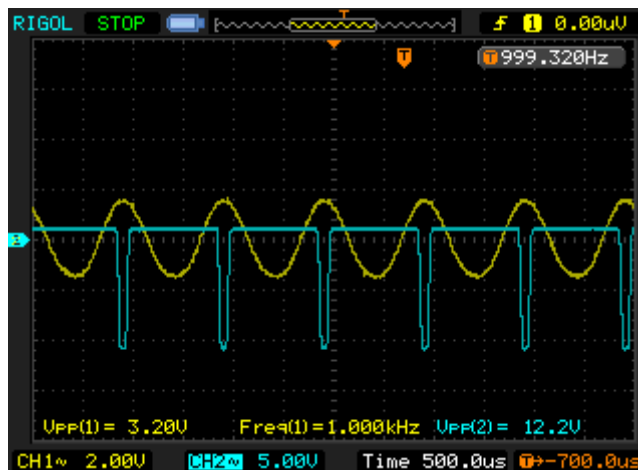
(7) جامپر شماره 11 را قرار دهید تا مقاومت R7 وارد مدار شود. به وسیله اسیلوسکوپ سیگنال ورودی و خروجی را مشاهده کنید.



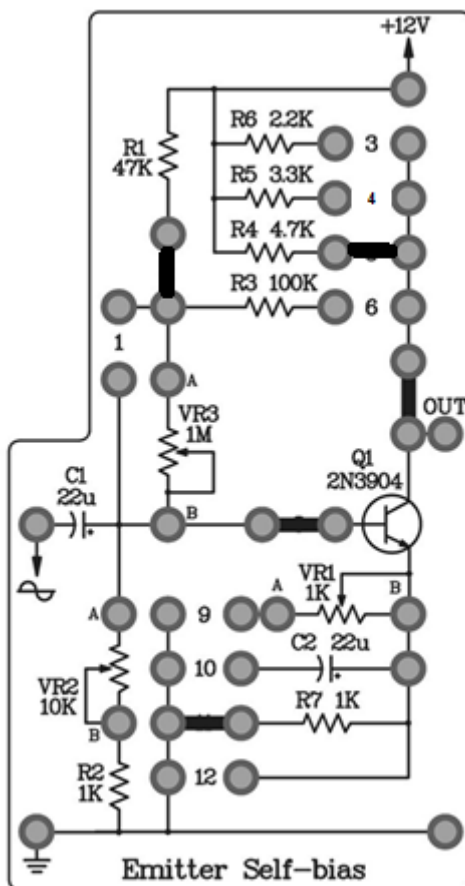
(8) این بار به جای جامپر شماره 11، جامپر شماره 9 را قرار دهید تا ولوم VR1 با مقدار 1k وارد مدار شود. حال با چرخاندن ولوم تغییرات را در سیگنال خروجی مشاهده کنید. ولوم VR1 را در حالت وسط قرار داده و به وسیله اسیلوسکوپ سیگنال ورودی و خروجی را ثبت کنید.



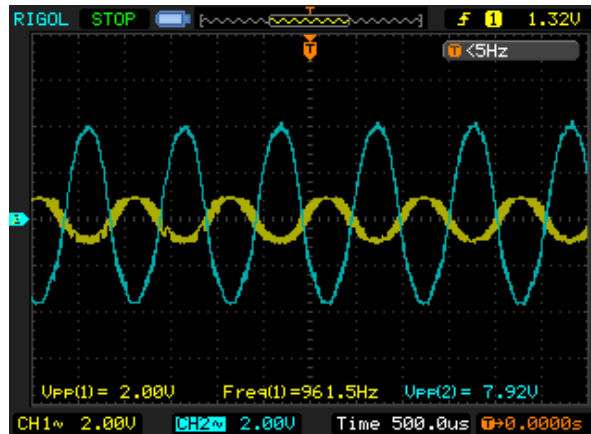
(9) ولوم VR1 را صفر کنید و به وسیله اسیلوسکوپ سیگنال ورودی و خروجی را ثبت کنید .



(10) مدار را مطابق بلوک دیاگرام شکل زیر ببندید و جامپرهای 5 و 8 و 11 و ولوم VR2 را با مقدار 10K را در مدار قرار دهید.



(11) یک سیگنال سینوسی با فرکانس 1KHz به ورودی مدار اعمال کنید و ولوم را تا انتها بچرخانید . به وسیله اسیلوسکوپ سیگنال ورودی و خروجی را مشاهده کنید .



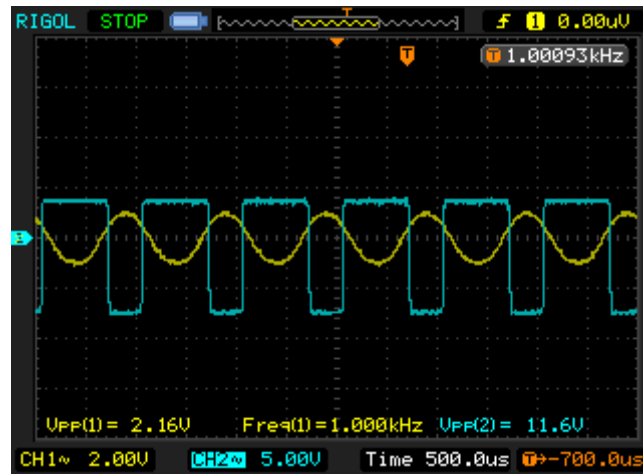
(12) در محل جامپرهای 8 و 7 آمپر متر قرار دهید و ولتاژ  $V_{CE}$  را نیز با مولتی متر اندازه بگیرید .

(13) با تغییر ولوم ، مقدار جریان کلکتور ، بیس ولتاژ  $V_{BE}$  و  $V_{CE}$  را اندازه گیری نمائید و مقادیر را در جدول زیر ثبت کنید

	$I_b$	$I_c$	$V_{CE}$	$V_{BE}$
DC	4 $\mu$	1.236m	6.21V	0.61V
AC	3 $\mu$	0.658m		



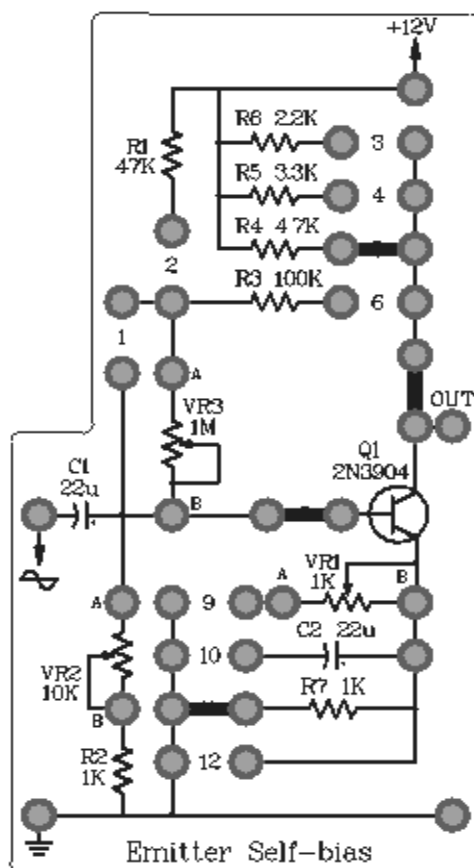
14) جامپر شماره 10 را قرار دهید تا خازن C2 وارد مدار شود. به وسیله اسیلوسکوپ سیگنال ورودی و خروجی را مشاهده کنید.



15) با تغییر ولوم، مقدار جریان کلکتور، بیس ولتاژ  $V_{BE}$  و  $V_{CE}$  را اندازه گیری نمائید و مقادیر را در جدول زیر ثبت کنید

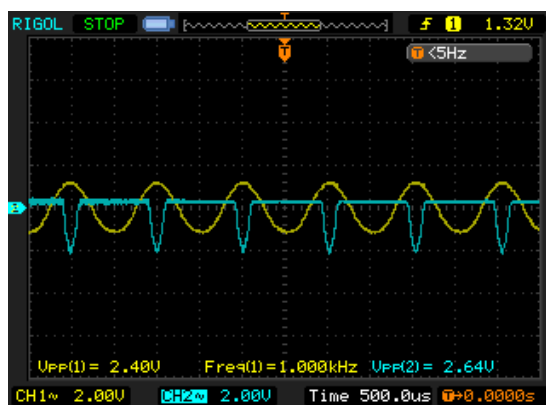
	$I_b$	$I_c$	$V_{CE}$	$V_{BE}$
DC	97.2 $\mu$	0.811m	9.02V	-0.027V
AC	1.9m	0.658m		

16) مدار را مطابق بلوک دیاگرام شکل زیر ببندید و جامپرهای 5 و 8 و 11 را در مدار قرار دهید .



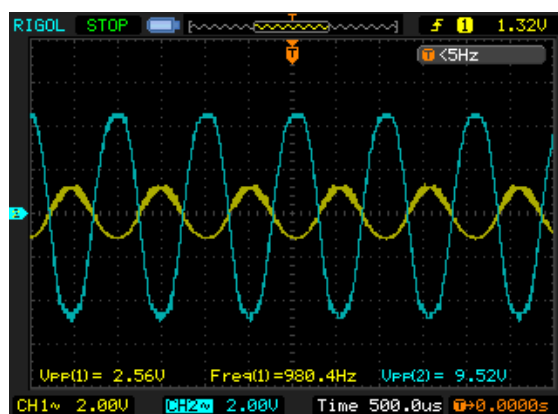
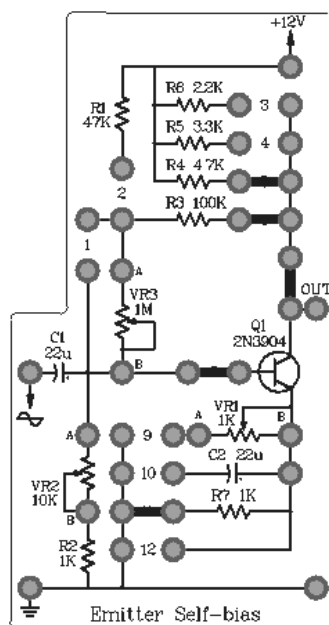
17) یک سیگنال سینوسی با فرکانس 1KHz به ورودی مدار اعمال کنید و به وسیله اسیلوسکوپ سیگنال ورودی و خروجی را

مشاهده کنید. (بدون فیدبک)



(18) جامپرهای 6 و ولوم VR1 را با مقدار 1M را در مدار قرار دهید تا فیدبک برقرار شود و مرحله 16 را تکرار نمایید. (با

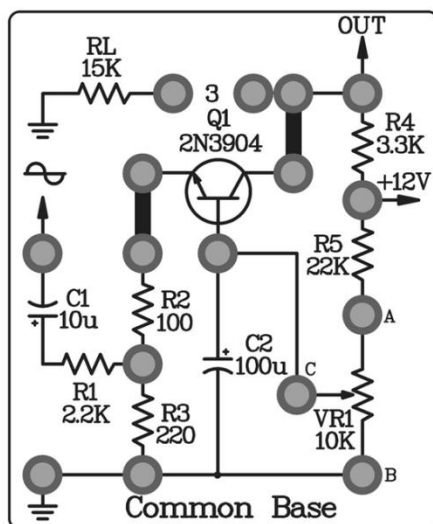
فیدبک )



## آزمایش 25: تقویت کننده بیس مشترک

مراحل آزمایش:

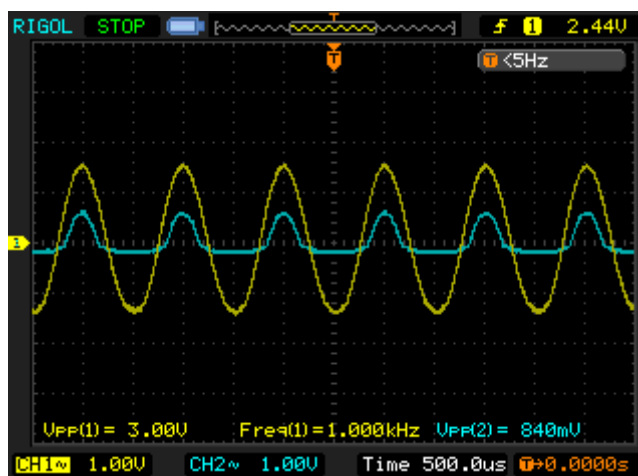
(1) بلوک دیاگرام مدار Common Base در شکل زیر دیده می‌شود.



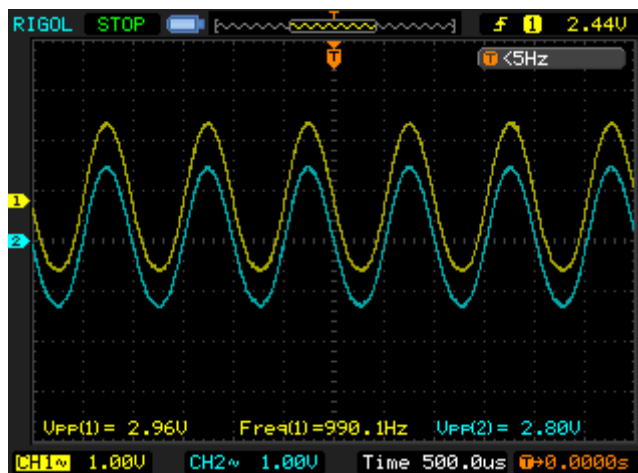
(2) ولتاژ 12V dc و یک سیگنال سینوسی با فرکانس 1KHz به مدار اعمال کنید.

(3) ولوم VR1 را با مقدار 10K درون مدار قرار دهید.

(4) با تغییر ولوم VR1 به وسیله اسیلوسکوپ سیگنال ورودی و خروجی را مشاهده کنید.



مینیمم مقدار



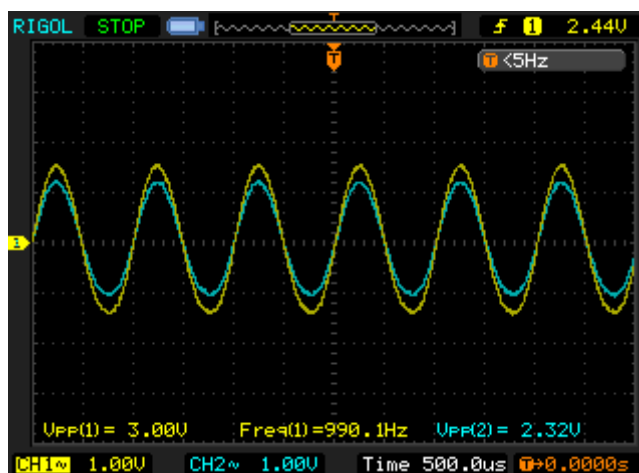
حد وسط

(5) در محل جامپرهای 1 و 2 آمپرتر قرار دهید و ولتاژ  $V_{BE}$  و  $V_C$  را نیز با مولتی متر اندازه بگیرید .

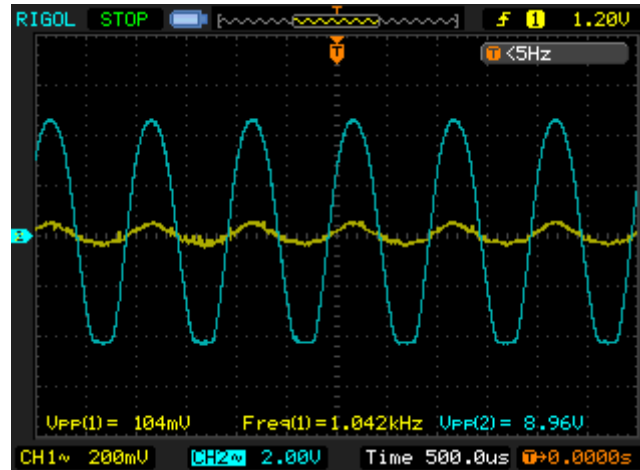
(6) با تغییر ولوم ، مقدار جریان کلکتور ، بیس و ولتاژ  $V_{BE}$  و  $V_C$  را اندازه گیری نمائید و مقادیر را در جدول زیر ثبت کنید .

	$I_E$	$I_C$	$V_C$	$V_{BE}$
DC	2.09m	2.1m	5.32V	0.64V
AC	0.29m	0.32m		

(7) جامپر شماره 3 را قرار دهید تا مقاومت  $R_L$  وارد مدار شود . به وسیله اسیلوسکوپ سیگنال ورودی و خروجی را مشاهده کنید. (اثر بارگذاری)



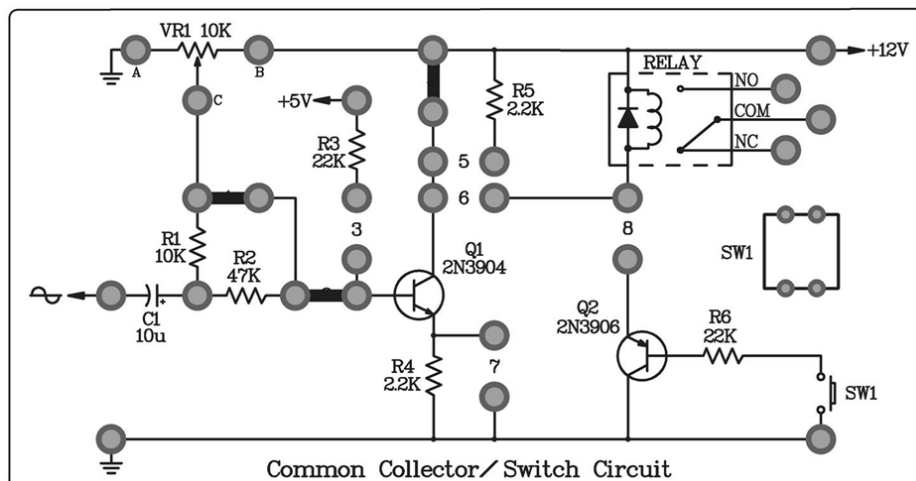
(8) در همان حالت قبل سیگنال ورودی را جدا کرده و مستقیماً به پین متصل به امیتر ترانزیستور اعمال کنید ولوم VR1 را تغییر دهید تا سیگنال خروجی از اشباع خارج شود. به وسیله اسیلوسکوپ سیگنال ورودی و خروجی را مشاهده کنید.  
(حذف مقاومت ورودی)



## آزمایش 26: تقویت کننده کلکتور مشترک

مراحل آزمایش:

(1) بلوک دیاگرام مدار Common Collector در شکل زیر دیده می شود .



(2) ولتاژ 12V dc به مدار اعمال کنید .

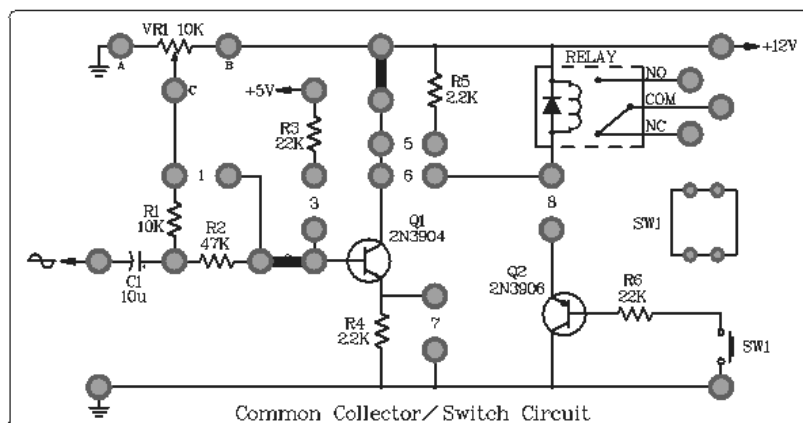
(3) ولوم VR1 را با مقدار 10K درون مدار قرار دهید .

(4) ولتاژ VE و VB را نیز با مولتی متر اندازه بگیرید .

(5) با تغییر ولوم ، مقدار ولتاژ VE و VB را اندازه گیری نمائید و مقادیر را در جدول زیر ثبت کنید .

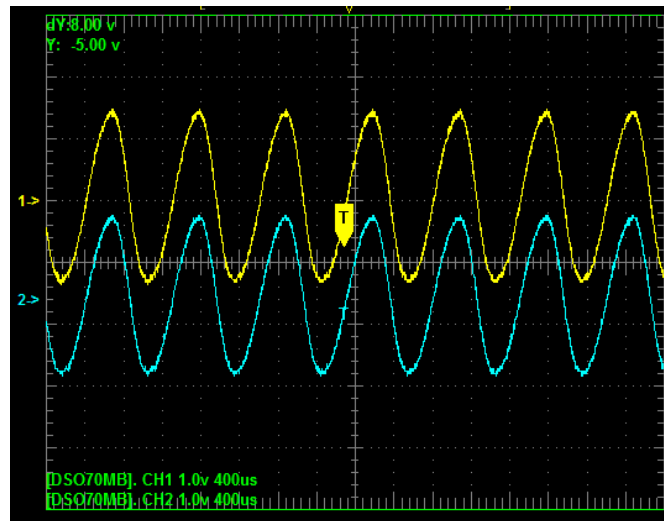
VB	2V	3V	4V	5V
VE	1.48V	2.41V	3.43V	4.44V

(6) جامپر را مطابق شکل زیر در بلوک Common Collector قرار دهید .



(7) ولتاژ 12V dc و یک سیگنال سینوسی با فرکانس 1KHz به مدار اعمال کنید .

(8) با تغییر ولوم VR1 به وسیله اسیلوسکوپ سیگنال ورودی و خروجی را مشاهده کنید .

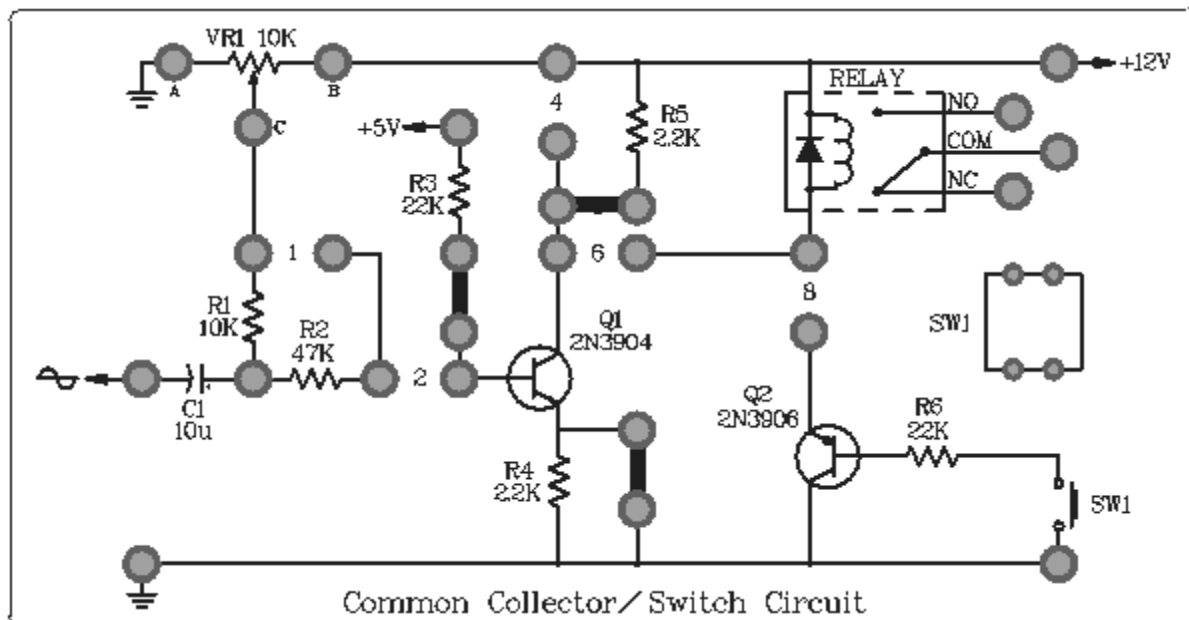




## آزمایش 27: مدار سوئیچ (ناحیه قطع و اشباع)

مراحل آزمایش:

(1) بلوک دیاگرام مدار Common Collector در شکل زیر دیده می‌شود.



(2) ولتاژ 5V dc به پین ورودی و ولتاژ 12V dc به  $V_{CC}$  مدار اعمال کنید.

(3) در محل جامپرهای 3 و 5 آمپر متر قرار دهید و ولتاژ  $V_{BE}$  و  $V_{CE}$  را نیز با مولتی متر اندازه بگیرید.

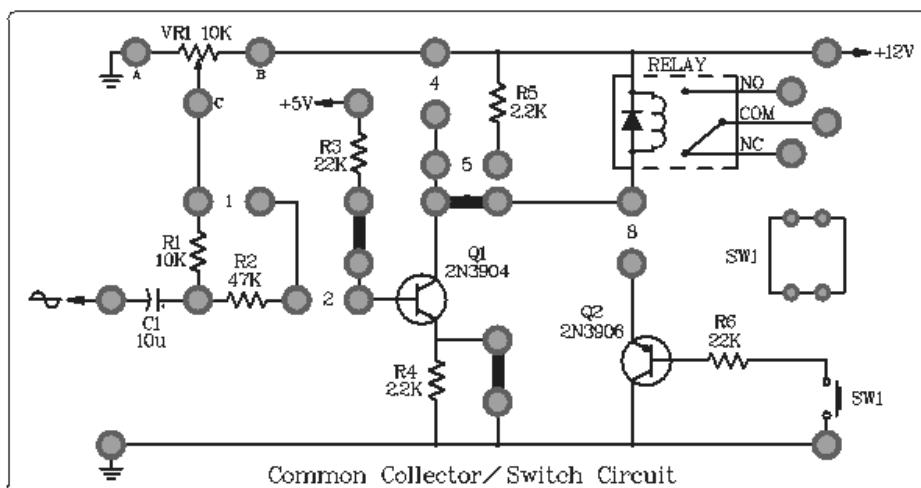
(4) مقدار جریان کلکتور، بیس و ولتاژ  $V_{BE}$  و  $V_{CE}$  را در دو حالت قطع و اشباع اندازه گیری نمایید و مقادیر را در جدول زیر ثبت کنید.

	$I_B$	$I_C$	$V_{CE}$	$V_{BE}$
اشباع	0.2m	5.5m	0.07V	0.69V
قطع	0	0	11.9V	-0.6V

## آزمایش 28: مدار سوئیچ (فعال کردن رله با ترانزیستور)

مراحل آزمایش:

(1) بلوک دیاگرام مدار Switch Circuit در شکل زیر دیده می شود .



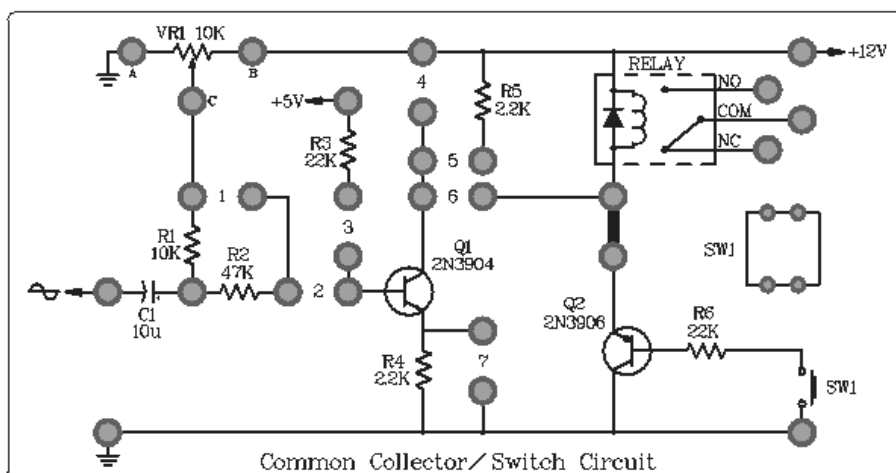
(2) ولتاژ 12V dc به  $V_{CC}$  مدار اعمال کنید .

(3) سپس به پین ورودی مدار ولتاژ 5V dc اعمال و سپس جدا کنید تغییر حالت رله را مشاهده نمایید و ولتاژ  $V_{BE}$  و

$V_{CE}$  را نیز با مولتی متر اندازه بگیرید مقادیر را در جدول زیر ثبت کنید .

رله	$V_{CE}$	$V_{BE}$
روشن	0.23V	0.69V
خاموش	12V	-0.6V

(4) جامپرها را مطابق شکل زیر در بلوک Switch Circuit قرار دهید .



(5) ولتاژ 12V dc را به مدار اعمال کنید .

(6) کلید SW1 را فشار دهید و تغییرات را در رله مشاهده کنید .

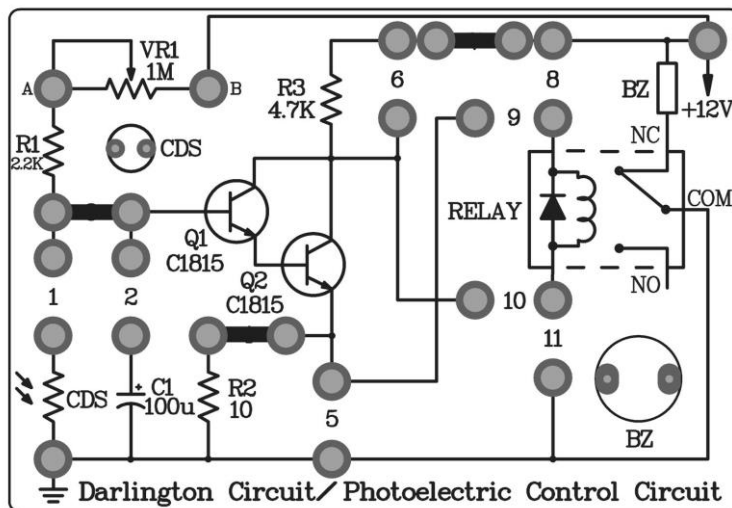
(7) ولتاژ  $V_{BE}$  و  $V_{CE}$  را نیز با مولتی متر اندازه بگیرید مقادیر را در جدول زیر ثبت کنید .

رله	$V_{CE}$	$V_{EB}$
روشن	3.2V	0.7V
خاموش	11.89V	-2.3V

## آزمایش 29 : مدار دارلینگتون

مراحل آزمایش:

(1) بلوک دیاگرام مدار Darlington Circuit در شکل زیر دیده می شود .



(3) ولتاژ 12V dc به Vcc مدار اعمال کنید .

(4) در محل جامپرهای 3و7 آمپرتر قرار دهید و ولتاژ VB را نیز با مولتی متر اندازه بگیرید.

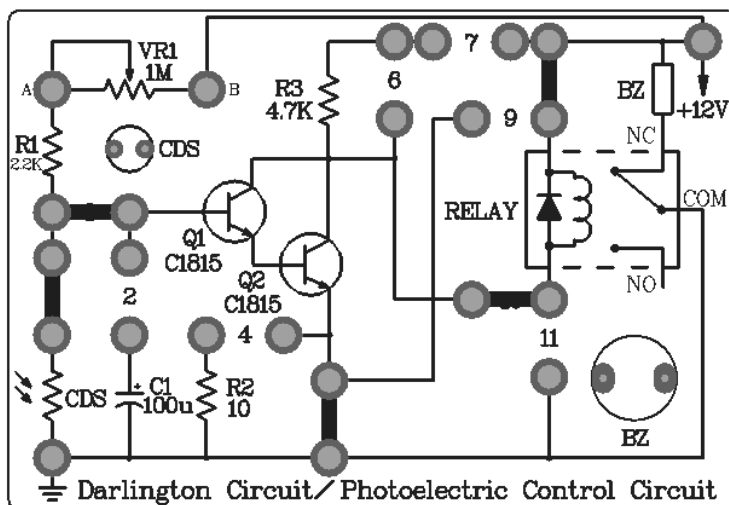
(5) با تغییر ولوم VR1 مقدار جریان کلکتور ، بیس و ولتاژ VB را اندازه گیری نمائید و مقادیر را در جدول زیر ثبت کنید .

$$Z_i = \frac{V_b}{I_b} \cong R_e(1 + \beta_1)\beta_2$$

$$A_i(1 + \beta_1)\beta_2 = \frac{I_c}{I_b}$$

	$I_B$	$I_C$	$V_B$
VR1 max	10 $\mu$	2.44m	1.19V
VR1 min	4.7m	2.42m	1.5V

(6) جامپرها را مطابق شکل زیر در بلوک Switch Circuit قرار دهید .



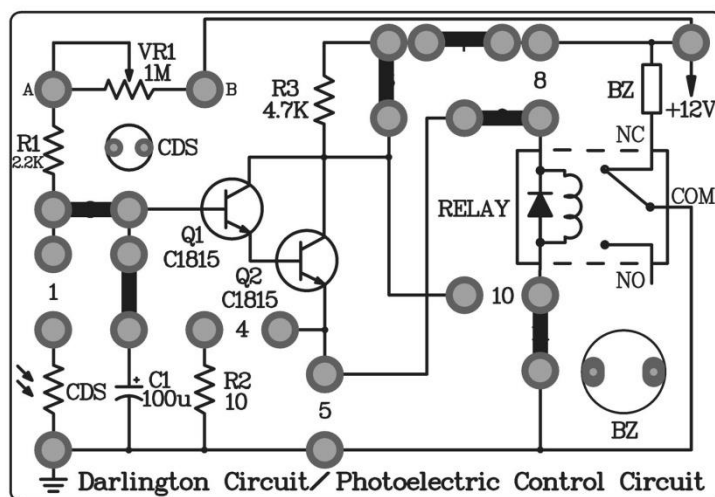
(7) ولتاژ 12V dc را به مدار اعمال کنید .

(8) ولوم VR1 را در حد وسط قرار دهید.

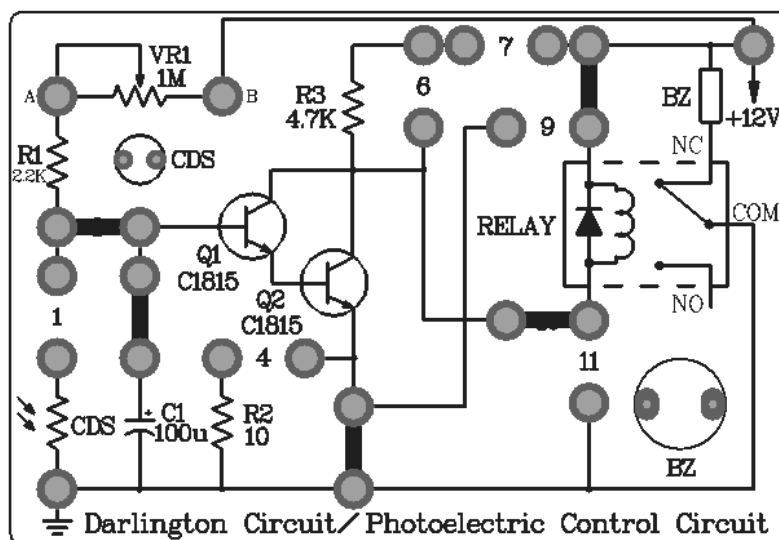
(9) به SCR نور بتابانید و تغییرات را در رله مشاهده کنید .

(10) جامپرها را مطابق شکل زیر در بلوک Switch Circuit قرار دهید . و تغییرات را در رله مشاهده کنید .

(11) نقش خازن C1 را در مدار زیر شرح دهید.



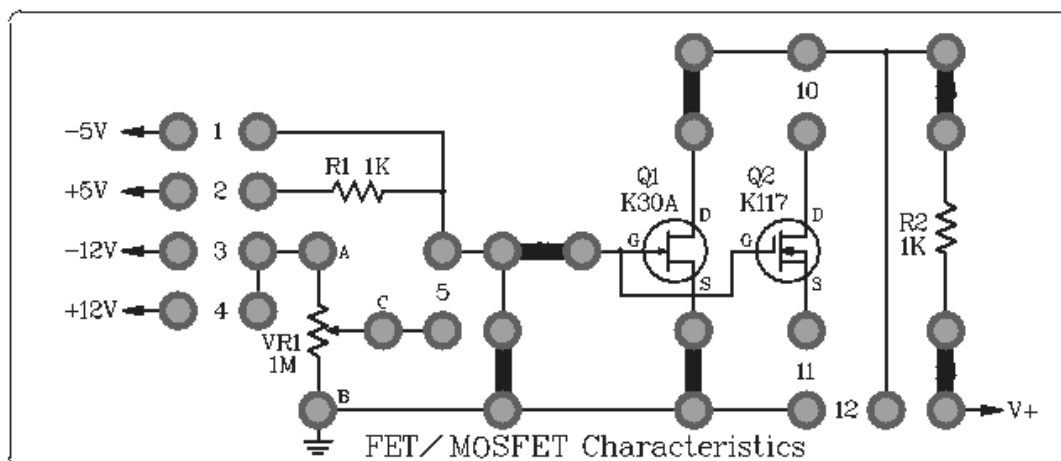
(12) جامپرها را مطابق شکل زیر در بلوک Switch Circuit قرار دهید. و تغییرات را در رله مشاهده کنید.



## آزمایش 30: مشخصه ترانزیستورهای JFET

مراحل آزمایش:

(1) بلوک دیاگرام مدار FET/MOSFET Characteristic در شکل زیر دیده می شود .

(2) به پین  $V+$  مدار ولتاژ  $0-20\text{ V dc}$  اعمال کنید .

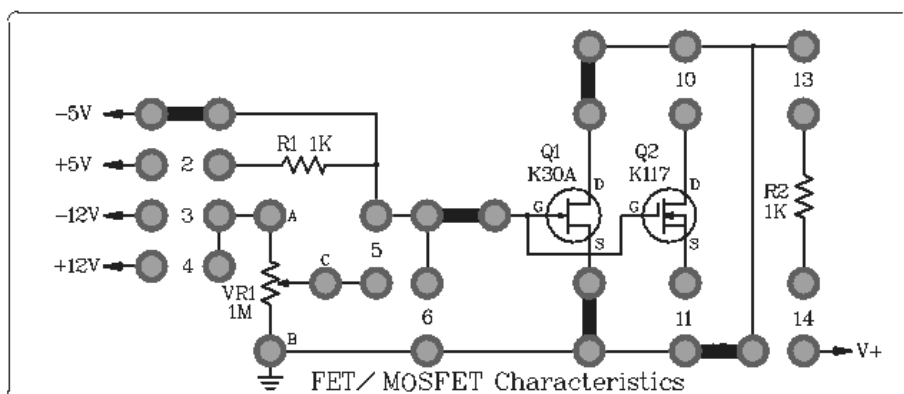
(3) در محل جامپرهای 7 و 13 آمپرتر قرار دهید.

(4) با تغییر ولوم ولتاژ ، مقدار جریان درین ، گیت را اندازه گیری نمائید و مقادیر را در جدول زیر ثبت کنید .

V	$I_G$	$I_D$
3V	0	2.6m
4V	0	3.5m
5V	0	4.3m
6V	0	5m
7V	0	5.8m
9V	0	7.4m
12V	0	9.4m
15V	0	10.4m
18V	0	10.6m

(5) جامپرهای را مطابق شکل زیر در بلوک FET/MOSFET Characteristic قرار دهید .

(6) در محل جامپر 7 آمپرتر قرار دهید و مدار را مطابق شکل کامل کنید. به ترتیب ولتاژ  $-5V$  و  $+5V$  به مدار اعمال کنید.



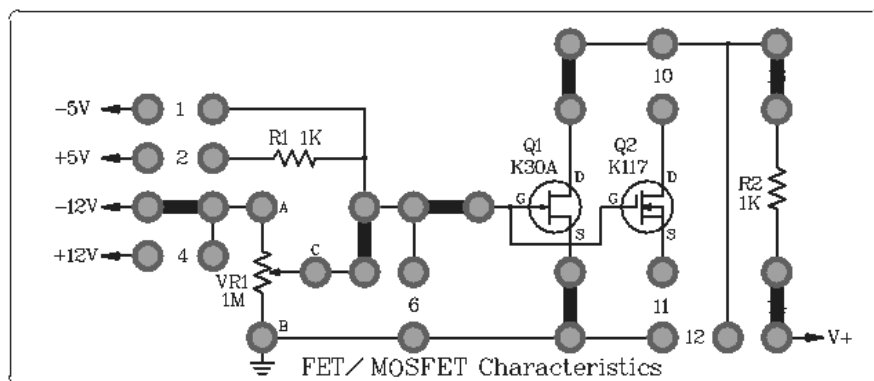
(7) مقدار جریان گیت و ولتاژ  $V_{gs}$  را اندازه گیری نمائید و مقادیر را در جدول زیر ثبت کنید.

$V_{in}$	$V_{gs}$	$I_g$
+5V	1.3	3.7m
-5V	-5	0

(8) جامپرهای را مطابق شکل زیر در بلوک FET/MOSFET Characteristic قرار دهید.

(9) در محل جامپر 7 و 13 آمپرتر قرار دهید و مدار را مطابق شکل کامل کنید. ولتاژ  $-12V$  به پین ورودی و  $+12V$  به

$V_{cc}$  مدار اعمال کنید.



(10) ولوم  $VR1$  را با مقدار 1M درون مدار قرار دهید.

(11) با تغییر ولوم  $VR1$  در مقدار جریان  $I_D = 0$  و ولتاژ  $V_{gs}$  را اندازه گیری نمائید و مقادیر را در جدول زیر ثبت کنید.

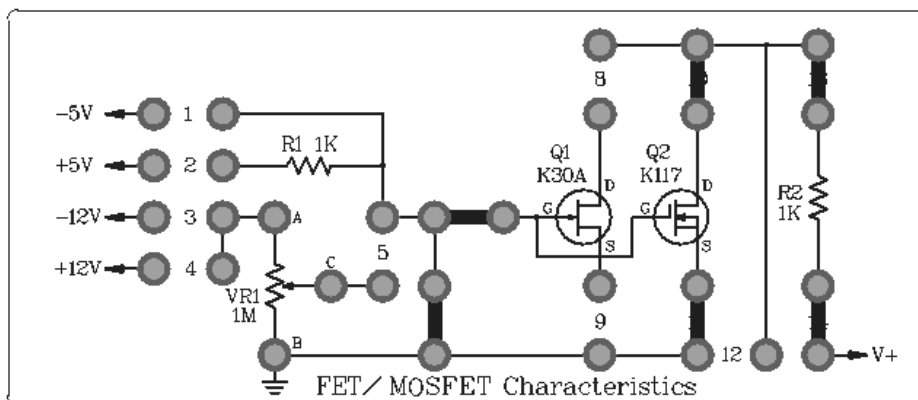
$V_{gs}=V_P$	$I_D$
-3.6V	0



## آزمایش 31: مشخصه ترانزیستورهای MOSFET

مراحل آزمایش:

(1) بلوک دیاگرام مدار FET/MOSFET Characteristic در شکل زیر دیده می شود .



(2) به پین  $V+$  مدار ولتاژ 0-20 V dc اعمال کنید .

(3) در محل جامپرهای 7 و 13 آمپر متر قرار دهید.

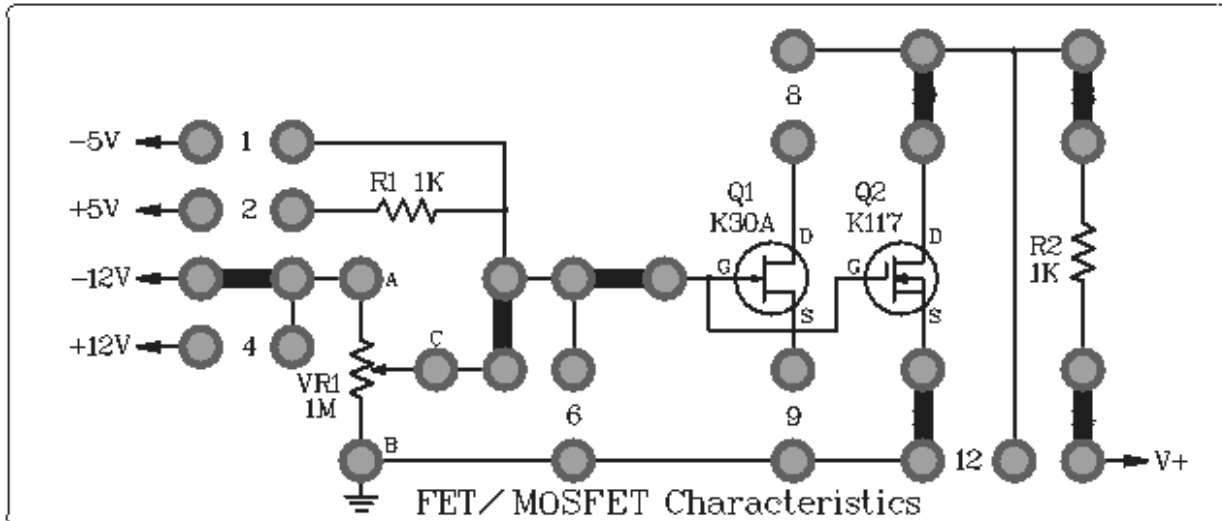
(4) با تغییر ولوم ولتاژ ، مقدار جریان درین ، گیت را اندازه گیری نمائید و مقادیر را در جدول زیر ثبت کنید .

V	$I_G$	$I_D$
3V	0	2.8m
4V	0	3.7m
5V	0	4.6m
6V	0	5.3m
7V	0	5.9m
9V	0	6.5m
12V	0	6.6m
15V	0	6.7m
18V	0	6.8m

(5) جامپرها را مطابق شکل زیر در بلوک FET/MOSFET Characteristic قرار دهید.

(6) در محل جامپر 7 و 13 آمپر متر قرار دهید و مدار را مطابق شکل کامل کنید. ولتاژ  $-12V$  به پین ورودی و  $+12V$  به

$V_{CC}$  مدار اعمال کنید.



(7) ولوم  $VR1$  را با مقدار  $1M$  درون مدار قرار دهید.

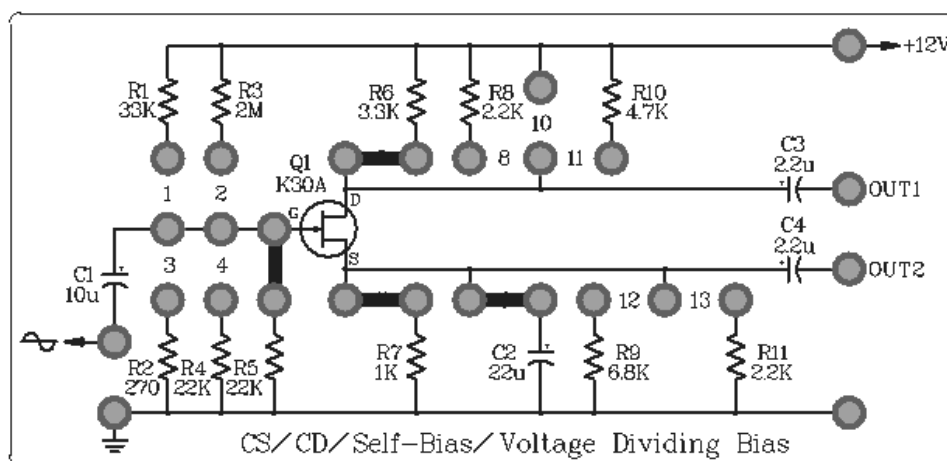
(8) با تغییر ولوم  $VR1$  در مقدار جریان  $I_D = 0$  و ولتاژ  $V_{GS}$  را اندازه گیری نمائید و مقادیر را در جدول زیر ثبت کنید.

$V_{GS} = V_P$	$I_D$
$-0.7V$	0

## آزمایش 32: تقویت کننده سورس مشترک

مراحل آزمایش:

(1) بلوک دیاگرام مدار Common source(CS) در شکل زیر دیده می شود .

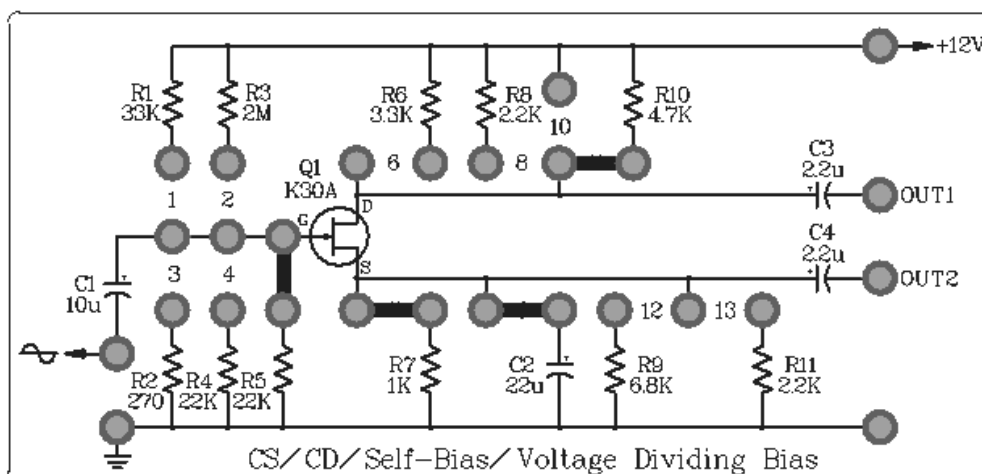


(2) ولتاژ 12V dc به مدار اعمال کنید .

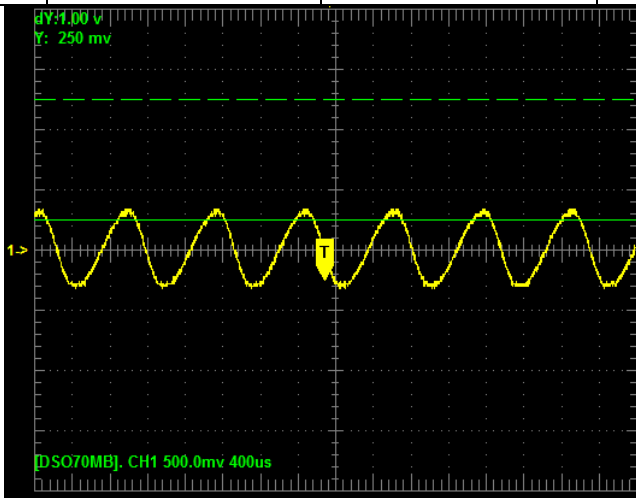
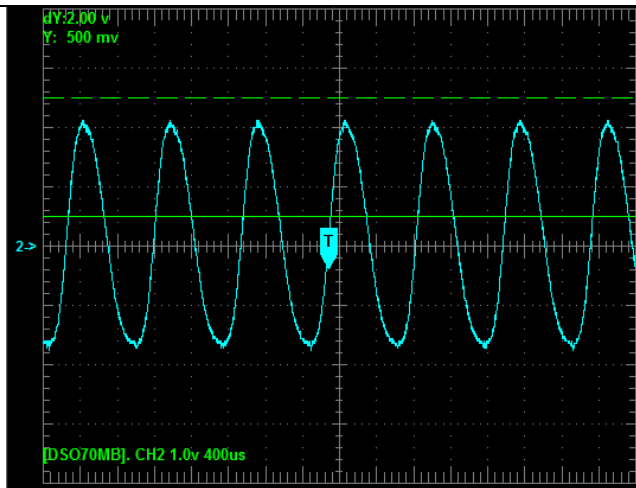
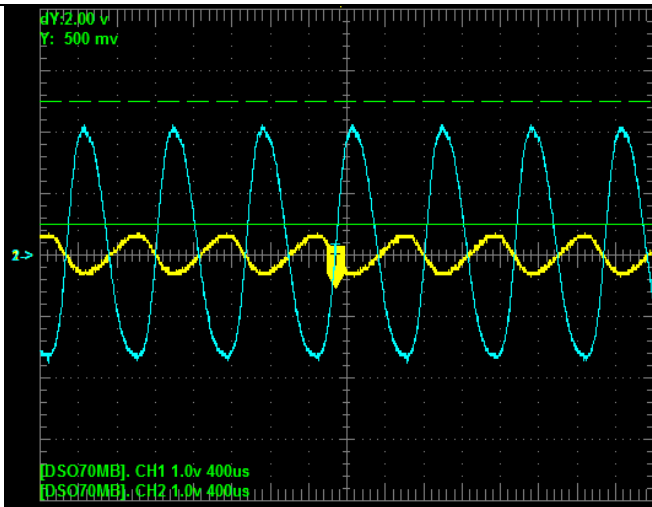
(3) ولتاژ  $V_{DS}$  و  $V_{GS}$  و  $V_D$  را نیز با مولتی متر اندازه بگیرید . و مقادیر را در جدول ثبت کنید .در این حالت که بایاس سرخود است داریم:  $V_{GS} = -R_S I_D$ 

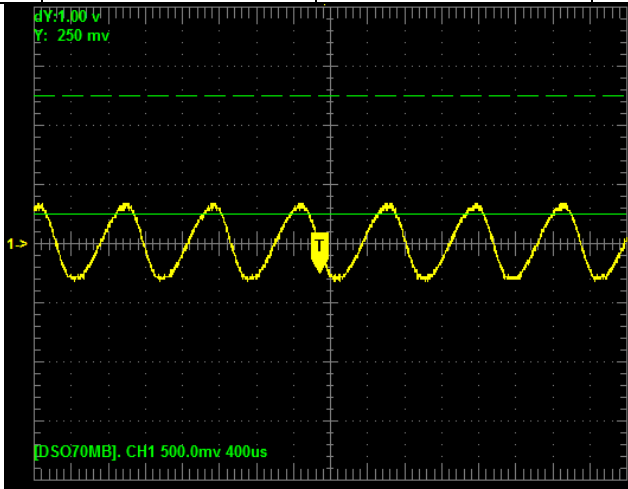
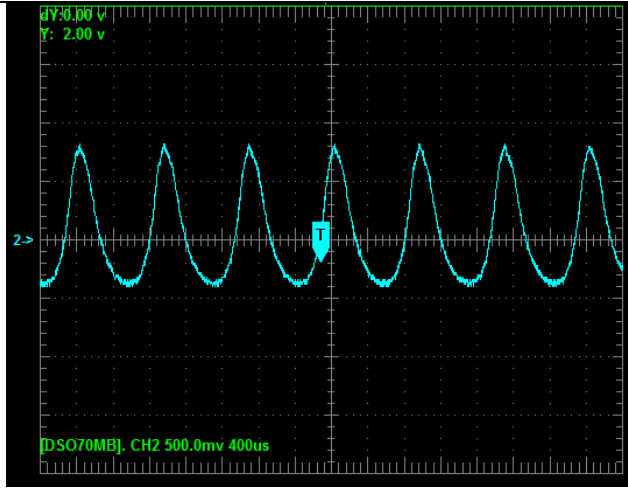
(4) یک سیگنال سینوسی با فرکانس یک کیلو هرتز به وسیله اسیلوسکوپ سیگنال ورودی و خروجی را از out1 مشاهده کنید . دامنه سیگنال ورودی را طوری تنظیم کنید تا شکل خروجی بدون اعوجاج باشد.

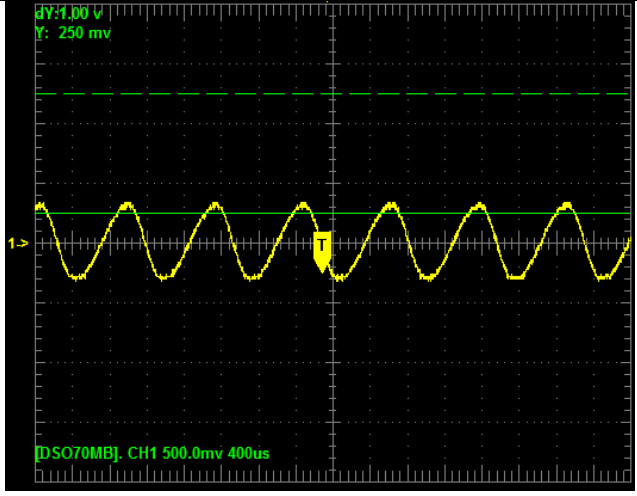
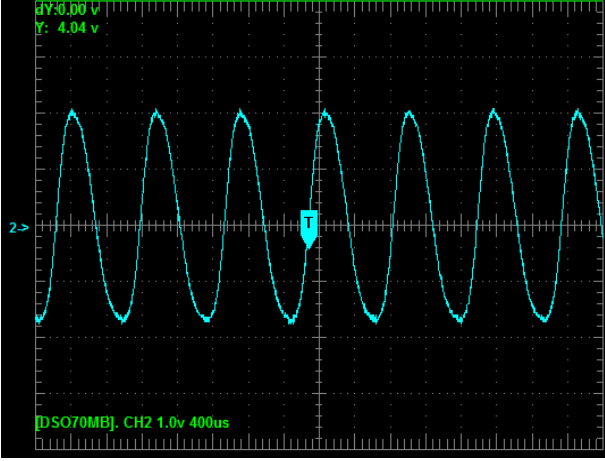
(5) به جای جامپر شماره 6 جامپر شماره 11 را مطابق شکل زیر در بلوک Common source(CS) قرار دهید و سپس مراحل بالا را برای حالت جدید تکرار کنید.



(6) سپس در همان حالت اول به جای جامپر شماره 11 جامپر شماره 6 را در بلوک قرار دهید و خروجی را مستقیماً از سر درین ترانزیستور مشاهده کنید و خازن C3 را جدا کنید . سپس مراحل بالا را برای حالت جدید تکرار کنید .

	C3 با خازن	VDS	VGS	VD
	R=3.3K	2.96V	-2.17V	5.11V
In				
Out				
Dual				

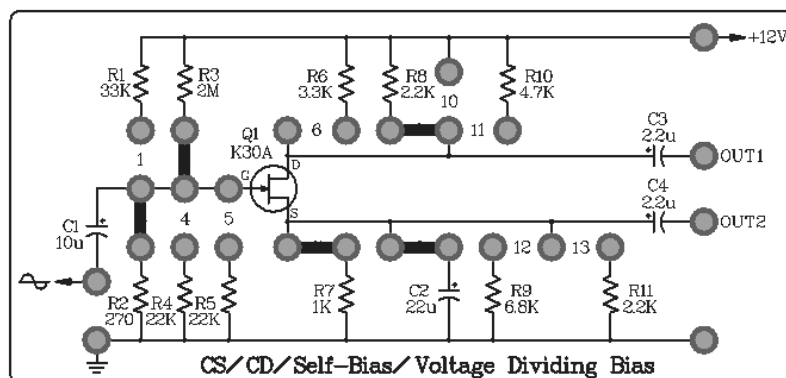
	C3 با خازن	VDS	VGS	VD
	R=4.7K	0.94V	-1.9V	2.9V
In				
Out				

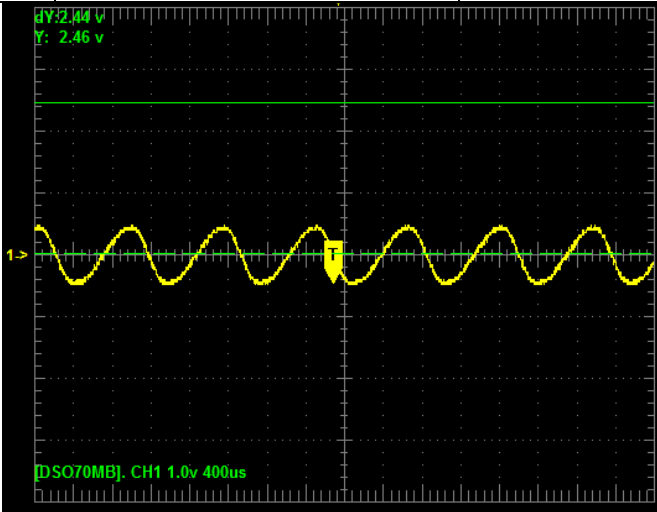
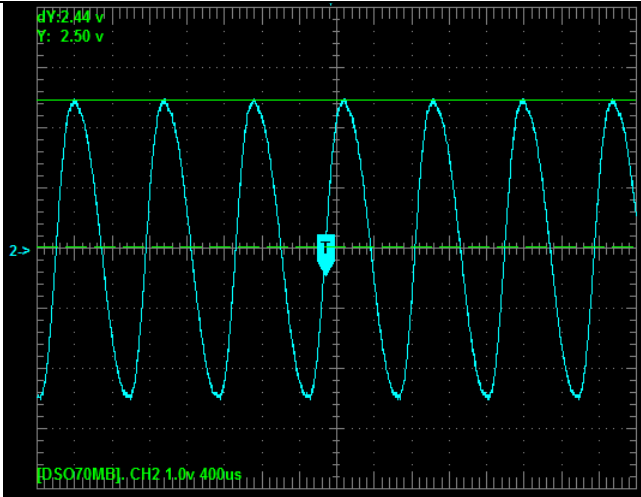
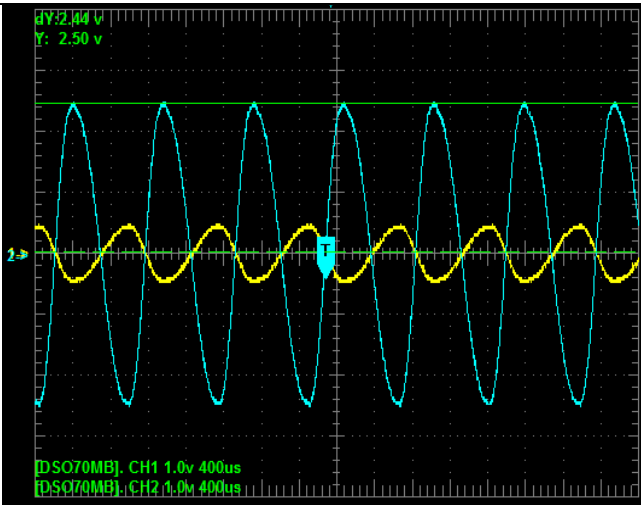
	بدون خازن C3 R=3.3K	VDS	VGS	VD
		3.02V	-2.1V	5.11V
In				
Out				

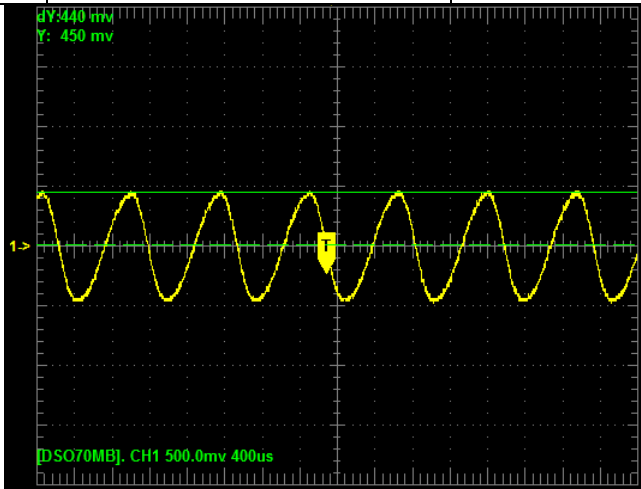
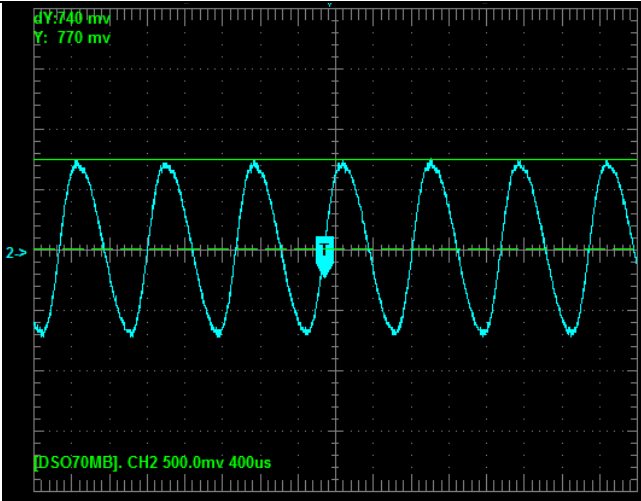
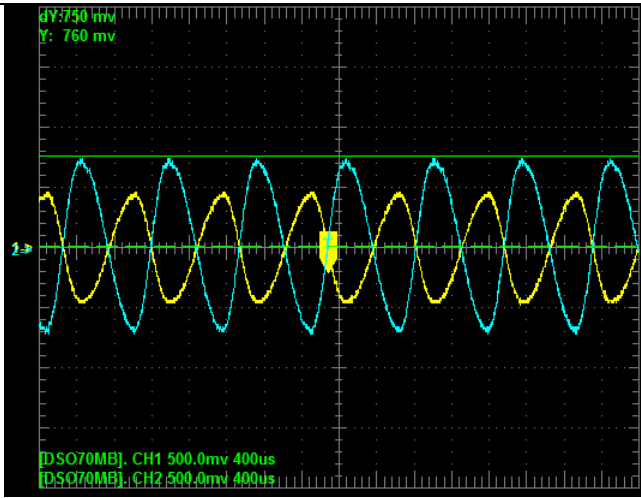
(7) در مدار قبل به جای جامپر شماره 11 و 5 جامپر شماره 2 و 3 و 8 را مطابق شکل زیر در بلوک Common source(CS) قرار دهید و سپس اثر خازن C2 را برای حالت جدید بررسی کنید .

$$V_{GS} = \frac{V_{DD} \times R_2}{R_2 + R_1} - R_S I_D$$

در حالت بایاس مقسم ولتاژ داریم:



	با خازن	VDS	VGS
	C2	5.12V	-2.19
In			
Out			
dual			

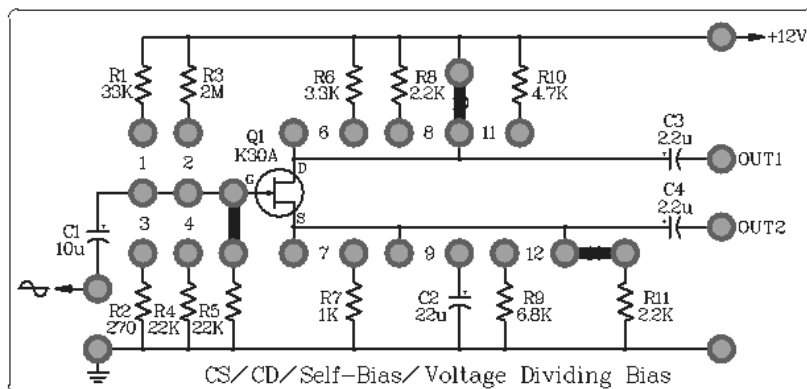
	بدون خازن C2	VDS	VGS
		5.13V	-2.19V
In			
Out			
Dual			



## آزمایش 33: تقویت کننده درین مشترک

مراحل آزمایش:

(1) بلوک دیاگرام مدار Common drain (CD) در شکل زیر دیده می شود .



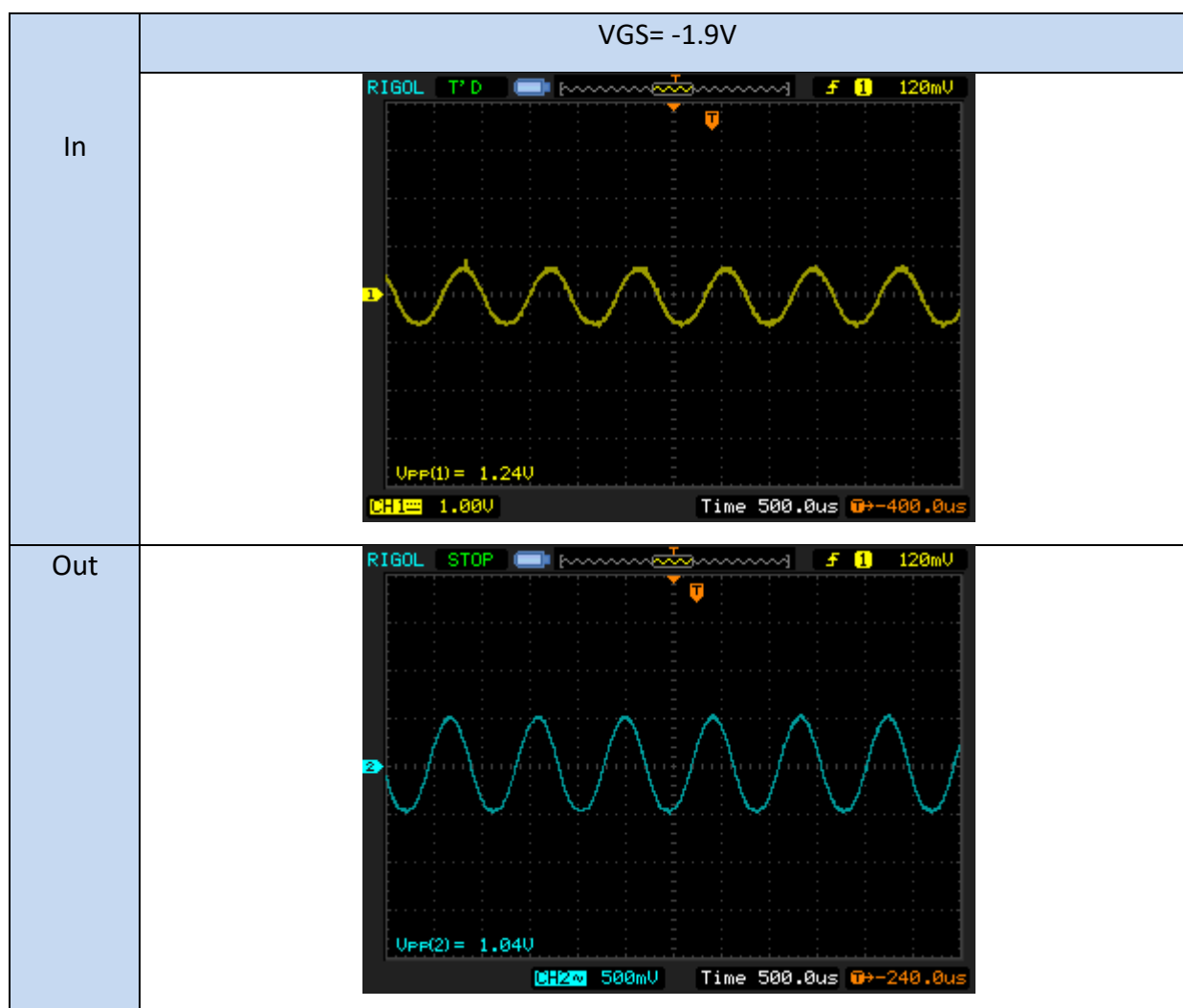
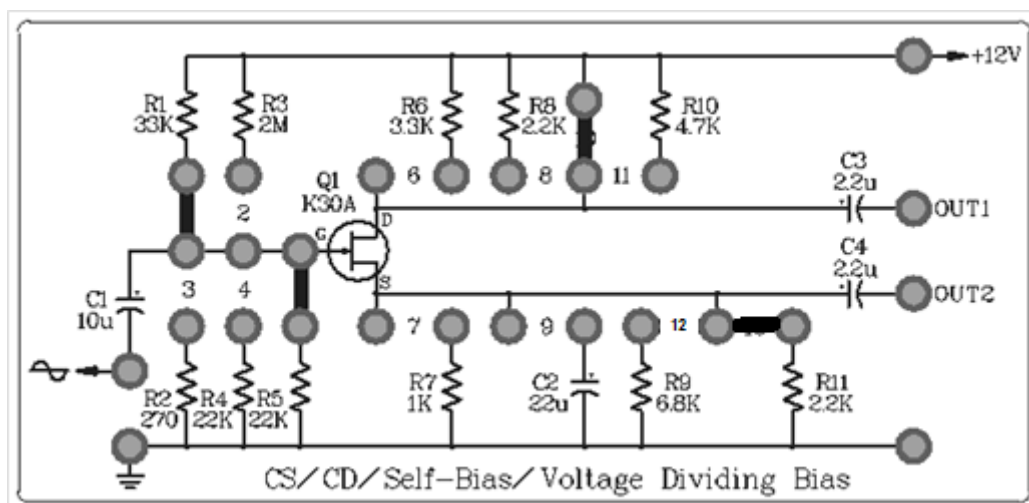
(2) ولتاژ 12V dc به مدار اعمال کنید .

(3) ولتاژ VGS را نیز با مولتی متر اندازه بگیرید و مقادیر را در جدول ثبت کنید .

(4) یک سیگنال سینوسی با فرکانس یک کیلو هرتز به مدار اعمال کنید و به وسیله اسیلوسکوپ سیگنال ورودی و خروجی را از out2 مشاهده کنید .

VGS -2.61V	
In	
Out	

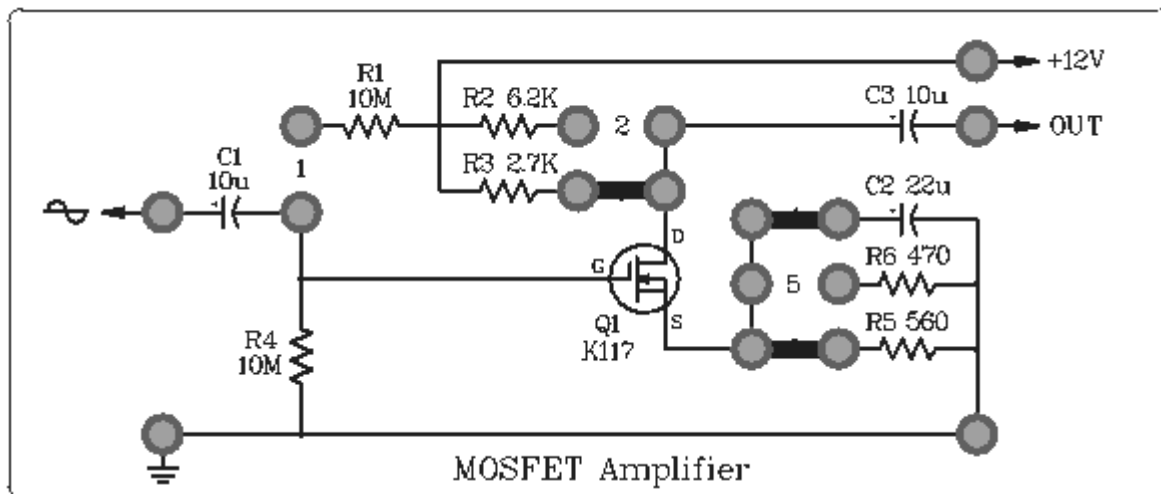
(5) سپس جامپر شماره 1 را نیز در بلوک قرار دهید و خروجی را از out2 مشاهده کنید . سپس مراحل بالا را برای حالت جدید تکرار کنید .



## آزمایش 34: تقویت کننده سورس مشترک

مراحل آزمایش:

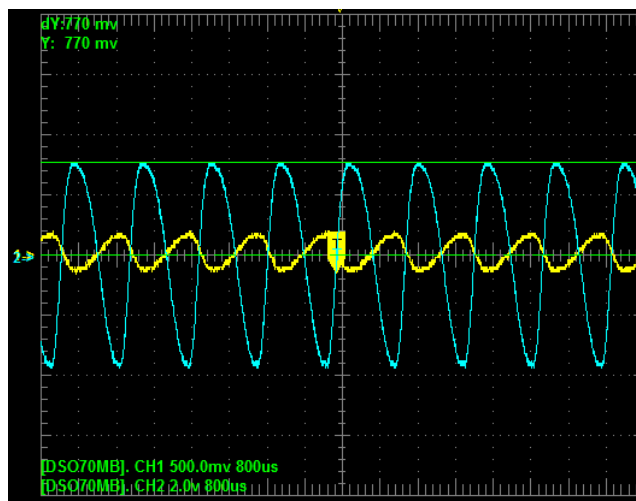
(1) بلوک دیاگرام مدار MOSFET Amplifier در شکل زیر دیده می شود .



(2) ولتاژ 12V dc به مدار اعمال کنید.

(3) یک سیگنال سینوسی با فرکانس 1KHz به پین ورودی مدار اعمال کنید.

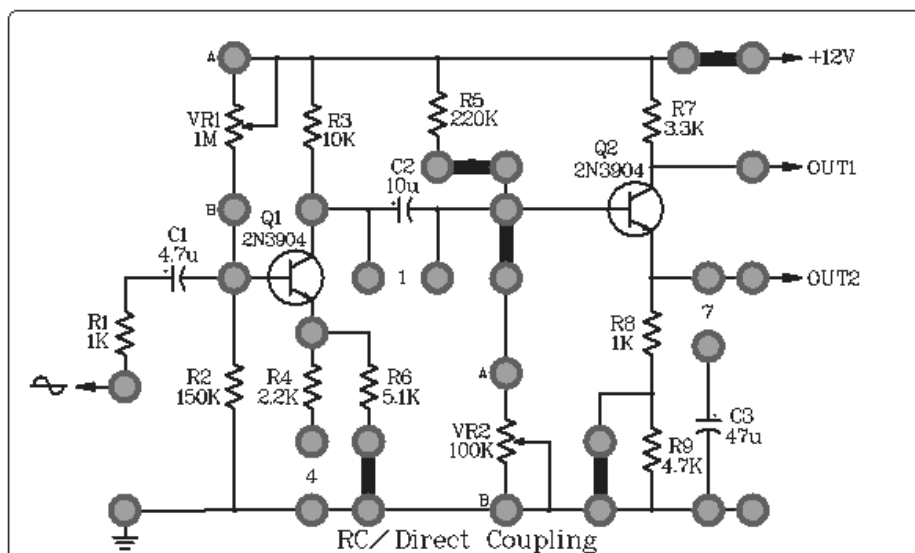
(4) به وسیله اسیلوسکوپ سیگنال ورودی و خروجی را از out مشاهده کنید.



## آزمایش 35: تقویت کننده با کوپلینگ مستقیم و RC

مراحل آزمایش:

(1) بلوک دیاگرام مدار RC Coupling در شکل زیر دیده می شود.



(2) ولتاژ 12V dc به مدار اعمال کنید.

(3) ولوم VR1 را با مقدار 1M درون مدار قرار دهید.

(4) ولوم VR2 را با مقدار 100k درون مدار قرار دهید.

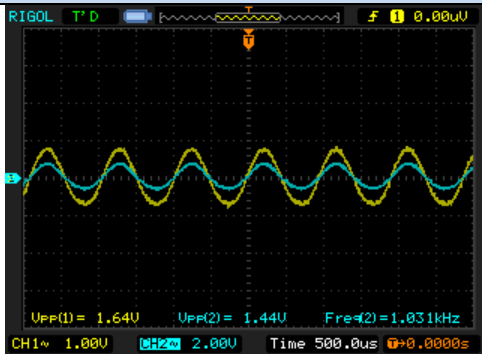
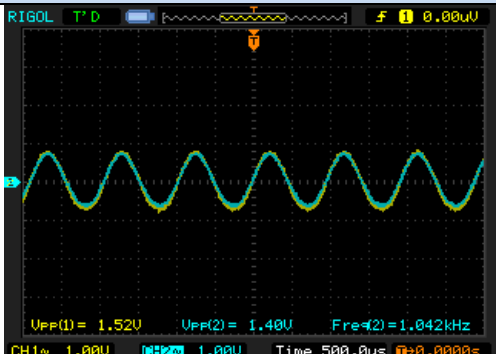
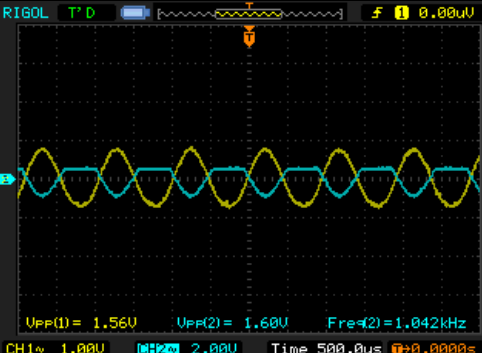
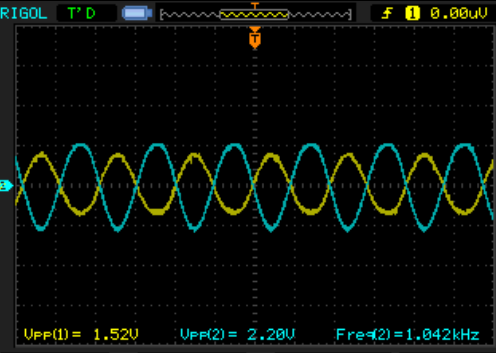
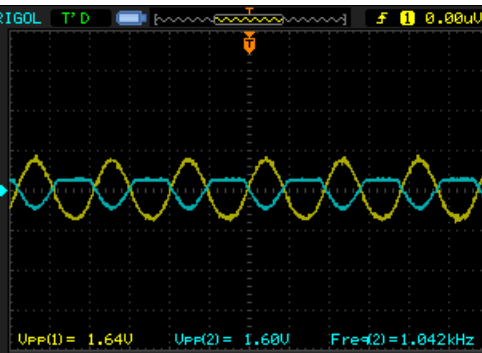
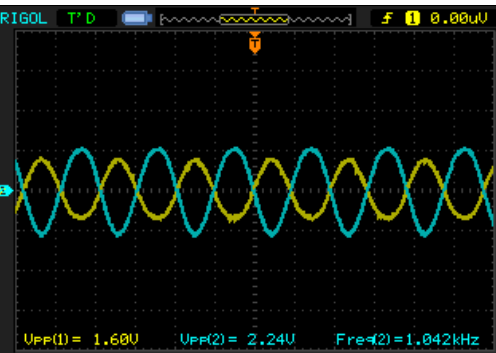
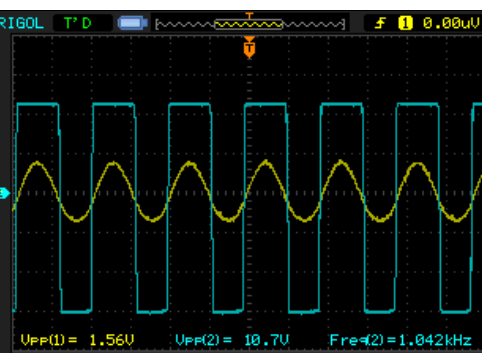
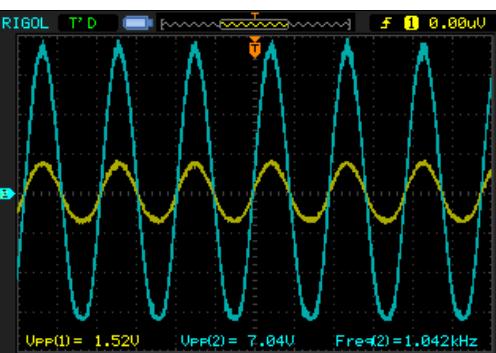
(5) یک سیگنال سینوسی با فرکانس 1KHz به مدار اعمال کنید و به وسیله اسیلوسکوپ سیگنال ورودی و خروجی را از

out1 و سیگنال های بیس و کلکتور ترانزیستور اول و دوم را مشاهده کنید و در جدول ثبت کنید.

(6) ولوم VR1 و VR2 را طوری تنظیم کنید تا ولتاژ کلکتور ترانزیستور اول و دوم حدودا برابر  $V_{CC}/2$  شود.

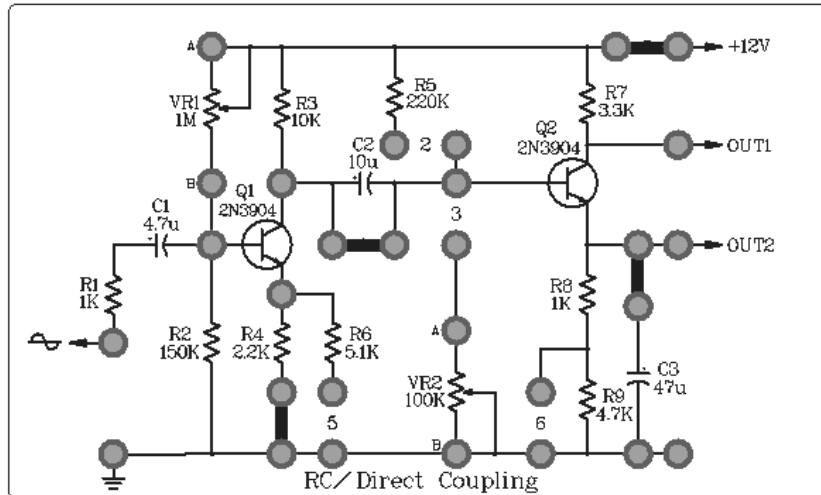
(7) جامپر شماره 7 را در مدار قرار دهید تا خازن وارد مدار شود. سپس مراحل بالا را تکرار کنید. تاثیر خازن C3 را روی

گین مدار بررسی نمایید.

	با خازن C3	بدون خازن C3
VB1		
VC1		
VB2		
Vout1		

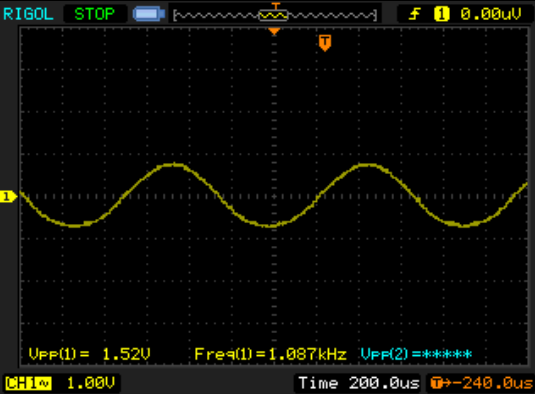
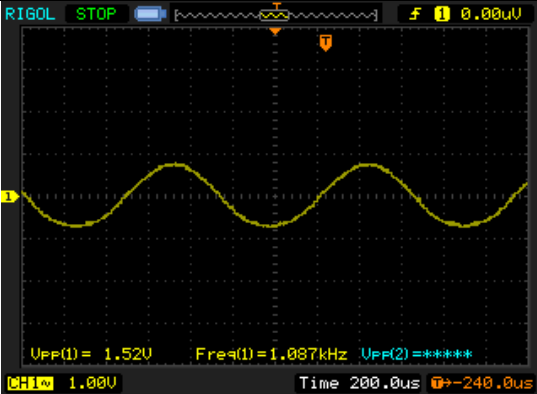
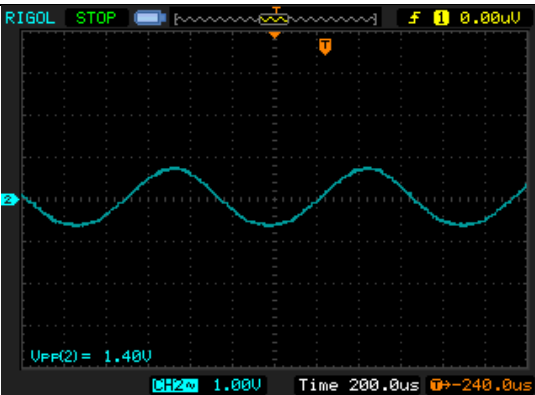
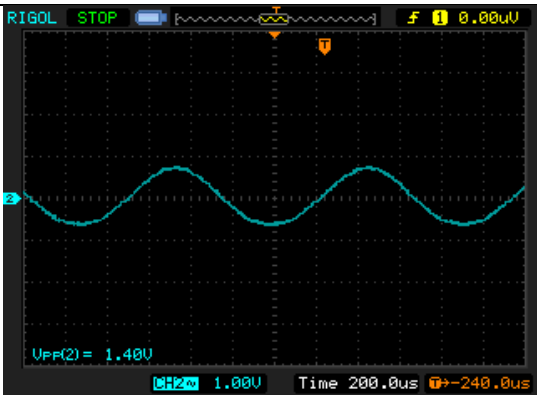
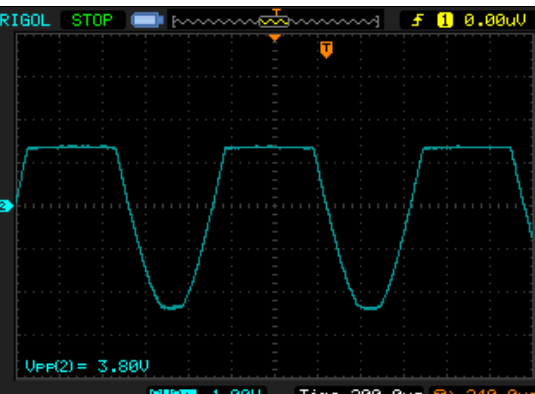
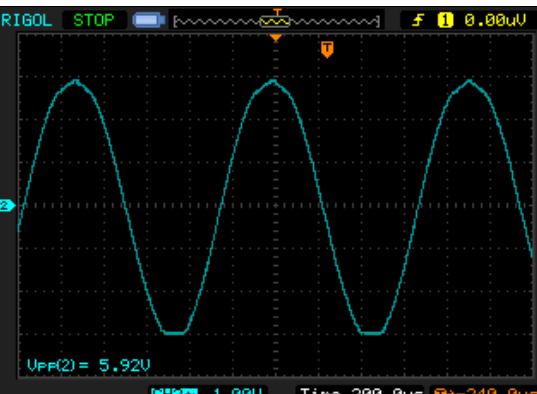
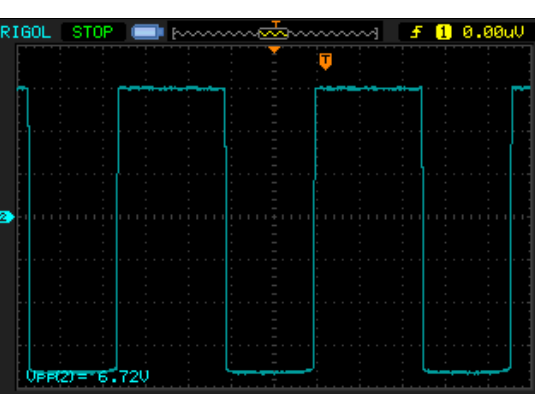
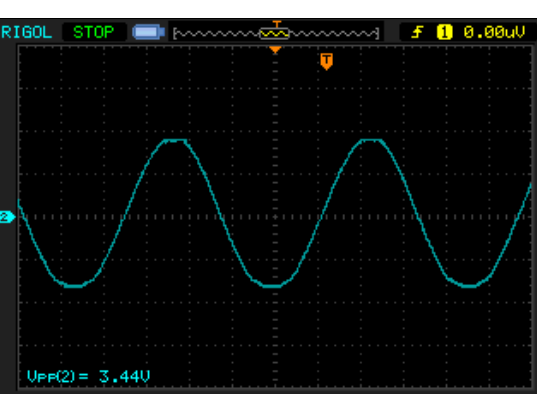
(8) در این حالت سیگنال خروجی را از پایه امیتر ترانزیستور Q2 مشاهده کنید. شرح دهید که در این حالت و حالت قبل Q2 در چه آرایشی بسته شده است.

(9) جامپر را مطابق شکل زیر در بلوک قرار دهید تا مدار Direct Coupling بدست آید .



(9) به وسیله اسیلوسکوپ سیگنال ورودی و خروجی را از out1 و سیگنال های بیس و کلکتور ترانزیستور اول و دوم را مشاهده کنید و در جدول ثبت کنید .

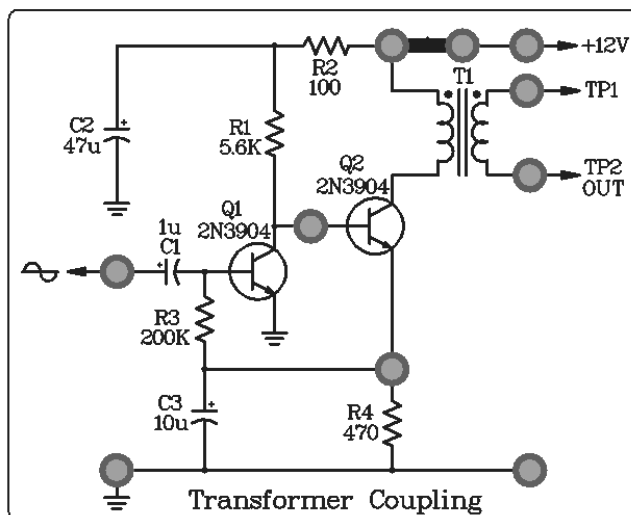
(10) جامپر شماره 7 را در مدار قرار دهید تا خازن وارد مدار شود . سپس مراحل بالا را تکرار کنید .

	C3 با خازن	C3 بدون خازن
Vin		
VB1		
VB2		
Vout		

## آزمایش 36: تقویت کننده با ترانسفورماتور کوپلینگ

مراحل آزمایش:

(1) بلوک دیاگرام مدار Transformer Coupling در شکل زیر دیده می شود .

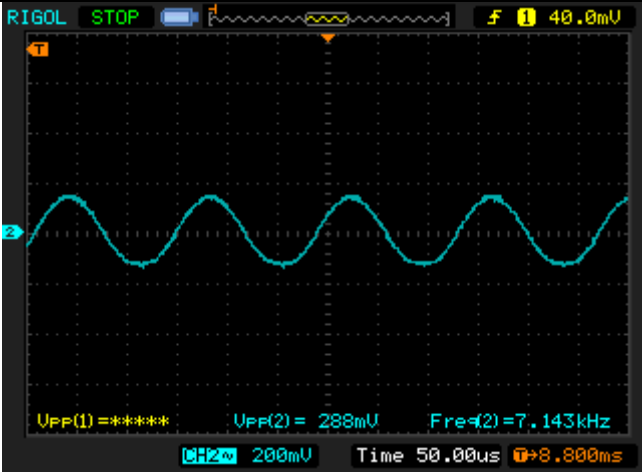
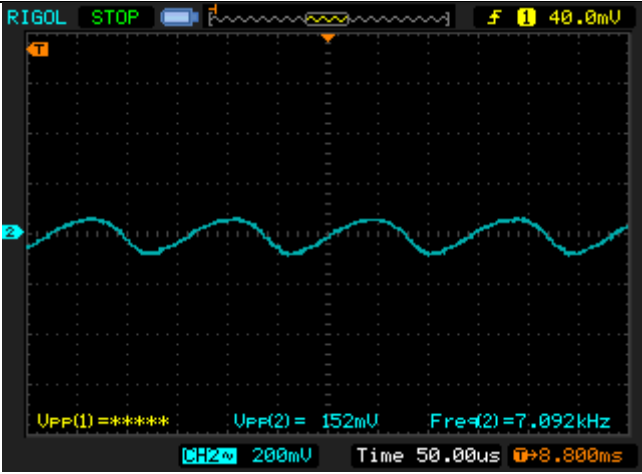
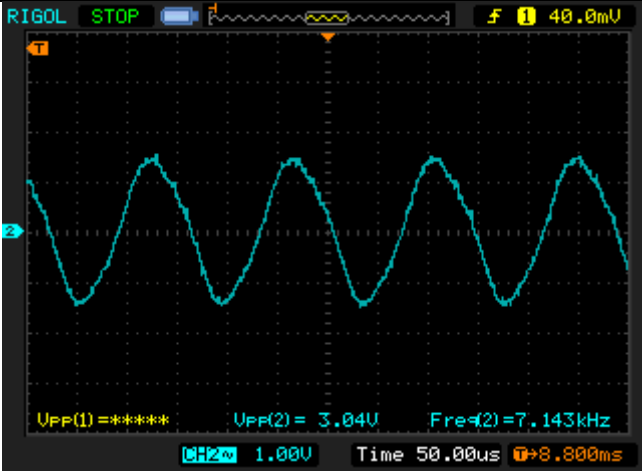


(2) ولتاژ 12V dc به مدار اعمال کنید .

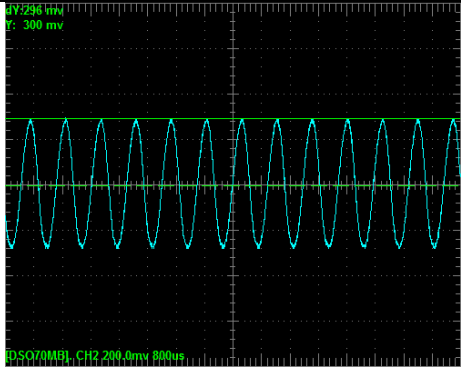
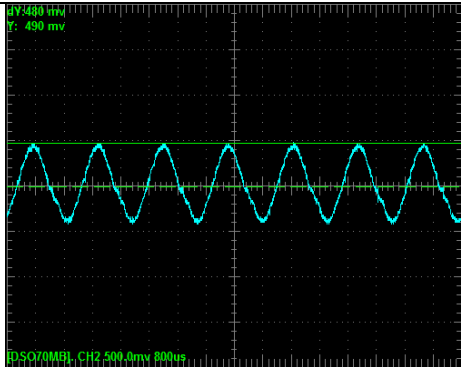
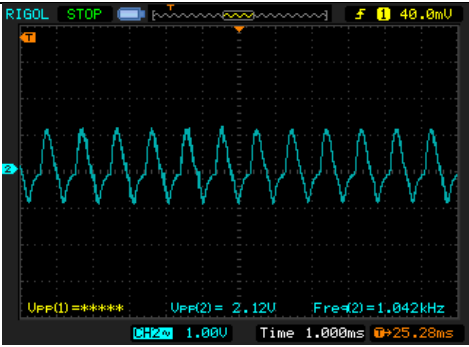
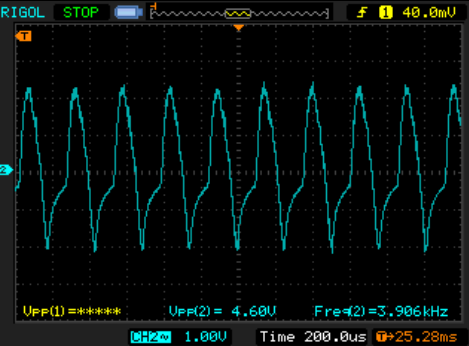
(3) یک سیگنال سینوسی با فرکانس 7KHz به مدار اعمال کنید و به وسیله اسیلوسکوپ سیگنال ورودی و خروجی را از دو

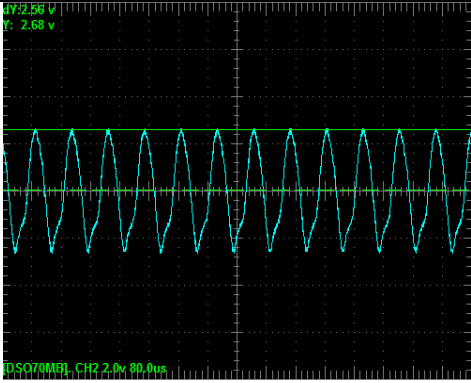
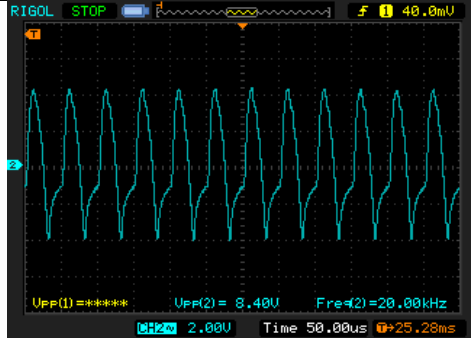
سر ترانس و سیگنال بیس ترانزیستور اول را مشاهده کنید و در جدول ثبت کنید .



	شکل موج
VIN	 <p>RIGOL STOP 40.0mV</p> <p>U<sub>pp</sub>(1)=***** U<sub>pp</sub>(2)= 288mV Freq(2)=7.143kHz</p> <p>200mV Time 50.00us 8.800ms</p>
VB2	 <p>RIGOL STOP 40.0mV</p> <p>U<sub>pp</sub>(1)=***** U<sub>pp</sub>(2)= 152mV Freq(2)=7.092kHz</p> <p>200mV Time 50.00us 8.800ms</p>
Vout	 <p>RIGOL STOP 40.0mV</p> <p>U<sub>pp</sub>(1)=***** U<sub>pp</sub>(2)= 3.04V Freq(2)=7.143kHz</p> <p>1.00V Time 50.00us 8.800ms</p>

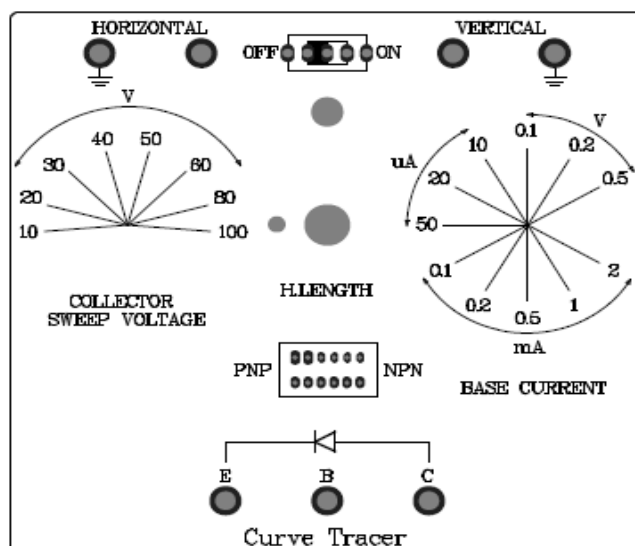
(4) سپس فرکانس سیگنال ورودی را تغییر دهید و به وسیله اسیلوسکوپ سیگنال ورودی و خروجی را از دو سر ترانس و سیگنال بیس ترانزیستور اول را مشاهده کنید و در جدول ثبت کنید .

	شکل موج
VB2	
Vout 500Hz	
Vout 1KHz	
Vout 4KHz	

<p>Vout 10KHz</p>	
<p>Vout 20KHz</p>	

## فصل یازدهم

منحنی نگار (Curve Tracer)

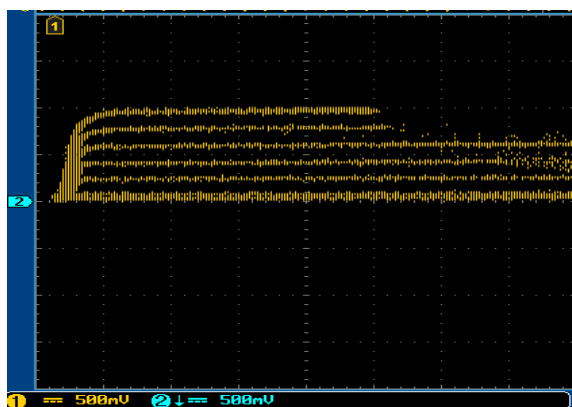


با استفاده از این بلوک میتوان منحنی مشخصه های انواع نیمه هادی ها شامل ترانزیستور های BJT و انواع دیود ها را روی صفحه اسیلوسکوپ با دقت کافی مشاهده نمود .

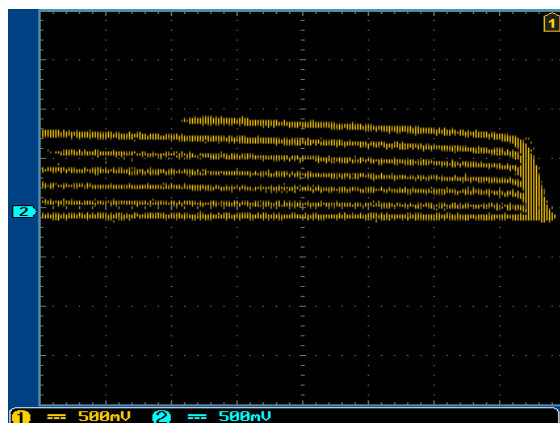
## آزمایش 37: مشاهده منحنی مشخصه ی ترانزیستور BJT

مراحل آزمایش:

- (1) خروجی های افقی (vertical) و عمودی (Horizontal) کروتیسر را به کانال دو و کانال یک اسیلوسکوپ متصل نمایید و اسیلوسکوپ را روی حالت X-Y قرار دهید. کانال دو را در حالت معکوس قرار دهید.
- (2) ولوم جاروب ولتاژ کلکتور را روی 10V قرار دهید .
- (3) یک ترانزیستور NPN به عنوان مثال 2N3904، BC107، C945 و... انتخاب نمایید وبا استفاده از سیم پایه های امیتر ، بیس و کلکتور را در محل مشخص شده قرار دهید و کلید را روی حالت NPN قرار دهید .
- (4) سپس سلکتور جریان بیس  $I_b$  ، را تغییر دهید تا بهترین حالت منحنی مشخصه را روی اسیلوسکوپ مشاهده کنید .



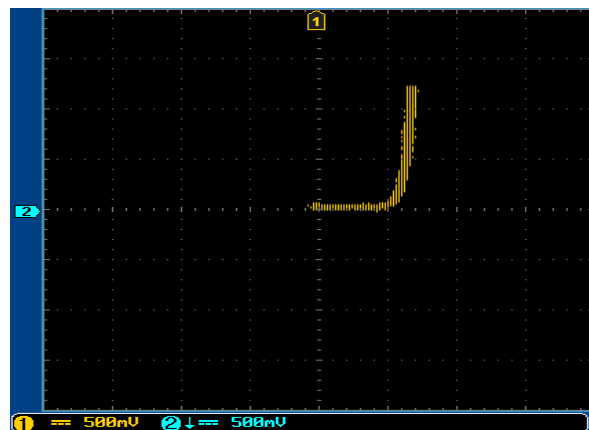
- (5) یک ترانزیستور PNP به عنوان مثال 2N3906، A1015 و... انتخاب نمایید وبا استفاده از سیم پایه های امیتر ، بیس و کلکتور را در محل مشخص شده قرار دهید و کلید را روی حالت PNP قرار دهید .
- (6) سپس سلکتور جریان بیس  $I_b$  ، را تغییر دهید تا بهترین حالت منحنی مشخصه را روی اسیلوسکوپ مشاهده کنید .



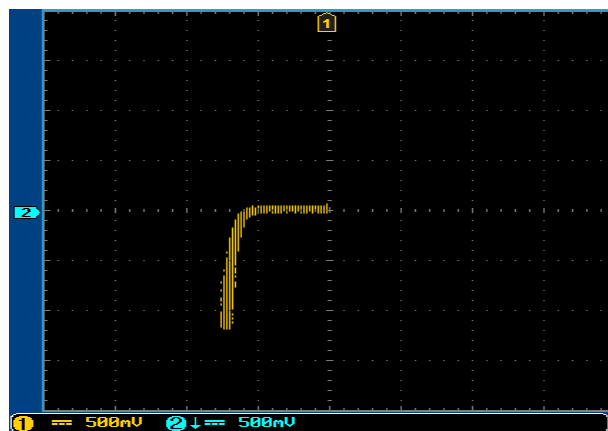
### آزمایش 38: مشاهده منحنی مشخصه ی دیود

مراحل آزمایش:

- (1) خروجی های افقی (vertical) و عمودی (Horizontal) کروتیسر را به کانال دو و کانال یک اسیلوسکوپ متصل نمایید و و اسیلوسکوپ را روی حالت X-Y قرار دهید.
- (2) ولوم جاروب ولتاژ کلکتور را روی 10V قرار دهید .
- (3) یک دیود به عنوان مثال 1N4148، 1N4007 و... انتخاب نمایید و در محل مشخص شده قرار دهید و کلید را روی حالت NPN قرار دهید (بایاس مستقیم) .
- (4) سپس سلکتور HLENGHT را تغییر دهید تا بهترین حالت منحنی مشخصه را روی اسیلوسکوپ مشاهده کنید .



- (5) کلید را روی حالت PNP قرار دهید (بایاس معکوس) .
- (6) سپس سلکتور HLENGHT، را تغییر دهید تا بهترین حالت منحنی مشخصه را روی اسیلوسکوپ مشاهده کنید .



## فصل دوازدہم

رگولاتور



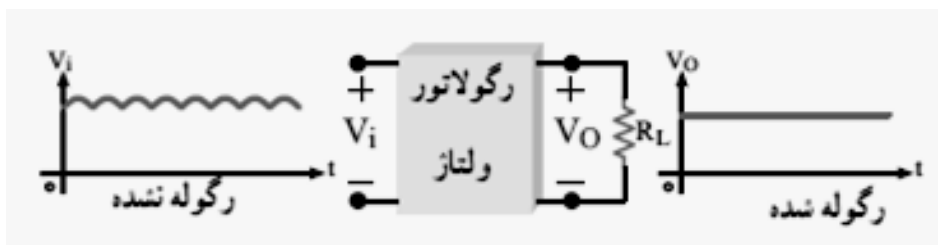
## مقدمه

رگولاتور ولتاژ مداری است که می تواند با تغییر ولتاژ ورودی یا تغییر جریان بار، ولتاژ دوسر بار را ثابت نگه دارد. در منابع تغذیه، مدار رگولاتور بین صافی و بار قرار می گیرد.

**رگولاتور ولتاژ :** رگولاتور ولتاژ از تغییرات ولتاژ دوسر بار جلوگیری می کند و آن را ثابت نگه می دارد.

## ضرایب تثبیت رگولاتور ولتاژ :

در شکل مدار بلوکی رگولاتور ولتاژ نشان داده شده است. ورودی این رگولاتور ولتاژ رگوله نشده  $V_i$  و خروجی آن ولتاژ رگوله شده  $V_o$  وجود دارد.



درجه تثبیت ولتاژ خروجی  $V_o$  یا میزان تغییرات آن به سه عامل اساسی زیر بستگی دارد:

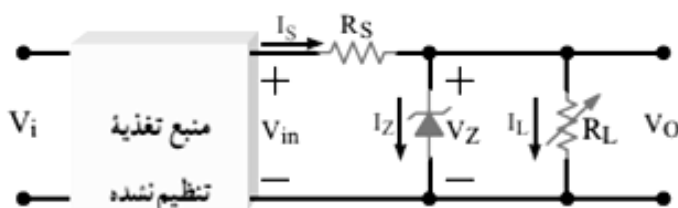
(1) تغییرات حرارت (2) تغییرات جریان (3) تغییرات ولتاژ ورودی

با توجه به سه عامل ذکر شده، در بالا، برای رگولاتورها، سه نوع ضریب تثبیت تعریف می شود. هنگام تحلیل هر یک از ضرایب تثبیت، دو ضریب دیگر را ثابت فرض می کنند.

نسبت تغییرات ولتاژ خروجی به تغییرات ولتاژ ورودی در صورت ثابت بودن جریان بار و دما را ضریب تثبیت ولتاژ می نامند و آن را با  $S_V$  نمایش می دهند.

ضریب تثبیت ولتاژ  $S_V$  معمولاً بر حسب درصد بیان می شود و مقدار آن از رابطه زیر بدست می آید.

$$S_V = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_{in}} \times 100\% \Big|_{\substack{\Delta T = 0 \\ \Delta I = 0}}$$



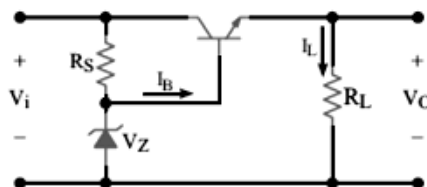
**رگولاتور زنری:** یک روش ساده برای تثبیت ولتاژ، استفاده از رگولاتور زنری است. در شکل مدار یک رگولاتور زنری نشان داده شده است.

ولتاژ خروجی یک منبع تغذیه تنظیم نشده به عنوان ولتاژ ورودی به مدار تنظیم کننده زنری وارد می شود. تا زمانی که  $V_{in}$  از  $V_Z$  بزرگتر است. جریان در مدار زنر برقرار می شود و دیود زنر در ناحیه شکست قرار می گیرد.

مقاومت محدودکننده  $R_S$  از افزایش جریان زنر به بیش از حداکثر مجاز ( $I_{Zmax}$ ) جلوگیری می کند. در شرایط ایده آل می توانیم بگوییم که دیود زنر مانند یک باتری عمل می کند، بنابراین، ولتاژ دو سر بار ثابت می ماند. توجه داشته باشید که وقتی ولتاژ خروجی یک منبع تغذیه تنظیم نشده تغییر کند، تا زمانی که این ولتاژ از ولتاژ شکست زنر بیش تر است، دیود زنر در ناحیه شکست کار می کند و ولتاژ در دو سر مقاومت بار ثابت باقی می ماند. ولی اگر دامنه ولتاژ خروجی منبع تغذیه از ولتاژ شکست زنر کم تر شود، دیود زنر از مدار خارج می گردد و ولتاژ تثبیت نشده منبع تغذیه مستقیماً به بار می رسد. هنگام استفاده از دیود زنر باید به مقدار توان مجاز دیود زنر و مقاومت سری با آن توجه داشت. چون توان و جریان ماکزیمم دیود زنر در ناحیه شکست محدود است، لذا برای جریان بار زیاد نمی توانیم از دیود زنر به عنوان رگولاتور استفاده کنیم. در این گونه موارد ولتاژ شکست دیود زنر به عنوان ولتاژ مرجع مورد استفاده قرار می گیرد و جریان بار توسط یک تقویت کننده جریان تأمین می شود.

### رگولاتور ولتاژ با تقویت کننده جریان

می دانیم ترانزیستور در حالت های امیتر مشترک و کلکتور مشترک می تواند جریان را تقویت کند. اگر به تقویت ولتاژ نیاز نداشته باشیم، مدار کلکتور مشترک مناسب ترین مدار برای تقویت جریان است؛ زیرا ضریب تقویت جریان آن زیاد و مقاومت ورودی آن بالاست. در شکل زیر مدار یک رگولاتور ولتاژ با تقویت کننده کلکتور مشترک نشان داده شده است.



در این مدار، جریان عبوری از بار با جریان امیتر ترانزیستور مساوی و برابر با  $I_B(1 + \beta)$  است. لذا در این مدار جریان بار در مقایسه با رگولاتور ساده زنری افزایش می یابد. همچنین با توجه به قانون کیرشهف در حلقه دیود زنر و مقاومت بار، ولتاژ خروجی به اندازه  $V_{BE}$  از ولتاژ دو سر زنر کم تر می شود یعنی  $V_O = V_Z - V_{BE}$  است.

## رگولاتور سری با مدار فیدبک ( Basic Linear Series Regulator )

تاکنون رگولاتورهای بدون فیدبک را شرح دادیم. برای تثبیت بیش تر ولتاژ می توانیم از رگولاتور با فیدبک استفاده کنیم.

این رگولاتورها به دو نوع سری و موازی تقسیم بندی می شوند. بلوک دیاگرام کلی رگولاتور سری و بخش های مختلف آن در

شکل صفحه بعد رسم شده است. کار هر قسمت این بلوک دیاگرام به شرح زیر است:

**الف) ولتاژ مبنا :** ولتاژ مبنا یا مرجع یک ولتاژ ثابت است که معمولاً توسط دیود زener تولید می شود.

**ب) نمونه گیر :** مداری است که قسمتی از ولتاژ خروجی را به مدار مقایسه کننده برمی گرداند. مدار نمونه گیر اغلب از چند

مقاومت ثابت و متغیر تشکیل می شود.

**پ) مقایسه کننده و تقویت کننده ولتاژ خطا :** این مدار، ولتاژ نمونه گیر را که جزئی از ولتاژ خروجی است، با ولتاژ مبنا

مقایسه می کند. سپس ولتاژ خروجی خود را طوری تغییر می دهد که این دو ولتاژ با هم برابر شوند.

**ت) عنصر کنترل کننده و عبور دهنده جریان :** این مدار یک تقویت کننده کلکتور مشترک یا زوج دارلینگتون است

و از مدار مقایسه کننده فرمان می گیرد. با تنظیم افت ولتاژ در دوسر این عنصر، ولتاژ خروجی ثابت می ماند. چون جریان

مصرف کننده از این عنصر عبور می کند؛ قدرت زیادی در آن تلف می شود. بنابراین همیشه ولتاژ خروجی با یک ولتاژ ثابت که

همان ولتاژ مبنا است مقایسه می شود و در صورت هرگونه تغییر در ولتاژ خروجی، فرآیند زیر به صورت مداوم اتفاق می افتد.

برای مثال اگر در اثر افزایش جریان بار، ولتاژ خروجی کاهش یابد بلافاصله این کاهش ولتاژ سبب تغییر ولتاژ خروجی مقایسه

کننده می شود و فرمان لازم را به عنصر کنترل کننده و عبور دهنده جریان می دهد و کاهش ولتاژ خروجی را جبران می کند.

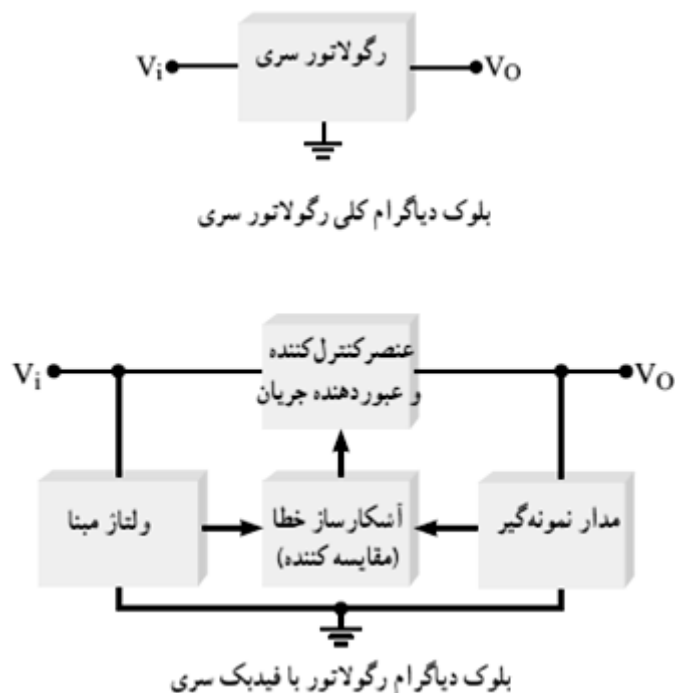
به این ترتیب همیشه ولتاژ خروجی ثابت می ماند.

ولتاژ خروجی به هر دلیلی تغییر کند. ولتاژ خروجی با ولتاژ مرجع مقایسه می شود.

در مدار مقایسه کننده ولتاژ اصلاح کننده تولید می شود.

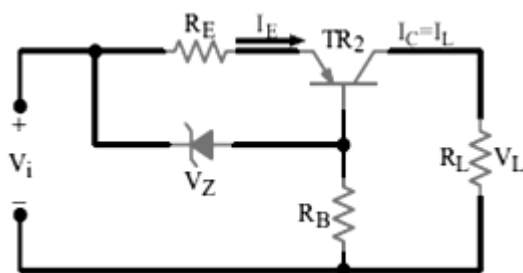
ولتاژ اصلاح کننده به عنصر کنترل کننده فرمان می دهد. ولتاژ خروجی اصلاح می شود.

در شکل زیر مدار یک منبع تغذیه با رگولاتور فیدبک نشان داده شده است. ورودی مدار رگولاتور، یک ولتاژ DC رگوله نشده است که توسط ترانس تغذیه، یکسوکننده و خازن صافی از برق شهر تهیه می شود.



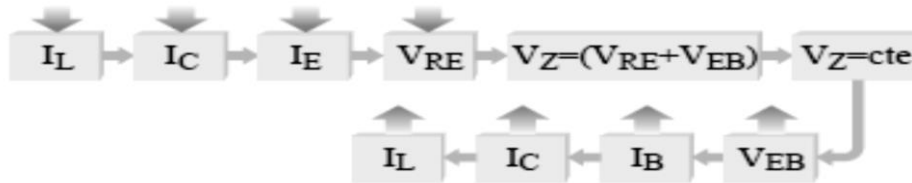
### رگولاتور جریان

رگولاتور جریان مداری است که جهت ثابت نگهداشتن جریان مصرف کننده به کار می رود. ثابت نگهداشتن جریان بار از طریق تغییر ولتاژ دوسر مقاومت بار صورت می گیرد. یعنی، در صورت افزایش مقاومت بار، ولتاژ بار نیز افزایش و با کاهش مقاومت بار، ولتاژ بار نیز کاهش می یابد. به این ترتیب در همه حالات جریان بار ثابت می ماند. مدار رگولاتور جریان شامل یک رگولاتور ولتاژ است که ولتاژ دوسر یک مقاومت را ثابت نگه می دارد. در نتیجه، جریان عبوری از مقاومت ثابت است. در صورت سری کردن یک مقاومت با این مجموعه، جریان عبوری از مقاومت سری شده ثابت خواهد ماند. شکل زیر نقشه کلی رگولاتور جریان را نشان می دهد. در این مدار مقاومت  $R_S$  در خروجی رگولاتور ولتاژ قرار دارد و مقاومت  $R_L$  با مجموعه رگولاتور ولتاژ و  $R_S$  سری شده است.



اگر  $I_L = I_C$  به هر دلیلی کاهش یابد، جریان  $I_E \cong I_C$  نیز کم می‌شود. کم شدن  $I_E$  افت ولتاژ دو سر  $R_E$  را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر  $V_Z = V_{RE} + V_{EB}$  است. می‌دانیم  $V_Z$  دارای مقداری ثابت است. بنابراین با توجه به رابطه  $V_Z - V_{RE} = V_{EB}$ ، با کاهش  $V_{RE}$  مقدار  $V_{EB}$  زیاد می‌شود و هدایت ترانزیستور را بالا می‌برد و  $I_L$  را در سطح ثابتی قرار می‌دهد.

مراحل تثبیت جریان  $I_L$  را می‌توان به صورت زیر نیز نمایش داد:

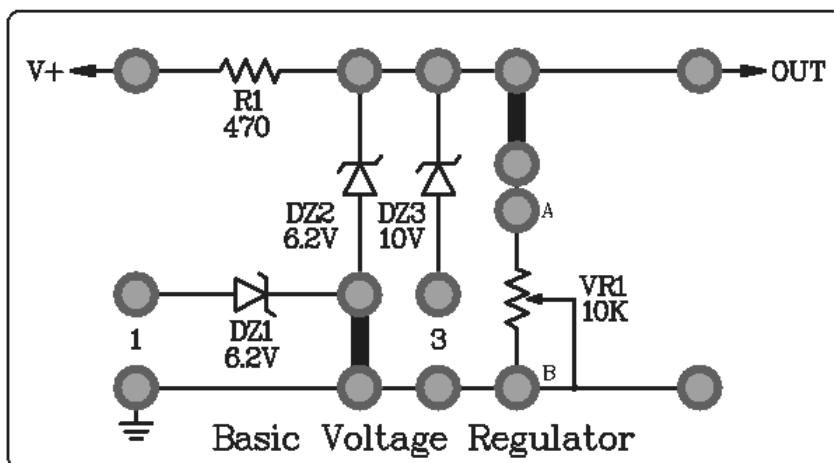


تنظیم کننده های سه سرکه به صورت قطعاتی با پوشش پلاستیکی یا فلزی به بازار آمده اند بسیار عمومیت دارند و بسیار ارزان عرضه می شوند و استفاده از این آی سی ها به دلیل سه پایه بودن آسان است. مدار تنظیم کننده های ولتاژ سه سر تنها به وسیلهٔ حداکثر سه عدد خازن بای پاس خارجی کامل می شود. خازن ها در ورودی و خروجی رگولاتور نصب می شوند تا تغییرات ولتاژی را که در اثر نفوذ و دخالت فرکانس های ناخواسته به وجود می آید، از بین ببرند.

## آزمایش 39: رگولاتورهای ساده

مراحل آزمایش:

(1) به جای جامپرهای شماره 2 و 4 در بلوک Basic Voltage Regulator آمپرتر قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



(2) سیم‌های تغذیه (GND, 0-20V) را متصل نمایید.

(3) ولوم VR1 را روی 10K تنظیم نمایید.

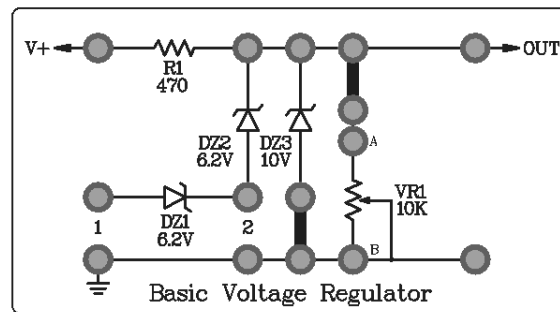
(4) ولتاژ متغیر را از 0V تا 18V تغییر دهید و ولتاژ خروجی out و جریان بار و جریان دیود زنر را مشاهده و در جدول ثبت نمایید.

	3V	5v	6V	7V	9V	13V	18V
Vo	2.93	4.82	5.78	6.18	6.17	6.18	6.18
Iz	0	0	0	1.4m	5.8m	14.2m	25.2m
IL	0.3m	0.52m	0.63m	0.66m	0.664	0.7m	0.7m

(5) ولتاژ ورودی را روی 12V تنظیم کنید و این بار ولوم VR1 را از 100 تا 10K اهم تغییر دهید.

	100	500	1K	3K	5K	10K
Vo	2.08	5.9	6.02	6.09	6.09	6.07
Iz	0	0.4	5.8m	10.3m	11.3m	11.6m
IL	21m	12m	6.7m	1.9m	1.2m	0.6m

(6) به جای جامپرهای شماره 2 در محل جامپر شماره 3 در بلوک Basic Voltage Regulator آمپر متر قرار دهید تا دیود DZ3 وارد مدار شود.



(7) ولوم VR1 را روی 10K تنظیم نمایید.

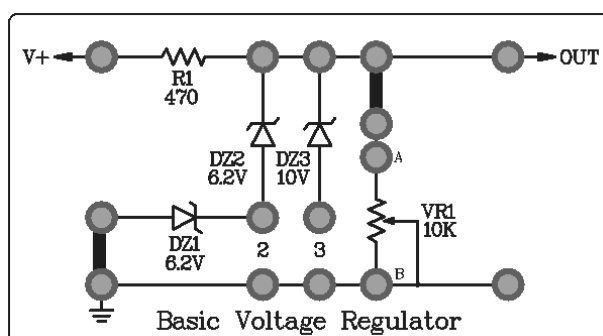
(8) ولتاژ متغیر را از 0V تا 18V تغییر دهید و ولتاژ خروجی out و جریان بار و جریان دیود زنر را مشاهده و در جدول ثبت نمایید.

	3V	5v	6V	7V	9V	13V	18V
Vo	3	4.82	5.78	6.66	8.6	10.3	10.5
Iz	0	0	0	0	0	5.3m	15m
IL	0.3m	0.526m	0.63m	0.72m	0.934	1m	1.02m

(9) ولتاژ ورودی را روی 18V تنظیم کنید و این بار ولوم VR1 را از 100 تا 10K اهم تغییر دهید .

	100	500	1K	3K	5K	10K
Vo	3.17	8.9	10.26	10.4	10.41	10.42
Iz	0	0	6.5m	13.6m	14.58m	15m
IL	32.6m	17.93m	10.2m	3.13m	2.04m	1.02m

10) به جای جامپرهای شماره 3 در محل جامپر شماره 1 در بلوک Basic Voltage Regulator آمپر متر قرار دهید تا دیود DZ3 وارد مدار شود.



(11) ولوم VR1 را روی 10K تنظیم نمایید.

12) ولتاژ متغیر را از 0V تا 18V تغییر دهید و ولتاژ خروجی out و جریان بار و جریان دیود زنر را مشاهده و در جدول ثبت نمایید.

	3V	5v	6V	7V	9V	13V	18V
Vo	2.94	4.89	5.85	6.63	8.6	12.2	12.3
Iz	0	0	0	0	0	1.1m	10.7m
IL	0.31m	0.526m	0.63m	0.72m	0.934	0.9m	1.3m

(13) ولتاژ ورودی را روی 18V تنظیم کنید و این بار ولوم VR1 را از 100 تا 10K اهم تغییر دهید .

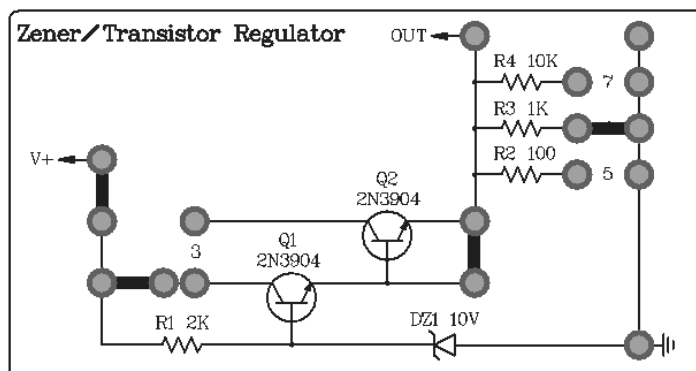
	100	500	1K	3K	5K	10K
Vo	3.3	9.3	11.9	12.1	12.2	12.21
Iz	0	0	0	8.4m	9.8m	4.1m
IL	32 m	17.9	11.9	3.9m	2.4m	1.2m



## آزمایش 40: رگولاتور زنر- ترانزیستور

مراحل آزمایش:

- (1) جامپرهای شماره 1 و 4 و 6 را در بلوک Zener/Transistor Regulator قرار دهید و در محل جامپر شماره 2 آمپر متر قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



- (2) سیمهای تغذیه (GND, 0-20V) را متصل نمایید و ولتاژ ورودی را روی 18V تنظیم کنید.

- (3) ولتاژ خروجی out و جریان کلکتور را مشاهده و در جدول ثبت نمایید.

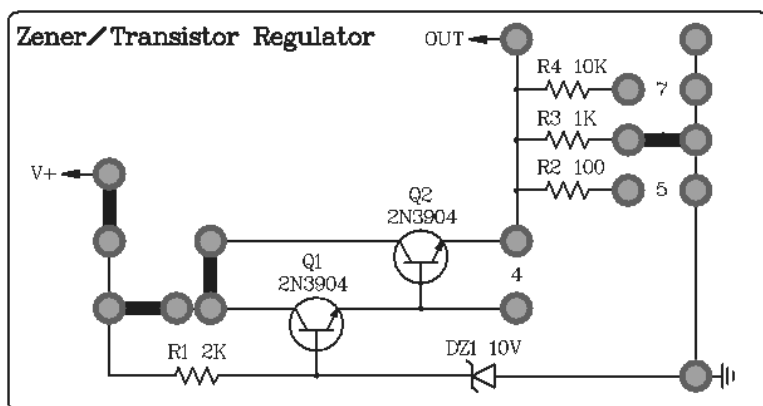
	1K	10K
Ic	9.7m	0.9m
Vo	9.62	9.65

- (4) مقاومت 1K را وارد کنید و ولتاژ ورودی را تغییر دهید خروجی out و جریان کلکتور را مشاهده و در جدول

ثبت نمایید.

	10V	12V	15V	18V
Ic	9.4m	9.5m	9.5m	9.5m
Vo	9.3	9.41	9.46	9.49

- (5) جامپرهای شماره 1 و 3 و 6 را در بلوک Zener/Transistor Regulator قرار دهید و در محل جامپر شماره 2 آمپر متر قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



- (6) سیمهای تغذیه (GND, 0-20V) را متصل نمایید و ولتاژ ورودی را روی 18V تنظیم کنید.

- (7) ولتاژ خروجی out و جریان کلکتور را مشاهده و در جدول ثبت نمایید.

	1K	10K
Ic	9.1m	0.9m
Vo	9	9.1

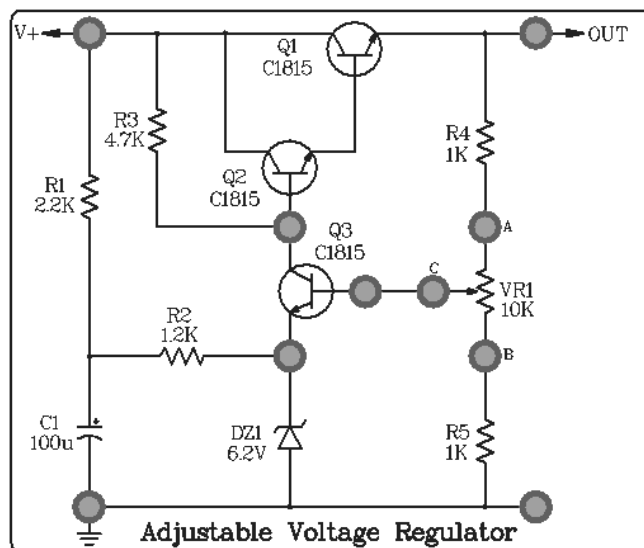
- (8) مقاومت 1K را وارد مدار کنید و ولتاژ ورودی را تغییر دهید خروجی out و جریان کلکتور را مشاهده و در جدول ثبت نمایید.

	10V	12V	15V	18V
Ic	8.7m	9.2m	9.2m	9.3m
Vo	8.7	9.2	9.2	9.3

## آزمایش 41: رگولاتور زنر- ترانزیستور

مراحل آزمایش:

(1) ولوم VR1 را به مقدار 10K در بلوک Adjustable Voltage Regulator قرار دهید.



(2) سیم‌های تغذیه (GND, 0-20V) را متصل نمایید و ولتاژ ورودی را روی 18V تنظیم کنید.

(3) ولوم را در سه مقدار مینیمم متوسط و ماکسیمم تغییر دهید و ولتاژ خروجی out و ولتاژ دو سر دیود و ولتاژ بیس

Q3 را مشاهده و در جدول ثبت نمایید.

	مینیمم	وسط	ماکسیمم
Vz	6.1	6.1	6.1
Vb	6.8	6.8	1.5
Vo	7.4	14.5	16.75

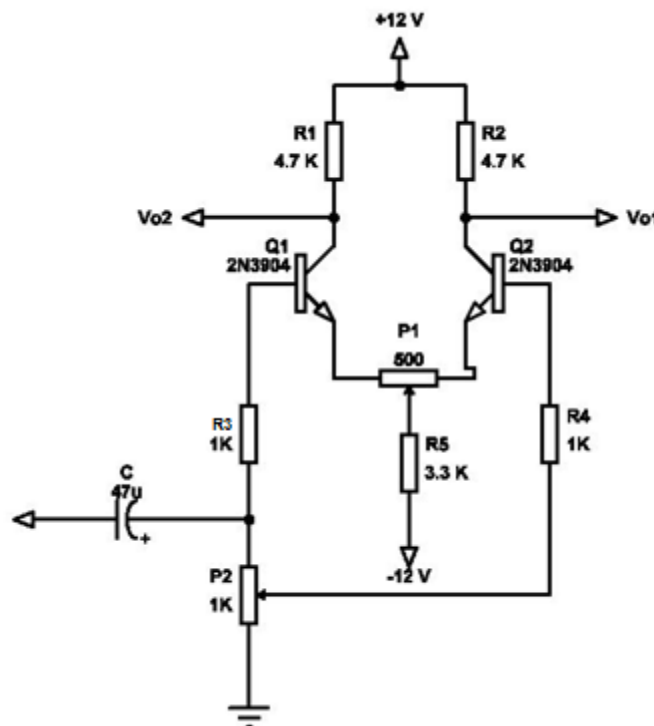
## فصل سیزدهم

مشخصه‌های اصلی تقویت‌کننده‌های عملیاتی

## مقدمه

در شکل زیر مدار یک تقویت کننده‌ی تفاضلی که در آن دو تقویت کننده امیتر مشترک به همراه یک مقاومت مشترک در امیتر به کار رفته است، دیده می‌شود. مدار دارای دو ترمینال ورودی  $V_{i1}$  و  $V_{i2}$  و دو ترمینال خروجی  $V_{o1}$  و  $V_{o2}$  است. همانطور که از اسم این تقویت کننده پیداست، سیگنال خروجی برابر است با تقویت شده‌ی تفاضل دو سیگنال ورودی که رابطه آن به صورت زیر است.

$$V_o = V_{o1} - V_{o2} = A_V (V_{i1} - V_{i2})$$



## مد مشترک

اگر دو سیگنال ورودی برابر به مدار اعمال شود  $V_{i1} = V_{i2}$ ، دو طرف مدار قرینه هم می‌شود می‌توان شکل نیم مدار را در نظر گرفت و بهره تقویت کننده را بدست آورد.

$$\frac{V_{o1}}{V_{i1}} = A_V$$

$$V_o = V_{o1} - V_{o2} = A_V (V_{i1} - V_{i2}) = 0$$

## مد تفاضلی

برای حالتی که مدار به صورت single-end input باشد و سیگنال ورودی به صورت  $V_{i1} = v_i$  و  $V_{i2} = 0$  به مدار اعمال گردد . همانطور که مشاهده می شود ورودی به بیس ترانزیستور اول اعمال می شود با توجه به خصوصیات تقویت کننده امیتر مشترک سیگنال خروجی که در کلکتور ترانزیستور اول دیده می شود در فاز معکوس نسبت به ورودی قرار خواهد داشت . در واقع اختلاف فاز بین ورودی و خروجی  $180^\circ$  می باشد .

$$\frac{V_{o1}}{V_{i1}} = -A_V$$

اگر سیگنال خروجی را از امیتر ببینیم با توجه به خصوصیات امیتر فالور ، سیگنال خروجی نسبت به ورودی بیس اختلاف فازی و تقویت دامنه ای نخواهد داشت .

با این حال چنانچه سیگنال خروجی کلکتور ترانزیستور دوم را در خروجی ببینیم با توجه به اینکه ورودی بیس آن به گونه ای تنظیم شده است که زمین باشد . پس سیگنال  $V_{o2}$  نسبت به سیگنال امیتر و در نتیجه نسبت به سیگنال ورودی اختلاف فازی ندارد .

اگر بهره ی هر دو ترانزیستور برابر  $A_V$  باشد . در نتیجه  $V_{o1} = V_{o2}$  می باشد و فقط دو سیگنال باهم  $180^\circ$  اختلاف فاز خواهند داشت.

اگر خروجی به صورت dual-end در نظر گرفته شود یعنی خروجی مدار به صورت تفاضل دو ترمینال خروجی باشد .

$$V_o = V_{o1} - V_{o2} = 2V_{o1} = -2A_V(V_{i1}) = 2A_V(V_{i2})$$

اگر ورودی به صورت dual-end در نظر گرفته شود یعنی خروجی مدار برای حالت های مختلف به صورت زیر می شود .

$$V_{o1} = -A_V(V_{i1}) + A_V(V_{i2}) = -A_V(V_{i1} - V_{i2})$$

$$V_{o2} = A_V(V_{i1}) - A_V(V_{i2}) = A_V(V_{i1} - V_{i2})$$

اگر دو سیگنال ورودی برابر در نظر گرفته شوند ، سیگنال خروجی  $V_{o1}, V_{o2}$  و  $V_o$  صفر خواهد بود .

اگر دو سیگنال ورودی به صورت زیر در نظر گرفته شوند .

$$V_{i1} = -V_{i2}$$

$$V_d = V_{i1} - V_{i2} = 2V_{i1} = -2V_{i2}$$

خروجی مدار به صورت زیر خواهد بود .

$$V_{o1} = -2A_V(V_{i1})$$

$$V_{o2} = 2A_V(V_{i1})$$

$$V_o = V_{o1} - V_{o2} = 4A_V(V_{i1})$$

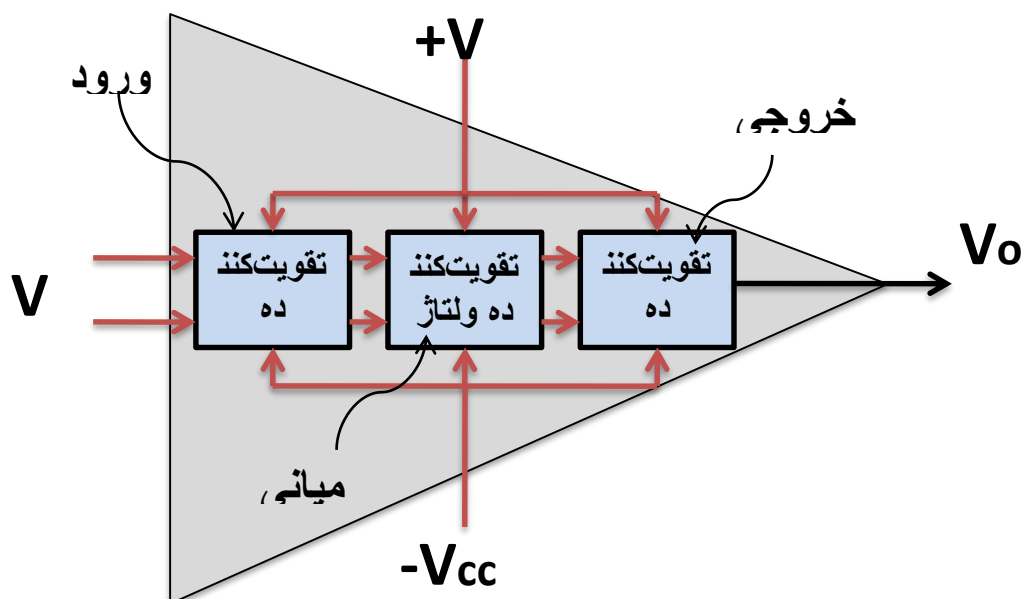
## تقویت کننده عملیاتی (Op-Amp)

تقویت کننده های عملیاتی Op-Amp (Operational Amplifier) از مهمترین مدارهای مجتمع آنالوگ هستند. این تقویت کننده ها با کوپلاژ مستقیم، بهره بسیار بالا، دارای مقاومت ورودی بسیار بزرگ و مقاومت خروجی خیلی کم می باشد. این مشخصات مناسب علی رغم محدودیت هایی مانند پاسخ فرکانس و سرعت چرخش (slew rate) کاربردهای متنوعی از این تقویت کننده ها را در مدارهای الکترونیکی و از جمله مدارهای پالس به همراه داشته است. از نظر اقتصادی نیز ارزان قیمت اند و از مزایایی چون ابعاد کوچک، قابلیت اطمینان بالا و پایداری حرارتی خوب برخوردارند.

برای نخستین بار نام تقویت کننده عملیاتی به تقویت کننده هایی اختصاص داده شد که دارای ضریب تقویت بسیار زیاد بودند. این تقویت کننده ها نیاز به ولتاژ بالایی داشتند و برای انجام عملیات ریاضی مانند جمع، تفریق، ضرب و تقسیم مورد استفاده قرار می گرفتند. با مرور زمان و پیشرفت فناوری، نوع پیش رفته و جدید تقویت کننده های عملیاتی با مشخصات ولتاژ کار کم، قیمت ارزان، دسترسی آسان، طراحی و ساخته شدند و به بازار عرضه گردیدند. این تقویت کننده ها در زمینه های مختلف نظیر کامپیوتر، سیستم های کنترل، ارتباطات، منابع تغذیه، مولد سیگنال، نمایشگر و دستگاه های اندازه گیری به کار می روند.

## بلوک دیاگرام مدار داخلی

در شکل بلوک دیاگرام مدار داخلی یک تقویت کننده عملیاتی نشان داده شده است. تقویت کننده های عملیاتی تعداد قطعات الکترونیکی زیادی دارند و به صورت های مختلف و پیچیده ساخته می شوند. در مجموع بلوک دیاگرام یک تقویت کننده عملیاتی از سه قسمت اصلی تشکیل شده است (طبقه ورودی) تقویت کننده تفاضلی، (طبقه میانی) تقویت کننده ولتاژ، (طبقه خروجی) تقویت کننده توان خروجی.





با توجه به خصوصیتی که یک تقویت کننده تفاضلی دارد این تقویت کننده می تواند به عنوان طبقه ورودی یک تقویت کننده عملیاتی مورد استفاده قرار گیرد. از آن جا که تقویت کننده عملیاتی باید دارای امپدانس ورودی بسیار بزرگی باشد، می توان در طبقه تقویت کننده تفاضلی از زوج دارلینگتون استفاده کرد.

## ولتاژ تفاضلی تقویت کننده های عملیاتی

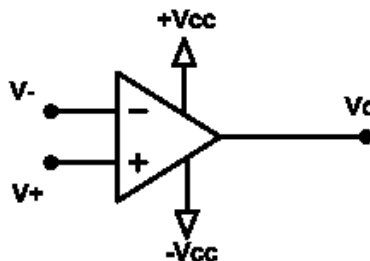
ولتاژ تفاضلی تقویت کننده های عملیاتی بصورت زیر تعریف می شود.

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

یعنی اختلاف ولتاژ بین ورودی مثبت و ورودی منفی تقویت کننده عملیاتی را ولتاژ تفاضلی گویند. تقویت کننده های عملیاتی اکثراً با گین تفاضلی (حلقه باز) مشخص می شوند، که معمولاً گین این تقویت کننده ها با ورودیهای DC و در فرکانس های خیلی کم، برابر 100000 یا بیشتر می باشد و مقدار این گین را با Ad نشان می دهند.

ولتاژ خروجی تقویت کننده های عملیاتی در حالت ایده آل بصورت زیر می باشد.

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



بنابراین پاسخ خروجی تقویت کننده عملیاتی به اختلاف ولتاژ بین ورودیها بستگی دارد چرا که اساس تقویت کننده های عملیاتی، تقویت کننده های تفاضلی می باشند. در هنگام استفاده از تقویت کننده های عملیاتی، بایستی به پایه های ورودی مثبت و منفی آن دقت کافی داشت تا اشتباه وصل نشوند. ولتاژ اعمالی به پایه های ورودی مثبت و منفی تقویت کننده عملیاتی می تواند 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 می تواند داشته باشد، که در حالت ایده آل برابر ولتاژ تغذیه مثبت ( $+V_{CC}$ ) است، به ولتاژ اشباع مثبت تقویت کننده عملیاتی معروف است، که با  $+V_{sat}$  نشان می دهیم.

**ولتاژ اشباع منفی:** ماکزیمم ولتاژ منفی از نظر قدر مطلق که خروجی تقویت کننده عملیاتی می تواند داشته باشد، که در حالت ایده آل برابر ولتاژ تغذیه منفی ( $-V_{CC}$ ) است به ولتاژ اشباع منفی تقویت کننده عملیاتی معروف است که با  $-V_{sat}$  نشان می دهیم.

چون در عمل تقویت کننده های عملیاتی ایده آل 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 می باشد.

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

$$+V_{sat} < +V_{CC}$$

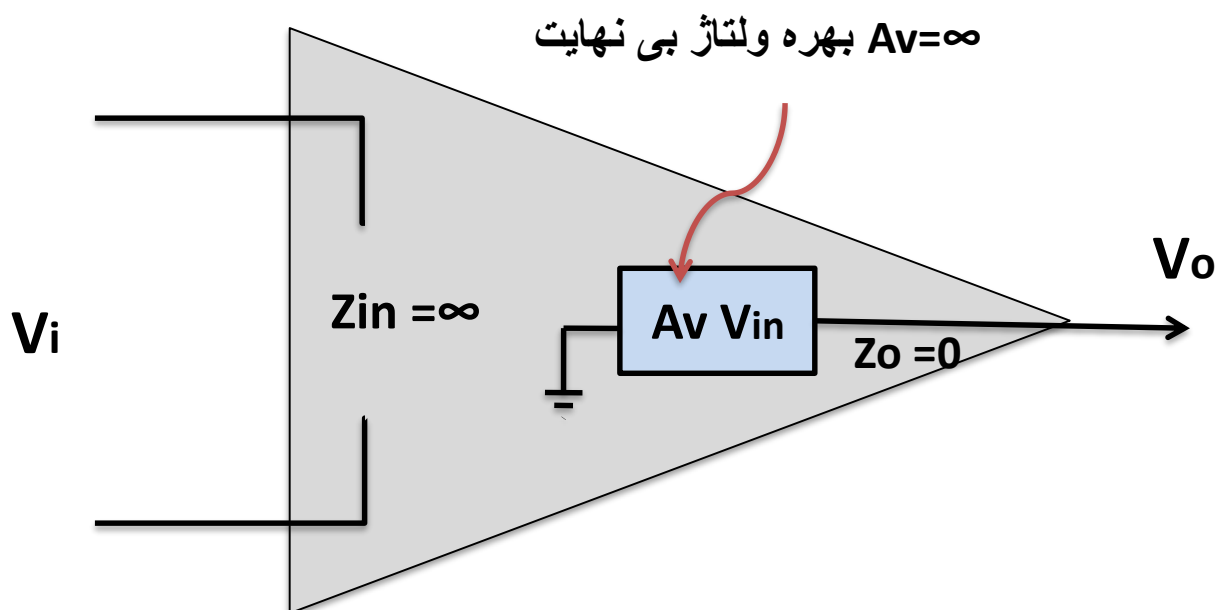
که بطور نمونه مقادیر ولتاژهای اشباع مثبت و منفی با ولتاژ تغذیه  $\pm 15$  ولت، برابر  $\pm 13$  ولت می باشد. که این مقدار در تقویت کننده های عملیاتی متفاوت می باشد. بنابراین در عمل بعلت کمتر بودن ولتاژ اشباع از ولتاژ تغذیه، ناحیه عملکرد فعال تقویت کننده های عملیاتی بین ولتاژهای  $-V_{sat}$  و  $+V_{sat}$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

## تقویت کننده عملیاتی ایده آل

یک تقویت کننده عملیاتی ایده آل باید دارای مشخصاتی به شرح زیر باشد:

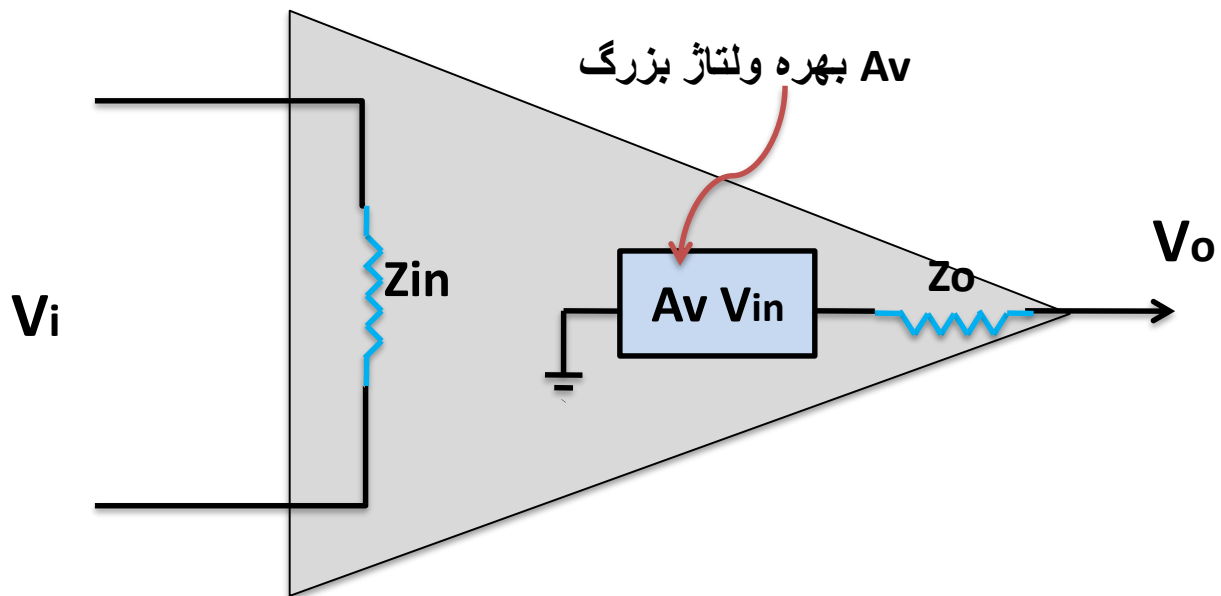
- مقاومت ورودی بی نهایت
- مقاومت خروجی صفر
- بهره ولتاژ بی نهایت
- بهره جریان بی نهایت

در شکل این مشخصات نشان داده شده است.



## مشخصات تقویت کننده عملیاتی واقعی

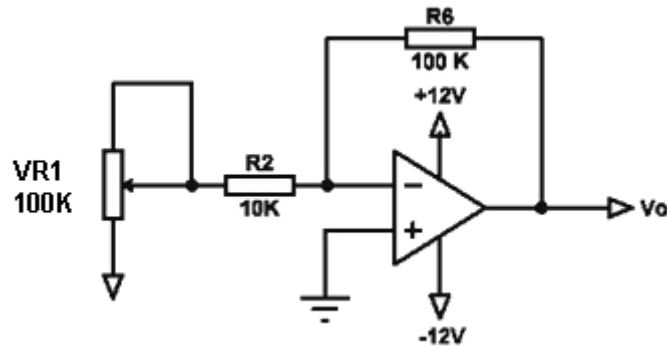
تقویت کننده عملیاتی ایده آل، در عمل وجود ندارد ولی کارخانه های سازنده سعی می کنند تا حد امکان به این ضرایب نزدیک شوند. تقویت کننده های عملیاتی به صورت مدارهای مجتمع یک پارچه ساخته می شوند که معمول ترین آن ها آی سی 741 XX است.



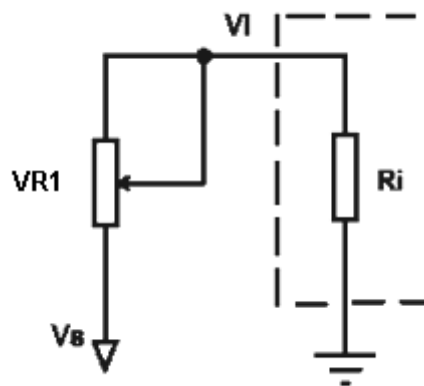
تقویت کننده های سری 741 غالباً دارای مشخصات تقریبی به شرح زیر هستند:

مقاومت خروجی	$Z_o = 50\Omega$
مقاومت ورودی	$Z_i = 2\text{ }M\Omega$
بهره ولتاژ	$A_v = 2 \times 10^5$
بهره جریان	$A_i = 2 \times 10^9$

## اندازه گیری امپدانس ورودی تقویت کننده



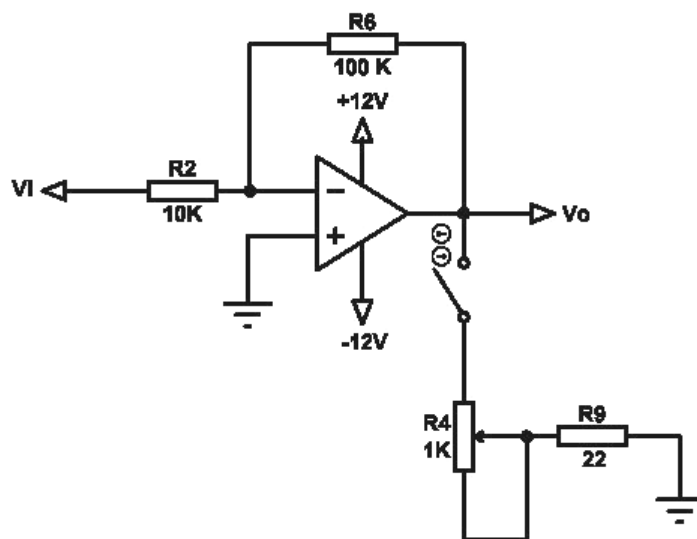
امپدانس ورودی Op-Amp در حالت ایده آل بی نهایت و مقدار واقعی آن بسیار بزرگ است. در مدار فوق مقادیر دو مقاومت  $R_2$ ,  $R_6$  بر روی میزان مقاومت ورودی مدار تاثیر گذار است. برای اندازه گیری مقاومت ورودی میتوان از یک پتانسیومتر به صورت بالا در ورودی مدار استفاده کرد. می توان مدار را به صورت زیر مدل نمود.



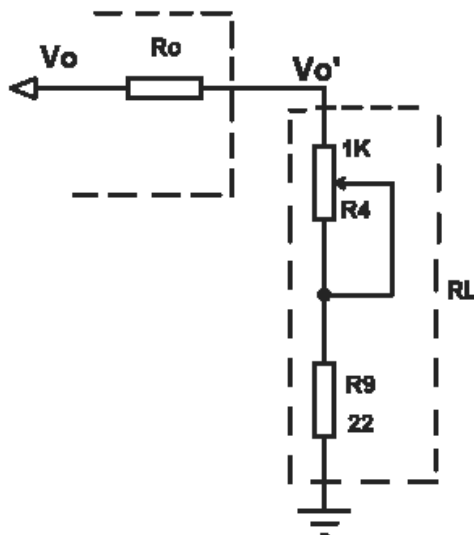
اگر پتانسیومتر به گونه ای تنظیم شود که  $V_i = \frac{V_s}{2}$  باشد در اینصورت مقاومت پتانسیومتر برابر مقدار مقاومت ورودی خواهد بود.

$$R_i = P_1$$

## اندازه گیری امپدانس خروجی تقویت کننده



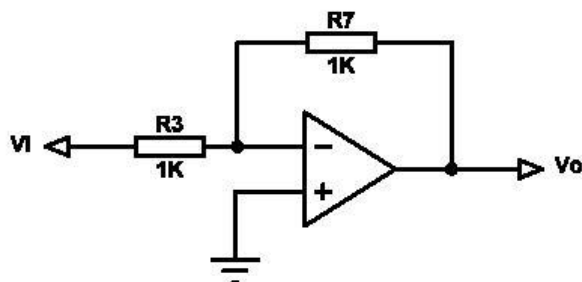
به روشی مشابه روش بالا می توان مقاومت خروجی را نیز اندازه گیری نمود . در خروجی مدار از یک پتانسیومتر به صورت بالا استفاده است . می توان مدار را به صورت زیر مدل نمود .



اگر پتانسیومتر به گونه ای تنظیم شود که  $V_o' = \frac{V_o}{2}$  باشد در اینصورت مقدار مقاومت  $R_L$  برابر مقدار مقاومت خروجی خواهد بود.

$$R_o = R_L = R_4 + 22\Omega$$

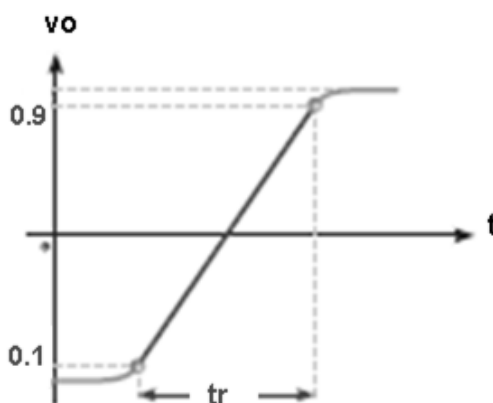
## مقدار Slew Rate در تقویت کننده



در لحظه تغییر دامنه موج ورودی از مقدار مینیمم به مقدار ماکزیمم خود، خروجی به سرعت از آن پیروی نمی کند و مدتی طول می کشد تا خروجی از مقدار مینیمم به مقدار ماکزیمم خود برسد. نسبت تغییرات موج خروجی  $\Delta V_o$  به فاصله زمانی پرش موج خروجی  $\Delta t$ ، سرعت چرخش  $SR$  نام دارد.

$$SR = \frac{\Delta V_o}{\Delta t}$$

برای مثال اگر موج ورودی یک op-Amp به صورت پله ای و شکل ولتاژ خروجی به صورت شکل زیر باشد. سرعت چرخش آن به صورت زیر است.



چون ولتاژ خروجی ایده آل نیست، حداکثر تغییرات ولتاژ خروجی را در ۹۰ درصد دامنه ماکزیمم آن را در نظر می گیریم. تغییر زمان از 0.1 تا 0.9 مقدار ماکسیمم برابر  $t_r$  است.

$$SR = \frac{0.8 V_{pp}}{t_r}$$

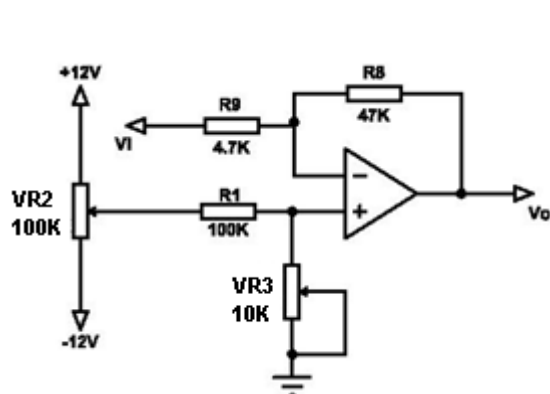
## پهنای باند در تقویت کننده

پهنای باند ایده آل برای Op-Amp بی نهایت است ولی در واقعیت اینگونه نمی باشد. اگر پهنای باند کم باشد برای مدارات فرکانس بالا مناسب نمی باشد.

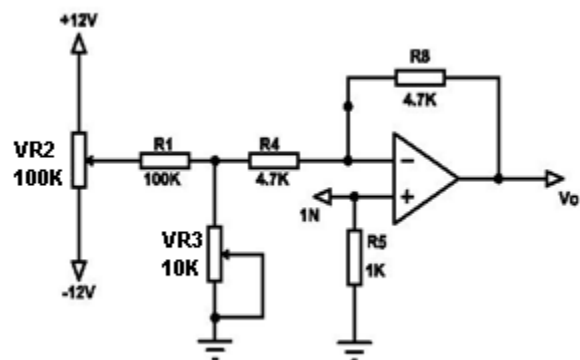
برای اندازه گیری پهنای باند تقویت کننده مقدار دامنه سیگنال ورودی و خروجی و سپس بهره آن را با تغییر فرکانس از کمترین مقادیر به بالا اندازه گیری می کنیم.

## تنظیم ولتاژ Offset در تقویت کننده

در حالت ایده آل ولتاژ خروجی Op-Amp، اگر ورودی صفر باشد صفر می شود ولی در عمل اینگونه نیست. و معمولا برای ورودی صفر خروجی صفر نمی شود. با تنظیم مقادیر مقاومت در پایه ورودی می توان آفست را حذف نمود.



تقویت کننده غیر معکوس کننده



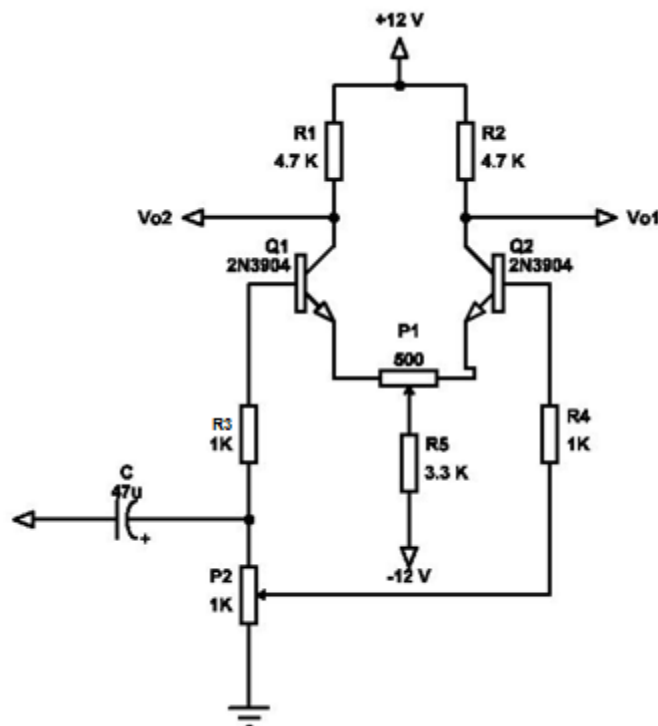
تقویت کننده معکوس کننده



## آزمایش 42: بررسی تقویت کننده تفاضلی در مد مشترک

مراحل آزمایش:

(1) اتصالات تغذیه (+12V, GND, -12V) را در بلوک Transistor Differential Amplifier متصل نمایید.



(2) خروجی فانکشن ژنراتور را به ورودی IN1 متصل نمایید و به کمک یکی از کانال‌های اسیلوسکوپ موج ورودی را مشاهده نمایید. کانال دیگر را به یکی از خروجی‌ها متصل نمایید.

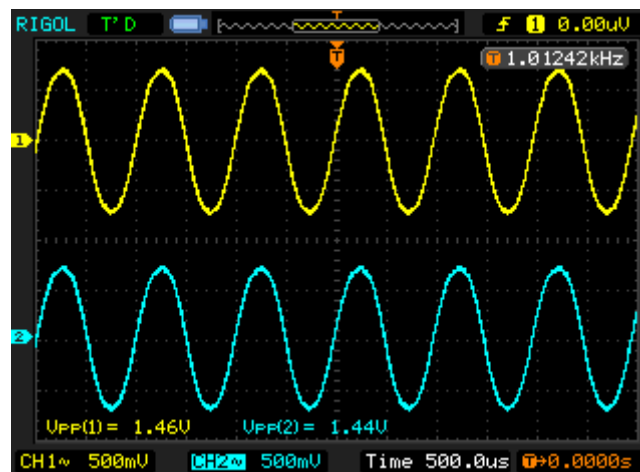
(3) پتانسیومتر P2 را در جهت عکس عقربه‌های ساعت تا انتها الیه بچرخانید تا سیگنال ورودی در بیس هر دو ترانزیستور تقریباً برابر شود ( $V_{in1}=V_{in2}$ ).

( ورودی دوم، همان پین سر وسط پتانسیومتر P2 می‌باشد )

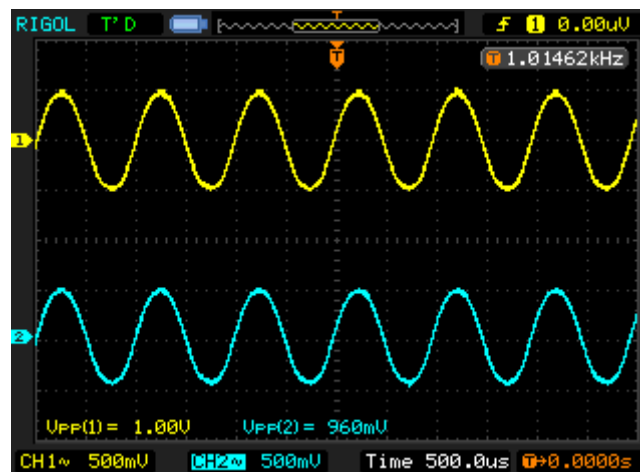
(4) فرکانس خروجی فانکشن ژنراتور را روی 1KHz قرار داده و دامنه آن را روی حداکثر قرار داده و آرام پایین بیاورید تا جایی که اعوجاجی در شکل موج خروجی وجود نداشته باشد. (حدوداً 1VP-P).

(5) حال با استفاده از هر دو کانال اسیلوسکوپ خروجی های Vo1 و Vo2 را هم زمان مشاهده نمایید. با تنظیم ولوم P1 دامنه هر دو خروجی را در وضعیت یکسان قرار دهید.

(6) شکل موج‌های IN1، IN2، OUT1، OUT2 و OUT1 (نسبت به OUT2) را اندازه‌گیری و ثبت نمایید.



IN1 & IN2.



OUT1 & OUT2.

همچنین خروجی OUT (OUT1 نسبت به OUT2) نیز صفر می باشد .

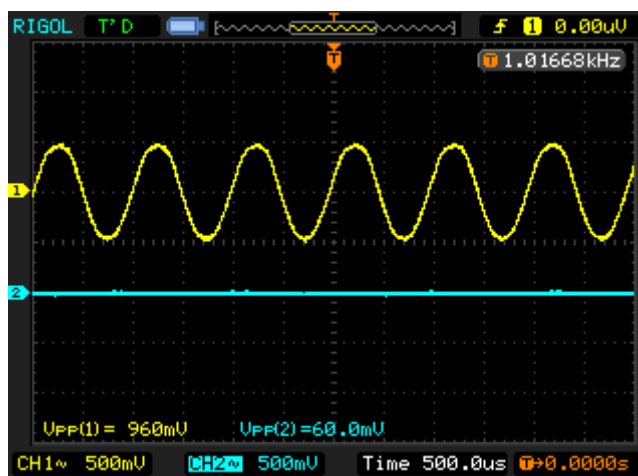
نکته : در هنگام اندازه گیری دو خروجی نسبت به همدیگر ، فقط یک کانال اسیلوسکوپ می بایست در مدار باشد . دلیل این

کار متصل بودن زمین هر دو کانال اسیلوسکوپ به یکدیگر می باشد .

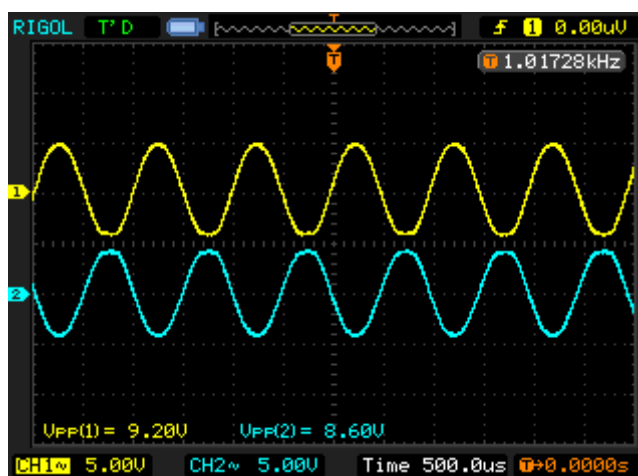
## آزمایش 43: بررسی تقویت کننده تفاضلی در مد تفاضلی

مراحل آزمایش:

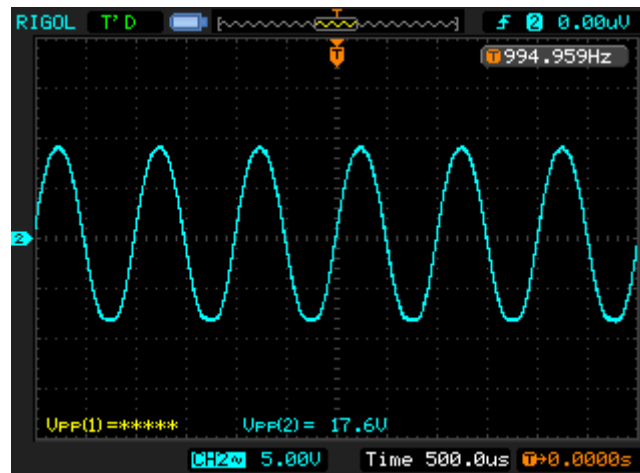
- (1) ولوم p2 را در جهت عقربه‌های ساعت تا انتها الیه بچرخانید تا سیگنال ورودی دو حداقل شود ( $V_{in2}=0$ ) ورودی دو همان پین سر وسط ولوم p2 می‌باشد.
- (2) مرحله 6 از آزمایش قبلی را مجدداً انجام داده و نتایج را ثبت و بررسی نمایید.



IN1 & IN2.



OUT1 & OUT2 .



OUT. ( OUT1 نسبت به OUT2 )

نکته : در هنگام اندازه گیری دو خروجی نسبت به همدیگر ، فقط یک کانال اسیلوسکوپ می بایست در مدار باشد .

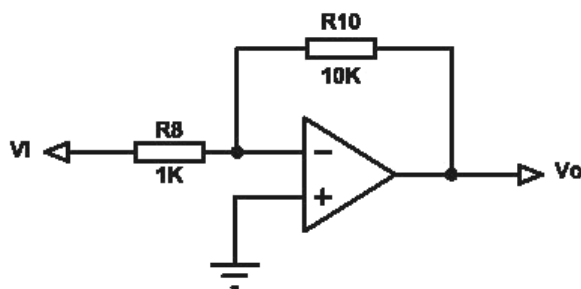
دلیل این کار متصل بودن زمین هر دو کانال اسیلوسکوپ به یکدیگر می باشد .

## آزمایش 44: تقویت کننده معکوس کننده

مراحل آزمایش:

(1) جامپ‌های شماره 7 و 10 را در بلوک Inverting/Non-Inverting Amplifier / Voltage Follower /

Subtractor/ Adder قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



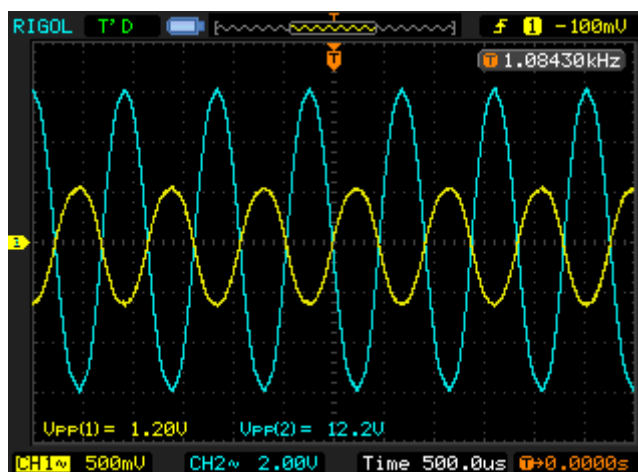
(2) اتصالات تغذیه (-12V, GND, +12V) را متصل نمایید.

(3) فانکشن ژنراتور را روی موج سینوسی 1KHz قرار داده و به ورودی IN1 متصل نمایید. کانال یک اسیلوسکوپ را به

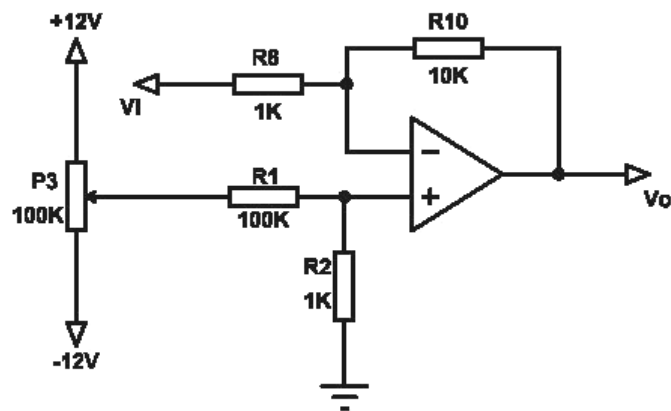
خروجی متصل نمایید. سپس دامنه سیگنال ورودی را به آرامی تا اندازه‌ای بالا ببرید تا بیشترین دامنه بدون اعوجاج

را در اسیلوسکوپ ببینید.

(4) شکل موج‌های ورودی و خروجی را مشاهده نمایید.

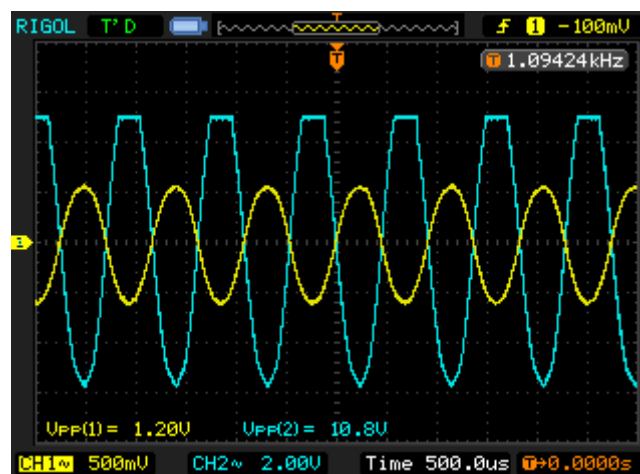


(5) جامپر شماره 7 را خارج کرده و جامپرهای شماره 4 و 5 را قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



(6) شکل موج‌های ورودی و خروجی را مشاهده نمایید.

(7) ولوم p3 را تغییر دهید و اثر آن را روی شکل موج خروجی بررسی کنید و دلیل به اشباع رفتن آن را بیان کنید.



(8) فانکشن ژنراتور را از مدار جدا نموده و جامپر شماره 3 را قرار دهید تا ورودی IN1 به زمین متصل شود. مقدار DC

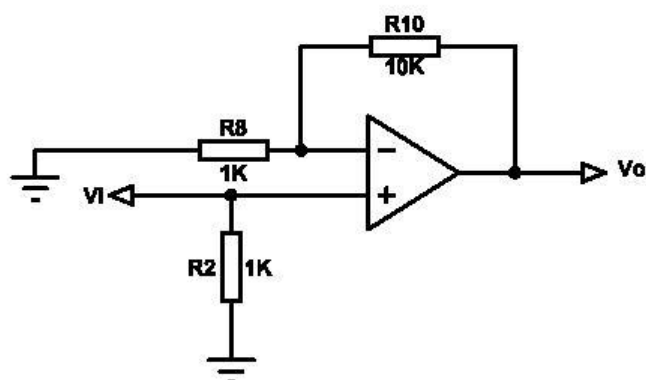
خروجی را توسط اسیلوسکوپ یا ولت‌متر اندازه‌گیری نمایید. سپس ولوم VR3 را طوری تنظیم کنید که  $V_{out}=0V$

شود. در این حالت مجدداً سیگنال را به ورودی IN1 متصل نموده و شکل موج خروجی را بررسی کنید.

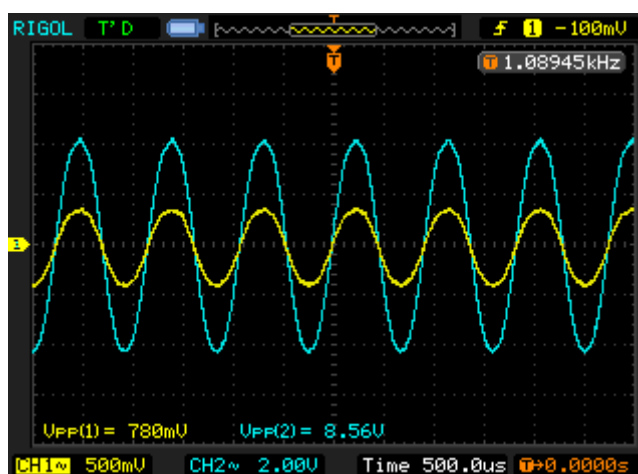
## آزمایش 45: تقویت کننده غیر معکوس کننده

مراحل آزمایش:

- 1) جامپرهای شماره 3 و 5 و 10 را در بلوک Inverting/Non-Inverting Amplifier / Voltage Follower / Subtractor/ Adder قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



- 2) اتصالات تغذیه (-12V, GND, +12V) را متصل نمایید.
- 3) فانکشن ژنراتور را روی موج سینوسی 1KHz قرار داده و به ورودی IN2 متصل نمایید. کانال یک اسیلوسکوپ را به خروجی متصل نمایید. سپس دامنه سیگنال ورودی را به آرامی تا اندازه‌ای بالا ببرید تا بیشترین دامنه بدون اعوجاج را در اسیلوسکوپ ببینید.
- 4) شکل موج‌های ورودی و خروجی را مشاهده و نتایج را ثبت و بررسی نمایید.

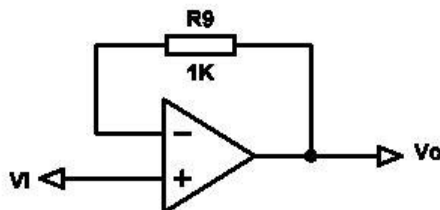


## آزمایش 46: دنبال کننده ولتاژ (بافر)

مراحل آزمایش:

(1) جامپر شماره 9 را در بلوک Inverting/Non-Inverting Amplifier / Voltage Follower /

Subtractor/ Adder قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



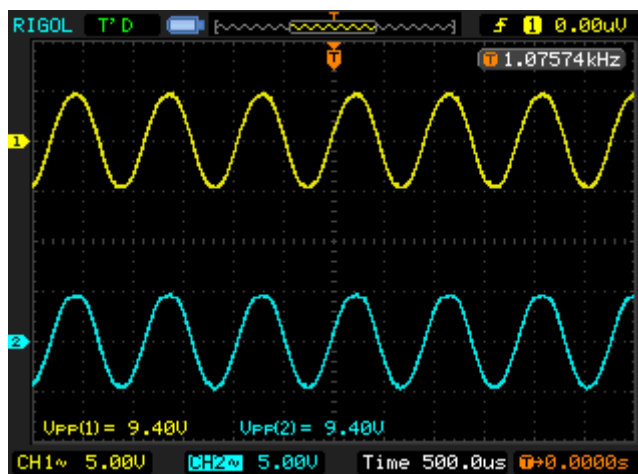
(2) اتصالات تغذیه (-12V, GND, +12V) را متصل نمایید.

(3) فانکشن ژنراتور را روی موج سینوسی 1KHz قرار داده و به ورودی IN2 متصل نمایید. کانال یک اسیلوسکوپ را به

خروجی متصل نمایید. سپس دامنه سیگنال ورودی را به آرامی تا اندازه‌ای بالا ببرید تا بیشترین دامنه بدون اعوجاج

را در اسیلوسکوپ ببینید.

(4) شکل موج‌های ورودی و خروجی را ثبت نمایید.



(5) مقدار دامنه شکل موج ورودی را به طور تصادفی تغییر دهید و بررسی کنید که آیا سیگنال ورودی کاملاً مطابق با

سیگنال خروجی است یا نه.

(6) جامپر شماره 9 را خارج نموده و جامپر شماره 8 را جایگزین نمایید و مراحل (3) تا (5) را تکرار نمایید و بررسی

کنید که آیا وجود مقاومت‌های مختلف در مسیر فیدبک، نقشی در عملکرد مدار دارد؟

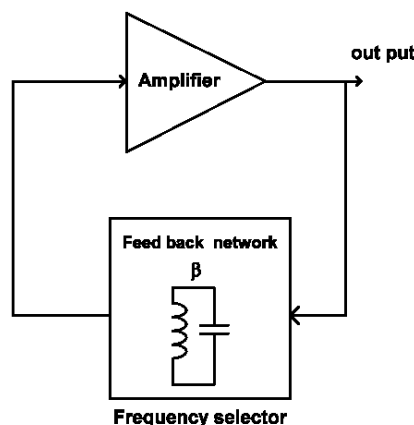


## فصل چهاردهم

نوسان ساز (اسیلاتور)

## مقدمه

اسیلاتور یک سیگنال ژنراتور ساده می باشد که در حقیقت بدون هیچ سیگنال ورودی و فقط با اعمال یک سطح dc ، در خروجی سیگنالی تولید می کند. اسیلاتورها نقش زیادی در راه اندازی سیستم های مخابراتی ایفا می کنند. اصولاً اسیلاتورها یک سیگنال حامل یا یک بلوک با نام اسیلاتور محلی تولید می کنند که می تواند در هر سیستم مخابراتی بکار گرفته شوند. شکل زیر به طور کلی بلوک دیاگرام یک اسیلاتور را نشان می دهد که شامل یک آمپلی فایر و یک مدار فیدبک می باشد.



زمانی که یک سطح dc به مدار اعمال می شود نویزی در مدار بوجود می آید که توسط یک آمپلی فایر تقویت شده و توسط مدار فیدبک به ورودی برگردانده می شود. مدار فیدبک تشکیل شده است از یک مدار رزونانس و یک فیلتر. سیگنال برگشت داده شده توسط مدار فیدبک تقویت می شود و عمل فیدبک دوباره صورت می گیرد. اگر سیگنال برگشتی همفاز سیگنالی باشد که در ورودی مدار آمپلی فایر موجود است و بهره ولتاژ کافی نیز وجود داشته باشد نوسانگر شروع به نوسان می نماید

یک اسیلاتور جهت عملکرد مطلوب میبایست از اصل بارک هاووزن تبعیت نماید. اصل بارک هاووزن یک رابطه بین گین آمپلی فایر  $A$  و ضریب  $\beta$  می باشد که می بایست بزرگتر و یا مساوی با 1 باشد.

$$A\beta(s) \geq 1$$

که:

$A$  = گین تقویت کننده

$\beta$  = ضریب فیدبک اسیلاتور

در آزمایش های این فصل از اسیلاتورهای ترانزیستوری استفاده شده است. یک تقویت کننده ی ترانزیستوری با منحنی مشخصه غیر خطی  $I_c - V_{be}$  به عنوان یک محدود کننده دامنه بکار گرفته می شود.

یک نوسان ساز با عملکرد محدود کننده به عنوان یک نوسان ساز خود محدود کننده نامیده می شود که در این صورت است که اصل بارک هاوزن برابر یک می شود. بنابراین دیگر نیازی به متصل شدن به تقویت کننده های محدود کننده ندارد.

## اسیلاتور کولپیتس

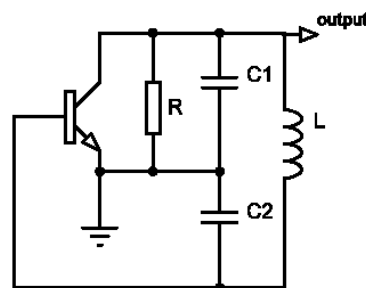
در شکل زیر یک مدار معادل AC از نوسان ساز colpits نشان داده شده است. به محض اینکه مدار LC موازی بین بیس کلکتور ترانزیستور متصل می شود یک ولتاژ برگشتی جزئی در امپتر ترانزیستور جاری می شود که از طریق یک مدار تقسیم ولتاژ به خازن های  $C_1$  و  $C_2$  اعمال می شود.

در این مدار مقاومت R نشان داده شده با جمع امپدانسهای خروجی حاصل از سلف و خازن ها امپدانس خروجی کل ایجاد می کند.

اگر فرکانس خیلی بالا نباشد می توان از خازن داخلی ترانزیستور در محاسبه فرکانس نوسان ساز صرف نظر نمود .

فرمول زیر بیانگر فرکانس خروجی می باشد :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \left( \frac{C_2 C_1}{C_2 + C_1} \right)}}$$



مدار معادل AC اسیلاتور کولپیتس

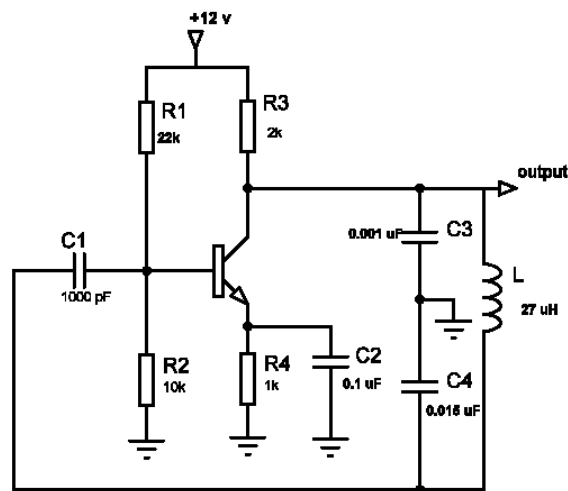
در مدار نوسان ساز کولپیتس ضریب فیدبک ( $\beta$ ) برابر است با  $\frac{C_1}{C_2}$  و بهره ولتاژ (A) برابر است با  $g_m R$  مطابق با فرمول های زیر :

$$A\beta(s) = 1 \quad \rightarrow \quad g_m R \frac{C_1}{C_2} = 1 \quad \text{یا} \quad g_m R = \frac{C_2}{C_1}$$

در آغاز نوسان سازی گین می بایستی کوچکتر از یک باشد بنابراین می توان گفت :

$$g_m R \geq \frac{C_2}{C_1}$$

شکل زیر یک مدار نوسان ساز کولپیتس عملی را نشان می دهد. مقاومت های R1 و R2 و R3 و R4 بایاس ترانزیستور را فراهم می کند خازن C1 بعنوان یک خازن کوپلینگ و خازن C2 به عنوان یک خازن بای پاس عمل می کند. همچنین فرکانس بوجود آمده به مقادیر C3 و C4 و L وابسته می باشد.



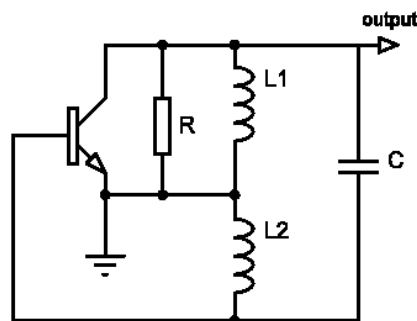
مدار اسیلاتور کولپیتس

## اسیلاتور هارتلی

شکل زیر مدار معادل AC یک نوسان ساز هارتلی را نشان می دهد. مدار LC موازی که یک مدار رزونانس محسوب می شود بین کلکتور و بیس ترانزیستور متصل شده است. با این تفاوت که دو عدد سلف  $L_1$  و  $L_2$  جایگزین دو عدد خازن شده اند.

مقاومت  $R$  نیز به همراه امپدانس های سلف ها و خازن  $C$  امپدانس خروجی را تشکیل می دهد. همانند نوسان ساز کولپس اگر فرکانس خیلی بالا نباشد می توان در محاسبات فرکانس خروجی از خازن داخلی ترانزیستور صرف نظر نمود. فرمول زیر بیانگر این مطلب می باشد:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_1+L_2)C}} \quad (\text{HZ})$$



مدار معادل AC اسیلاتور هارتلی

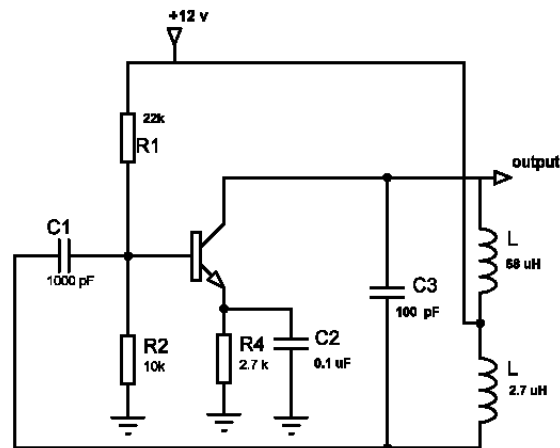
در نوسان ساز هارتلی ضریب فیدبک ( $\beta$ ) برابر است با  $\frac{L_2}{L_1}$  و بهره ولتاژ ( $A$ ) برابر است با  $g_m R$ :

$$A\beta(s) = 1 \quad \rightarrow \quad g_m R \frac{L_2}{L_1} = 1 \quad \text{یا} \quad g_m R = \frac{L_1}{L_2}$$

در آغاز نوسان سازی گین می بایست کوچکتر از یک باشد بنابراین می توان گفت:

$$g_m R \geq \frac{L_1}{L_2}$$

شکل زیر یک مدار عملی از نوسان ساز هارتلی را نشان می دهد مقاومت های  $R1$  و  $R2$  و  $R3$  بایاس ترانزیستور را فراهم می کند. خازن  $C1$  کوپلاژ و خازن  $C2$  یک خازن بای پاس می باشد. همچنین خازن  $C3$  به همراه سلف  $L1$  و  $L2$  یک مدار رزونانس را تشکیل می دهد که در عملکرد تولید فرکانس خروجی نقش اساسی را ایفا می کند.



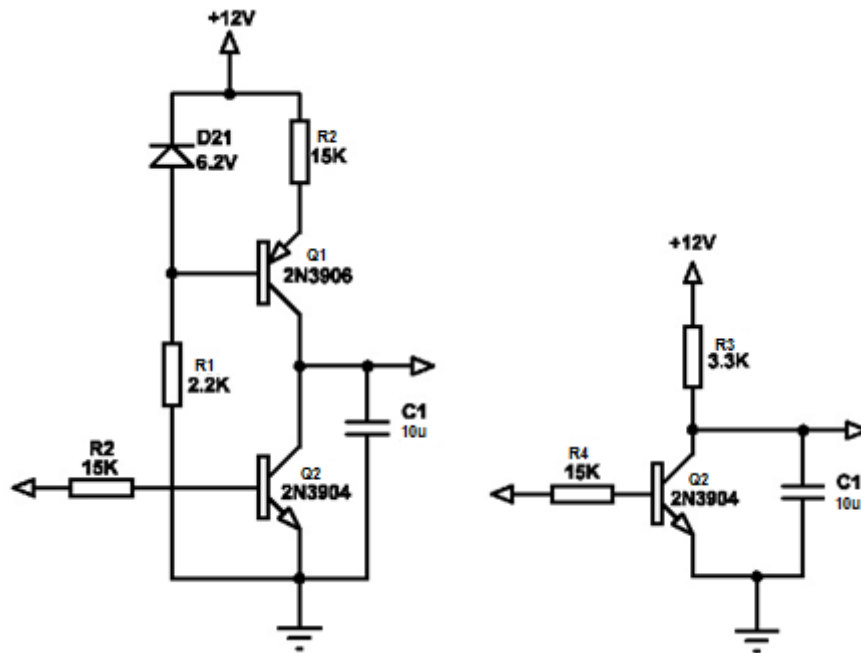
مدار اسیلاتور هارتلی

به استثنای نوسان سازهای ذکر شده در بالا نمونه های بسیار زیادی از نوسان های عملی دیگری نیز موجود می باشد. به عنوان مثال، نوسان ساز RC که برای ساختار فرکانس پایین و یا نوسان سازهای clamp و یا pierce که برای پایداری بالا مورد استفاده قرار می گیرد .

## 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 می توان ایجاد کرد اما نحوه عملکرد در تمام روش ها تقریباً یکسان است و بر اساس شارژ و دشارژ خازن است. بین موج مورب ایده ال و واقعی تفاوتی هست که به آن خطای شیب می گویند.

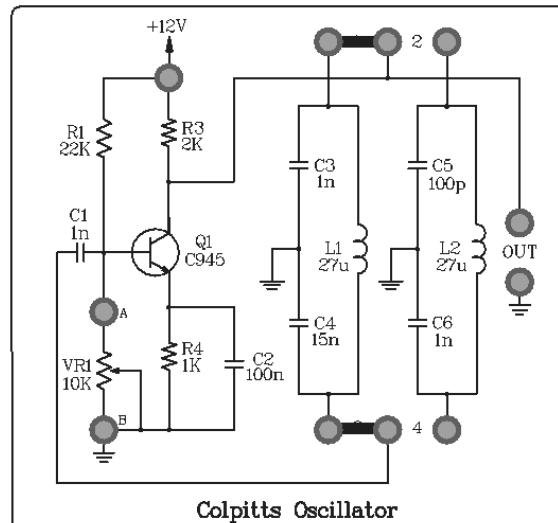


دو نمونه از مدار مولد موج مورب

## آزمایش 47: اسیلاتور کولپیتس

## مراحل انجام آزمایش:

- 1- مدار اسیلاتور کولپیتس را روی بلوک colpitts oscillator مشاهده نمایید. جامپرهای 1 و 3 را در مدار قرار داده تا خازن C3 برابر با 1nf و خازن C4 برابر با 15nf و سلف L1 برابر با 27μH انتخاب گردد.



- 2- ورودی عمودی اسیلوسکوپ را در وضعیت AC قرار داده و به خروجی مدار اسیلاتور متصل نمایید. شکل موج خروجی را مشاهده و با اندازه گیری فرکانس در جدول ثبت نمایید.
- 3- با استفاده از فرمول زیر فرکانس موج خروجی را محاسبه و با مقدار تولید شده مقایسه نمایید.

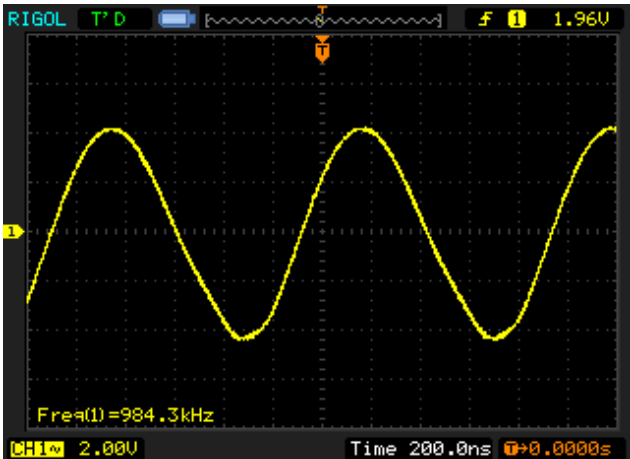
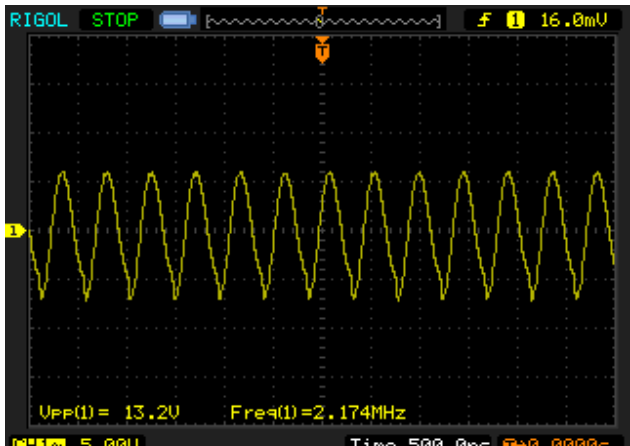
$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \frac{C1C2}{C1 + C2}}}$$

- 4- جامپرهای 1 و 3 را قطع و جامپرهای 2 و 4 را وصل نمایید تا خازن C5 معادل 100pf و خازن C6 معادل 1nf و سلف L2 معادل 27μH در مدار قرار گیرد. حال مراحل 2 و 3 را تکرار و در جدول ثبت نمایید.

نکته: به دلیل استفاده از یک نوع مدار بایاس برای دو مدار تانک قسمتی از موج ممکن است به اشباع برود و یا اینکه سیگنالی در خروجی مشاهده نشود. برای حل این مشکل، ولوم قرار داده شده روی بیس ترانزیستور را به آرامی تغییر داده تا سیگنال خروجی بدون برش ظاهر شود. اگر با این عمل موفق به تولید سیگنال مطلوب نشدید پروب +12 ولت وارد شده به ماژول را قطع کرده و به تغذیه متغیر مثبت 0 تا +20 ولت وصل نمایید و با تغییر ولتاژ تغذیه، سیگنال مطلوب را در خروجی تولید نمایید.

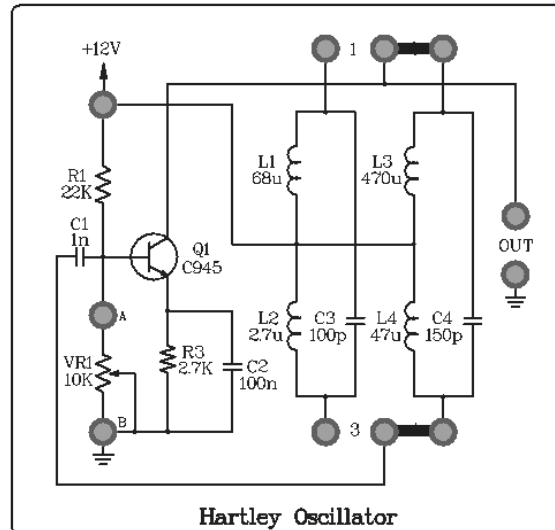


به دلیل تبعیت فرکانس خروجی از مقدار سلف و خازن در تمامی مراحل تنظیمات ، فرکانس ثابت باقی خواهد ماند .

	فرکانس محاسبه شده	فرکانس اندازه گیری شده	شکل موج
1	1MHz	980KHz	
2	2MHz	2.19MHz	

## آزمایش 48: اسیلاتور هارتلی

مراحل انجام آزمایش:



1- مدار اسیلاتور هارتلی که روی بلوک Hartley Oscillator قرار دارد را مشاهده و جامپرها را در وضعیت 1 و 3 قرار دهید تا سلف های

$L_1 = 68\mu H$  و  $L_2 = 2.7\mu H$  و خازن  $C_3 = 100PF$  انتخاب گردند.

2- ورودی عمودی اسیلوسکوپ را در وضعیت AC قرار داده و به خروجی اسیلاتور هارتلی متصل نمایید.

شکل موج و فرکانس خروجی را مشاهده و در جدول 1-2 ثبت کنید. اگر عملکرد مدار نامناسب است.

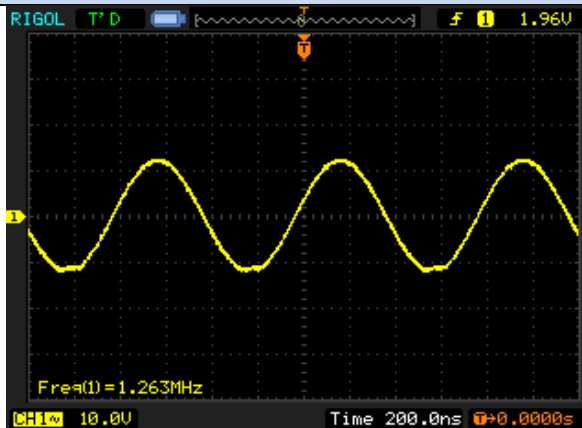
3- با استفاده از فرمول  $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{C(L_2+L_1)}}$  فرکانس موج خروجی را محاسبه و در جدول 1-2 ثبت کنید.

4- این بار جامپرها را در وضعیت 2 و 4 قرار دهید تا خازن  $C_3$  با  $C_4$  (150pf) و  $L_1$  با  $L_3$  ( $47\mu H$ ) و  $L_2$  با  $L_4$  ( $470\mu H$ )

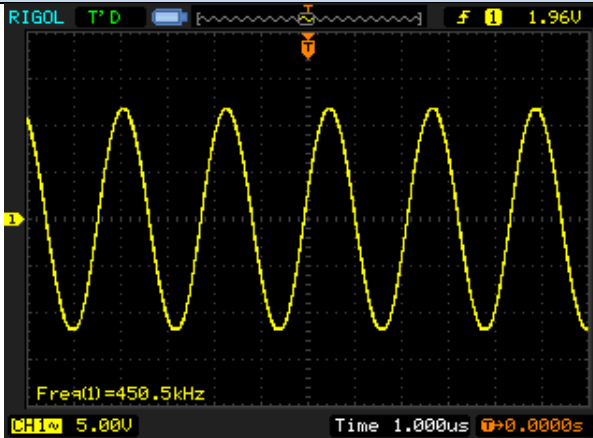
عوض شود مراحل 2 و 3 را تکرار کنید.

نکته: به دلیل استفاده از یک نوع مدار بایاس برای دو مدار تانک قسمتی از موج ممکن است به اشباع برود و یا اینکه سیگنالی در خروجی مشاهده نشود. برای حل این مشکل، ولوم قرار داده شده روی بیس ترانزیستور را به آرامی تغییر داده تا سیگنال خروجی بدون برش ظاهر شود. اگر با این عمل موفق به تولید سیگنال مطلوب نشدید پروب +12 ولت وارد شده به مازول را قطع کرده و به تغذیه متغیر مثبت 0 تا +20 ولت وصل نمایید و با تغییر ولتاژ تغذیه، سیگنال مطلوب را در خروجی تولید نمایید. به دلیل تبعیت فرکانس خروجی از مقدار سلف و خازن در تمامی مراحل تنظیمات، فرکانس ثابت باقی خواهد ماند.

جدول 1-3

فرکانس محاسبه شده	فرکانس اندازه گیری شده	شکل موج
1.82MHz	1.26MHz	

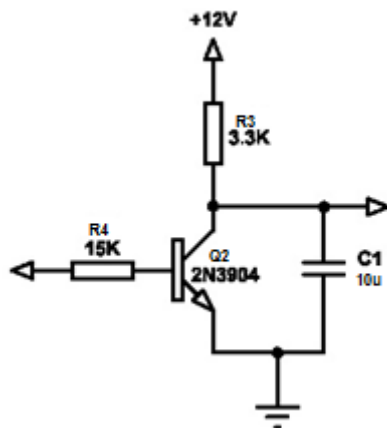
جدول 1-4

فرکانس محاسبه شده	فرکانس اندازه گیری شده	شکل موج
571KHz	450KHz	

## آزمایش 49: مولد موج مورب (Ramp)

مراحل آزمایش:

(1) جامپر شماره 3 را در Sawtooth Generator قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.

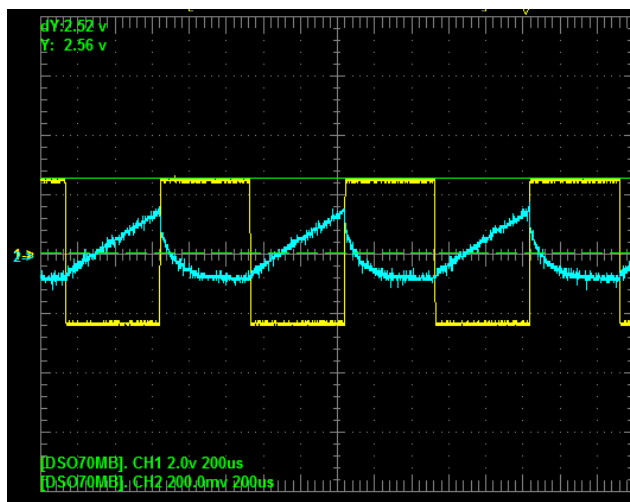


شکل 20-2

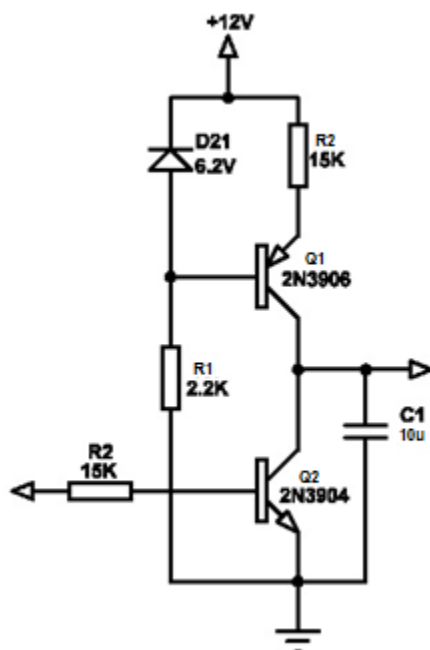
(2) سیم‌های تغذیه (+12V, GND) را در Sawtooth Generator متصل نمایید.

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

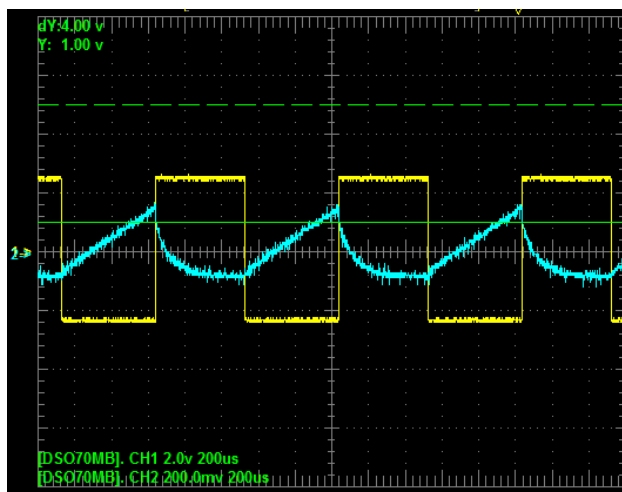
(4) شکل موج‌های ورودی و خروجی را به طور همزمان در اسیلوسکوپ مشاهده نموده و رسم نمایید.



(5) جامپرهای شماره 3 را خارج نموده و جامپرهای شماره 2 و 1 را قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



(6) مراحل (3) و (4) را تکرار نمایید.



## فصل پانزدهم

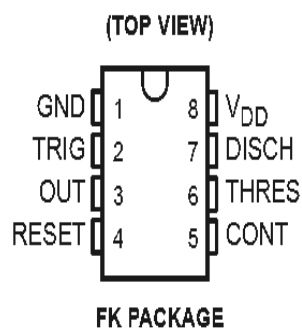
مدارات مولتی ویبراتور با آی سی 555

## مقدمه

آی سی 555 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 بیسهای (time base) نسبتا دقیق (بدون استفاده از کریستال، تقریبا مستقل از تغییرات ولتاژ منبع تغذیه و حرارت می باشد. این IC در بسته های 8 پایه DIP دو ردیف پایه قرینه در طرفین (Dual Inline Package) و نوع دیگر Metal can package (قابلمه ای) که در انواع قدیمیتر و یا در جاهائیکه دفع حرارت بیشتر مورد نیاز باشد، ساخته می شود.

ولتاژ تغذیه IC چیزی بین 5 تا 15 ولت و حداکثر 18 ولت است. خروجی این (IC پایه 3) دارای دو سطح ولتاژ بالا نزدیک به VCC و پائین نزدیک به (GND) است و باری را که تا 200 میلی آمپر جریان بکشد، می تواند تغذیه کند. از این رو مستقیما 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.



## پایه های IC :

## تغذیه

پایه 8 به یک ولتاژ مثبت و پایه 1 به زمین وصل می شود. 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 5 کیلو اهمی (وجه تسمیه این IC یعنی 555) تقسیم شده و با توجه به امپدانس ورودی زیاد مقایسه کننده ها ، ولتاژهای  $VCC/3$  و  $VCC/2$  را به ترتیب در ورودی منفی تقویت کننده اول و ورودی مثبت مقایسه کننده دوم بوجود می آورد .

## خروجی

پایه 3 از طریق یک تقویت کننده جریان ، ولتاژ خروجی فلیپ فلاپ را برای استفاده به خارج IC منتقل می کند .

## تریگر

چنانچه ولتاژ پایه 2 از  $VCC/3$  کمتر شود ، با توجه به ورودی های مقایسه کننده آنالوگ دوم خروجی این مقایسه کننده بالا رفته و باعث ست شدن فلیپ فلاپ  $Q=1$  ( که با لبه بالا رونده کار می کند) می گردد. یعنی خروجی فلیپ فلاپ یا خروجی خود IC در این حالت بالا می رود و حتی اگر ولتاژ پایه 2 باز هم از  $VCC/3$  بیشتر شود و خروجی مقایسه کننده پایین بیاید تغییری در خروجی مشاهده نمی شود .

چنانچه ولتاژ پایه 6 از  $3/2$  (  $VCC$  یا ولتاژ پایه 5) بیشتر شود ، با توجه به ورودی های مقایسه کننده اول ، خروجی مقایسه کننده High شده و فلیپ فلاپ را Reset و خروجی IC را صفر می کند .

## 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 می شود، اما در هنگام Reset ترانزیستور اشباع شده ، پایه 7 به زمین وصل می شود . از این عمل بیشتر برای تخلیه خازن و رفتن به سیکل بعدی تایمینگ استفاده می شود . ولی بسته به نوع مدار و نظر طراح ، می تواند استفاده های دیگری هم داشته باشد .



## کنترل ولتاژ

اگر بخواهیم ولتاژ آستانه بالایی (تریگر شود  $V_U$ ) و آستانه پایینی ( $V_L$ ) موجود در ورودی منفی مقایسه کننده اول و ورودی مثبت مقایسه کننده دوم، همان  $2/3V_{CC}$  و  $V_{CC}/3$  بماند با پایه (5) 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 می کنیم. آزاد گذاشتن این پایه در فرکانس های کم و جاهایی که منبع تغذیه دارای تثبیت خوبی است و نویز کم است، اشکالی ندارد. و اما چنانچه بخواهیم ولتاژ های آستانه را خودمان تغییر داده یا کنترل کنیم با اعمال هر منبع ولتاژی (با مقاومت داخلی در حدود کمتر از  $5$  کیلو اهم) به پایه  $5$ ، 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 و ... استفاده می شود.

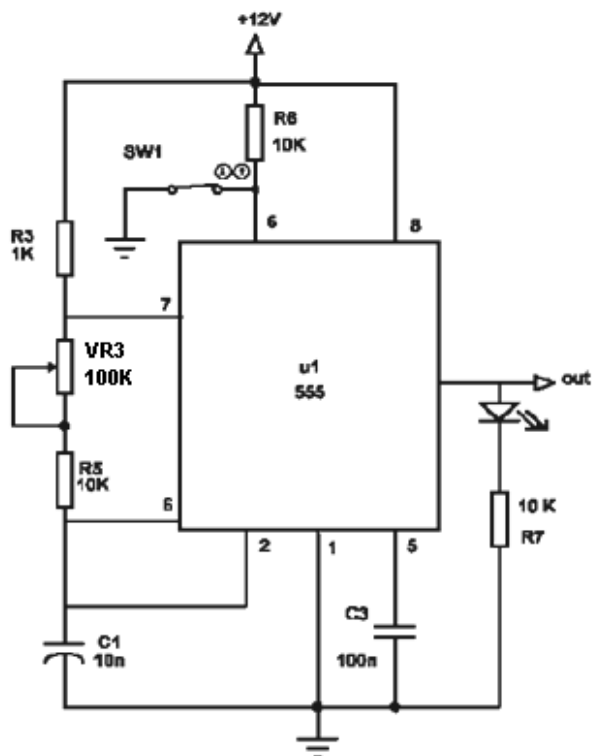
## Reset

پایه  $4$  در صورت عدم استفاده معمولاً با یک مقاومت یا به طور مستقیم به پایه  $(V_{CC})$   $8$  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  $V_{CC}$  وصل می کنیم و هنگامیکه این پایه حتی برای یک لحظه زمین شود، ترانزیستور  $Q2$  اشباع شده  $V_{ref}$  رابه فلیپ فلاپ اعمال کرده باعث رست شدن آن می شود. Reset شدن فلیپ فلاپ توسط پایه  $4$  مستقل از وضعیت پایه های  $2$  و  $6$  بوده و خروجی IC حتماً Low می شود.

## طرز کار 555

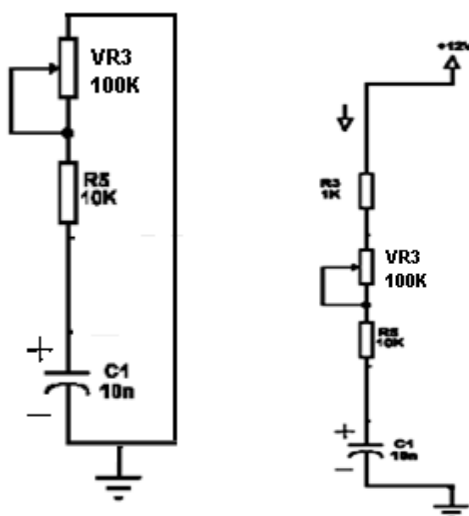
این مدار شامل دو مقایسه کننده با یک فلیپ فلاپ RS؛ ترانزیستور تخلیه، بافر خروجی و مقسم ولتاژ شامل سه مقاومت  $5$  کیلو اهمی می باشد. مقسم مقاومتی، ولتاژ پایه معکوس کننده مقایسه کننده  $1$  را در ولتاژ  $2/3 * V_{CC}$  و ولتاژ پایه غیر معکوس کننده  $2$  را در ولتاژ  $V_{CC}/3$  قرار می دهد. چنانچه ورودی تریگر کمتر از ولتاژ پایه معکوس کننده مقایسه کننده  $(2)$ ،  $V_{CC}/3$  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 می شود. از طرف دیگر اگر ورودی آستانه که به پایه غیر معکوس کننده مقایسه کننده  $(1)$  اعمال می شود بیش از  $2/3 * V_{CC}$  شود خروجی در سطح ولتاژ بالا قرار گرفته و فلیپ فلاپ رست می شود و در نتیجه ترانزیستور تخلیه وصل (اشباع) خواهد شد.

## مولتی وایبراتور Astable با 555

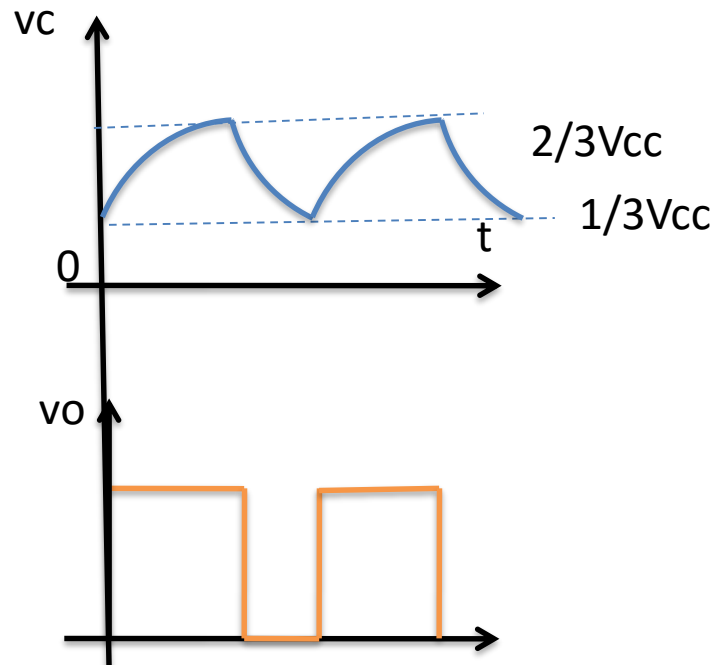


مدار ساده مولتی وایبراتور آستابل یک مولد مربعی نیز می باشد که نیازی به ورودی تریگر ندارد. مدت زمانی که خروجی در حالت بالا و یا پایین قرار دارد به ترتیب با مقاومت های  $R_3$  و  $R_5 + P_3$  مشخص می شود.

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 VCC میل می کند.



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

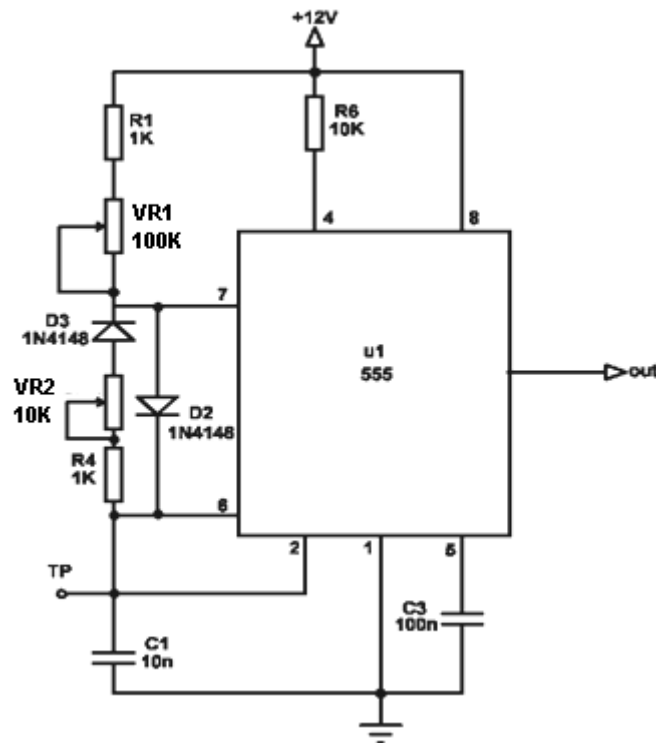


$$f = \frac{1}{T_1 + T_2}$$

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

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

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



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 .

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

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

## اسیلاتور کریستالی کنترل شونده با ولتاژ

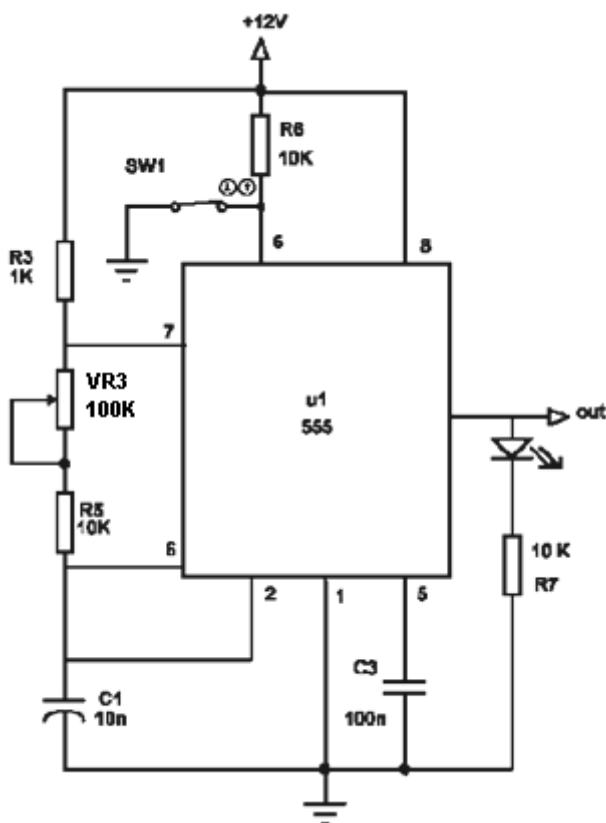
یک اسیلاتور کریستالی کنترل شونده با ولتاژ (VCXO) زمانی استفاده می شود که، فرکانس کار به مقدار تنظیمات نسبی کوچک (مقدار دقیق فرکانس یا فاز اسیلاتور بسیار حیاتی باشد) یا با اعمال یک ولتاژ متغیر در ورودی کنترلی اسیلاتور، می خواهیم، تداخلات رادیو فرکانسی را بر روی یک رنج فرکانسی برای رفع ایراد، حذف کنیم .

اسیلاتورهایی هستند که بر روی رنج های فرکانسی پهناور کار می کنند . اسیلاتورهای متغیر فرکانس (VFOs)، به وسیله مقدار یکی از مدارات تعیین کننده فرکانس، فرکانس خود را تغییر می دهند . یک اسیلاتور کنترل شونده با ولتاژ (VCO) یکی از عناصر تعیین کننده فرکانس است که به صورت الکتریکی کنترل می شود .

## آزمایش 50: مولتی‌ویبراتور ناپایدار (Astable)

مراحل آزمایش:

(1) جامپرهای شماره 3 و 6 و 8 و 9 را در بلوک 555 Astable Multivibrator قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



(2) سیم‌های تغذیه (+12V, GND) را متصل نمایید.

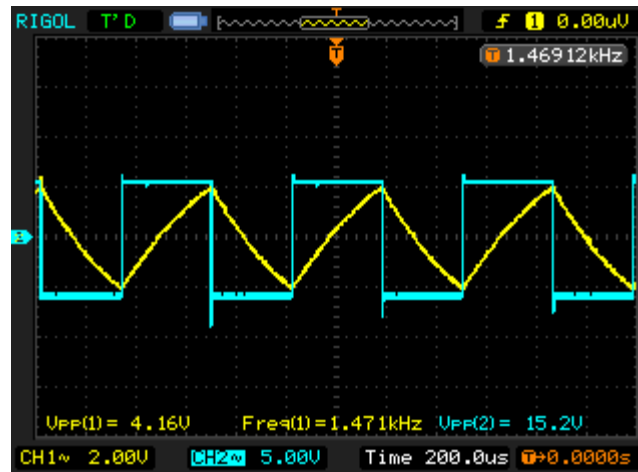
(3) چه پاسخی در خروجی مشاهده می‌کنید؟

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

(5) ولوم VR3 را به طور تصادفی بچرخانید و نتیجه را در LED مشاهده نمایید.

(6) جامپر شماره 8 را خارج نموده و جامپر شماره 7 را جایگزین نمایید.

(7) ولوم VR3 را در حالت وسط قرار داده و شکل موجهای نقاط OUT و TP را در اسیلوسکوپ مشاهده نموده و رسم نمایید.



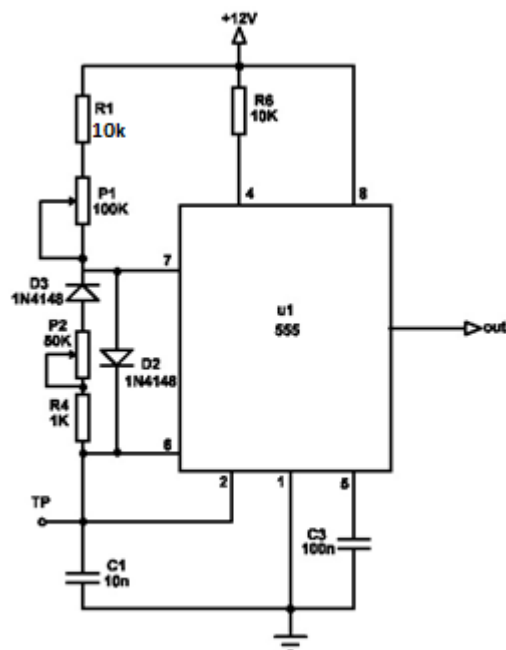
(8) حداکثر و حداقل فرکانس خروجی چقدر است؟

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

## آزمایش 51: نوسان ساز موج مربعی با زمان پالس و دوره تناوب قابل تغییر

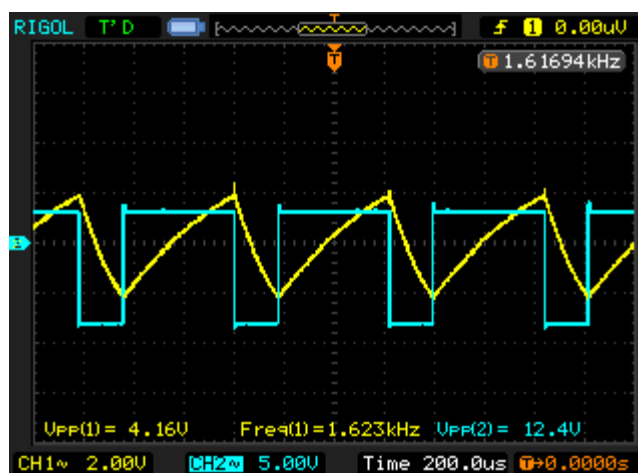
مراحل آزمایش:

(1) جامپ‌های شماره 2 و 4 و 5 و 7 را بلوک 555 Astable Multivibrator قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



(2) سیم‌های تغذیه (+12V, GND) را متصل نمایید.

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



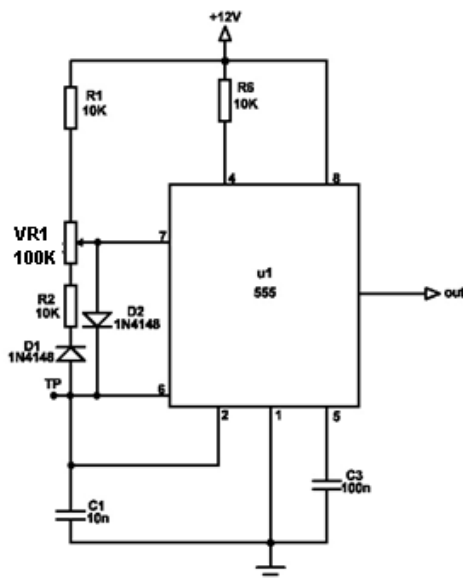
(4) ولوم‌های VR1 و VR2 را به طور تصادفی تغییر داده و نتیجه را در شکل موج خروجی مشاهده نمایید. توضیح

دهید هر کدام از این ولوم‌ها چه نقشی در مدار دارند؟

## آزمایش 52: نوسان ساز موج مربعی با فرکانس ثابت و عرض پالس قابل تغییر

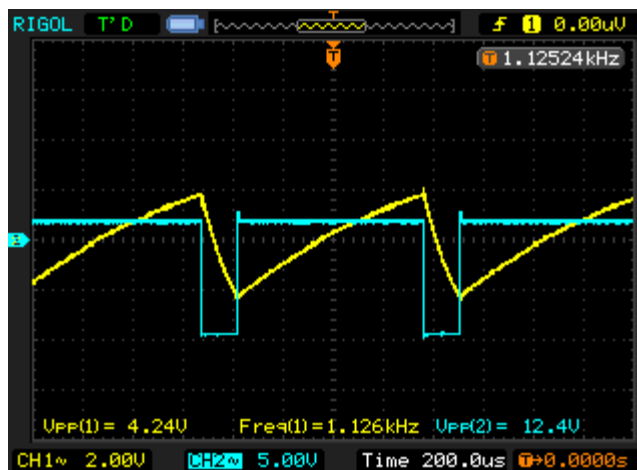
مراحل آزمایش:

(1) جامپرهای شماره 1 و 2 و 4 و 7 را در بلوک 555 Astable Multivibrator قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



(2) سیمهای تغذیه (+12V, GND) را متصل نمایید.

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



(4) ولوم VR1 را با طور تصادفی چرخانده و نتیجه را در خروجی مشاهده نمایید. نقش این پتانسیومتر در خروجی چیست؟

(5) ولوم VR1 را تا انتها علیه سمت چپ چرخانده سپس شکل موج نقاط OUT و TP را رسم نمایید.

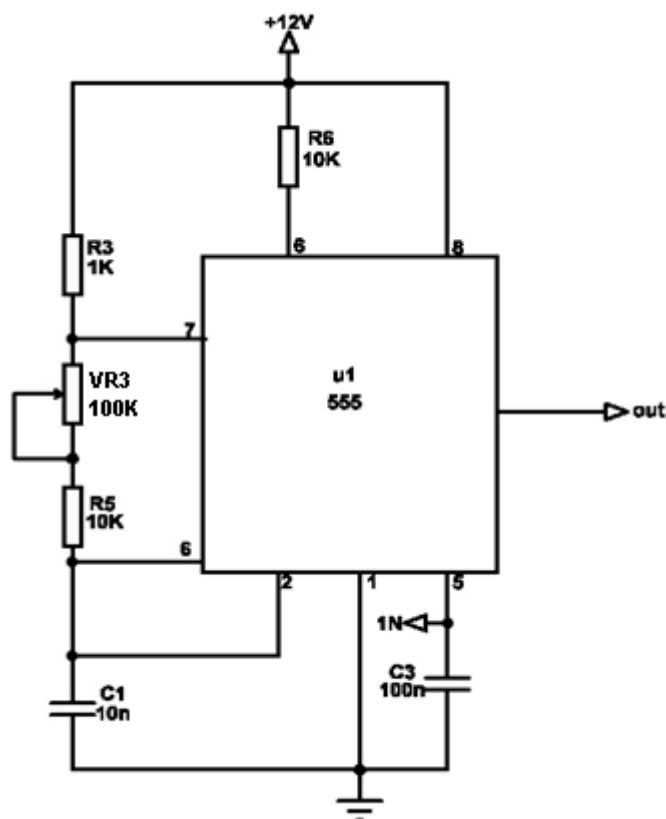
(6) ولوم VR1 را تا انتها علیه سمت راست چرخانده و سپس شکل موج نقاط OUT و TP را رسم نمایید.



## آزمایش 53: نوسانساز کنترل شده با ولتاژ (VCO)

مراحل آزمایش:

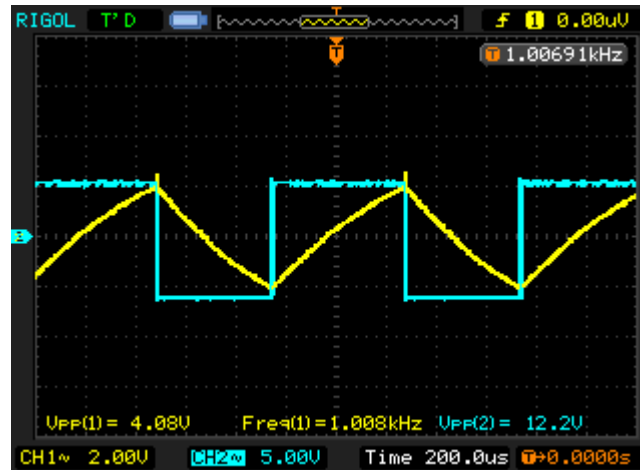
(1) جامپرهای شماره 3 و 6 و 7 را در بلوک 555 Astable Multivibrator قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



(2) سیم‌های تغذیه (+12V, GND) را در بلوک 555 Astable Multivibrator متصل نمایید.

(3) ولوم VR3 را طوری تنظیم نمایید تا فرکانس مربعی 1KHz در خروجی تشکیل شود.

(4) یک ولتاژ متغیر بین 0V تا 12V به ورودی IN2 (پین شماره 5 آی سی) اعمال نمایید و نتیجه را در فرکانس خروجی مشاهده نمایید. (اگر از ولتاژ 0V-20V منبع تغذیه استفاده می کنید 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)



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

Vin	3V	5V	7V	9V	11V
Fout	1.6KHz	1.3KHz	1.1KHz	840Hz	450Hz

## فصل شانزدهم

### فیدبک منفی

## مقدمه

منظور از فیدبک کردن در یک سیستم این است که مقداری از سیگنال خروجی را با سیگنال منبع ترکیب کرده، به ورودی سیستم اعمال کنیم. در این حالت چون سیگنال ورودی تابعی از سیگنال خروجی خواهد بود، کنترل مشخصات سیستم، راحت تر و دقیق تر انجام خواهد شد.

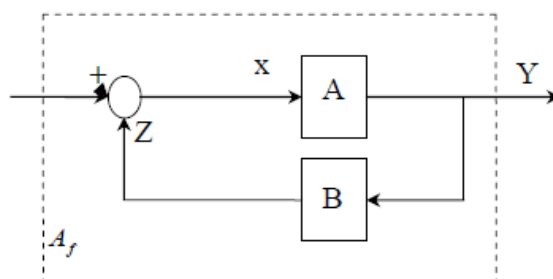
بررسی سیستمهای با فیدبک شکل زیر بلوک دیاگرام کلی یک سیستم را نشان می دهد. در این شکل S سیگنال منبع، X سیگنال ورودی به سیستم بدون فیدبک، A تابع تبدیل سیستم بدون فیدبک، Y سیگنال خروجی، B شبکه فیدبک کننده و Z مقدار فیدبک شده و  $A_f$  تابع تبدیل سیستم با فیدبک می باشد.

طبیعتاً اگر حلقه فیدبک قطع شود، خواهیم داشت :

$$Z = 0$$

$$X = S$$

$$A_f = A$$



ضریب تبدیل بدون فیدبک :

$$A = \frac{Y}{X}$$

ضریب تبدیل با فیدبک :

$$A_f = \frac{Y}{S}$$

نسبت فیدبک

$$B = \frac{Z}{Y}$$

حال به کمک تعاریف فوق رابطه بین  $A_f$  و  $A$  را بدست می آوریم :

$$Y = AX$$

$$X = S + Z$$

$$Z = BY$$

$$Y = A(S + BY)$$

$$Y = \frac{AS}{1 - AB}$$

رابطه فوق ارتباط سیگنال خروجی با ورودی را بیان می کند .

از آنجایی که در سیستم ها معمولا تابع تبدیل سیستم مهم تر است معمولا از رابطه زیر استفاده می شود .

$$A_f = \frac{A}{1 - AB}$$

### فیدبک منفی و مثبت

در صورتیکه در سیستمی  $A.B > 0$  باشد ، فیدبک مثبت است و در صورتیکه  $A.B < 0$  باشد ، فیدبک منفی خواهد بود . در

حالتی که  $A.B = 0$  باشد ، در مدار فیدبک نخواهیم داشت .

در فیدبک مثبت  $|A_f| > |A|$  و در فیدبک منفی  $|A_f| < |A|$  می باشد . در فیدبک مثبت در صورتیکه  $A.B < 1$  باشد ،

مدار تقویت کننده به عنوان یک تقویت کننده خطی عمل می کند. در صورتیکه به ازاء  $A.B \geq 1$  سیستم غیرخطی شده یا

نوسان می کند. از نوسان سازها میتوان به آستابل ، فلیپ فلاپ ، اشمیت تریگر ، ... اشاره نمود .

### خواص فیدبک منفی

با توجه به رابطه ضریب تبدیل با فیدبک ، فیدبک منفی همیشه باعث کاهش ضریب تقویت می شود. مثلا اگر ضریب تقویت

$A = -100$  و نسبت فیدبک  $B = 0.09$  باشد. پس از فیدبک برابر خواهد شد با :

$$A_f = \frac{-100}{1 + (100)(0.09)} = -10$$

این عیب فیدبک حسن های زیادی با خود به همراه می آورد . البته خود این عیب را نیز میتوان با افزایش  $A$  ، جبران کرد .

مثلا اگر  $A = 1000$  شود ،  $A_f = 100$  خواهد شد. البته واضح است که مدار مفصل تر خواهد شد .

### حسن های فیدبک منفی

پایداری ضریب تقویت مدار با فیدبک منفی نسبت به تغییرات ضریب تقویت کننده بدون فیدبک زیاد خواهد شد.

$$\frac{dA_f}{dA} = \frac{1}{(1 - AB)^2}$$

یعنی  $A_f$  به مقدار خیلی کمی به  $A$  وابسته است (در صورتیکه  $|AB| \gg 1$ ). به عبارت دیگر:

$$dA_f = \frac{1}{(1 - AB)} \frac{A_f}{A} dA$$

یعنی تغییرات  $A_f$  خیلی کمتر از تغییرات  $A$  می باشد.

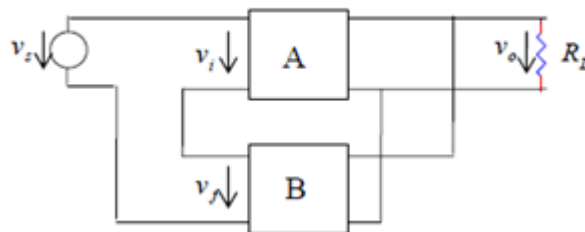
### انواع فیدبک منفی

بسته به اینکه سیگنال نمونه برداری خروجی، در یک مدار فیدبک دار، ولتاژ باشد یا جریان دو نوع فیدبک به وجود می آید. و

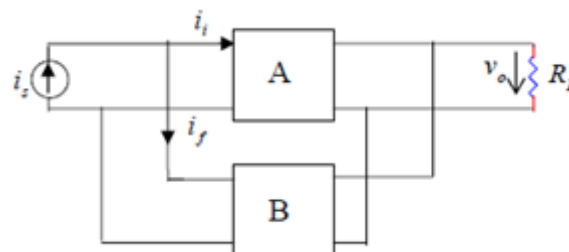
بسته به اینکه سیگنال فیدبک شده به صورت سری یا موازی با سیگنال منبع به ورودی تقویت کننده اعمال شود، هرکدام نیز

به دو نوع تقسیم می شوند. بنابراین مجموعاً چهار نوع فیدبک منفی خواهیم داشت:

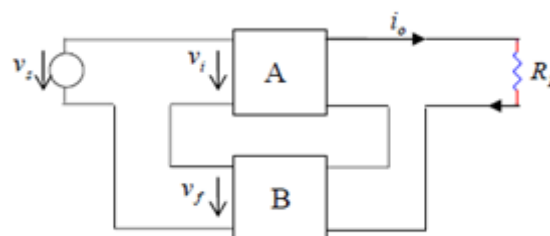
الف: فیدبک ولتاژ - سری یا فیدبک گره - حلقه



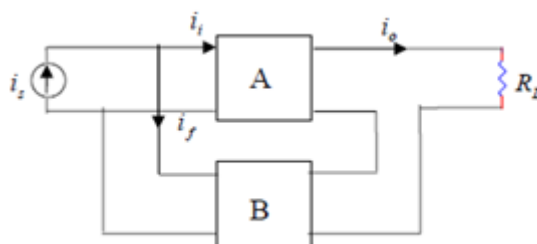
ب: فیدبک ولتاژ - موازی یا فیدبک گره - گره



ج: فیدبک جریان - سری یا فیدبک حلقه - حلقه



د: فیدبک جریان - موازی یا فیدبک حلقه - گره



### ولتاژ - سری :

سیگنالهای خروجی فیدبک، فیدبک، ورودی و منبع باید ماهیت ولتاژ داشته باشند. به عبارت دیگر :

$$Z = V_f$$

$$Y = V_o$$

$$X = V_i$$

$$S = V_s$$

در نتیجه مدار معادل منبع سیگنال باید مدار معادل تونن (منبع ولتاژ) باشد. در این حالت چون  $A = \frac{V_o}{V_i}$  نسبت دو ولتاژ را

دارد. به آن ضریب تقویت ولتاژ  $A_v$  نیز می گویند.  $B = \frac{V_f}{V_o}$  نیز نسبت دو ولتاژ بوده و بدون واحد می باشد.

این نوع فیدبک باعث زیاد شدن مقاومت ورودی و کاهش مقاومت خروجی می گردد.

### ولتاژ - موازی :

سیگنال خروجی، ولتاژ و سیگنالهای فیدبک شده، ورودی و منبع جریان می باشند.

$$Z = i_f$$

$$Y = V_o$$

$$X = i_i$$

$$S = i_s$$

در نتیجه منبع سیگنال باید یک منبع جریان (معادل نورتن) در نظر گرفته شود. در این حالت چون  $A = \frac{V_o}{i_i}$  نسبت ولتاژ به

جریان است ماهیت مقاومتی را دارد و به آن مقاومت انتقالی نیز می گویند.  $A = R_m$

$$B = \frac{i_f}{V_o} \text{ ماهیت هدایت را داشته و واحد آن } \frac{mA}{V} \text{ می باشد.}$$

این نوع فیدبک باعث کم شدن مقاومت ورودی و مقاومت خروجی می گردد.

## جریان - سری:

سیگنال خروجی، ولتاژ و سیگنالهای فیدبک شده، ورودی و منبع جریان می‌باشند.

$$Z = V_f$$

$$Y = I_o$$

$$X = V_i$$

$$S = V_s$$

در نتیجه مدار معادل منبع سیگنال باید مدار معادل تونن (منبع ولتاژ) باشد. در این حالت چون  $A = \frac{I_o}{V_i}$  نسبت جریان به

ولتاژ است ماهیت هدایت دارد. به آن ضریب هدایت انتقالی نیز می‌گویند.  $B = \frac{V_f}{I_o}$  نیز ماهیت مقاومتی دارد و واحد آن  $\frac{V}{mA}$

می‌باشد .

این نوع فیدبک باعث زیاد شدن مقاومت ورودی و مقاومت خروجی می‌گردد.

## جریان - موازی

سیگنالهای خروجی فیدبک، فیدبک، ورودی و منبع باید ماهیت جریان داشته باشند. به عبارت دیگر :

$$Z = I_f$$

$$Y = I_o$$

$$X = I_i$$

$$S = i_s$$

در نتیجه مدار معادل منبع سیگنال باید مدار معادل نورتن (منبع جریان) باشد. در این حالت چون  $A = \frac{I_o}{I_i}$  نسبت دو ولتاژ را

دارد. به آن ضریب تقویت جریان  $A_I$  نیز می‌گویند.  $B = \frac{I_f}{I_o}$  نیز نسبت دو جریان بوده و بدون واحد می‌باشد .

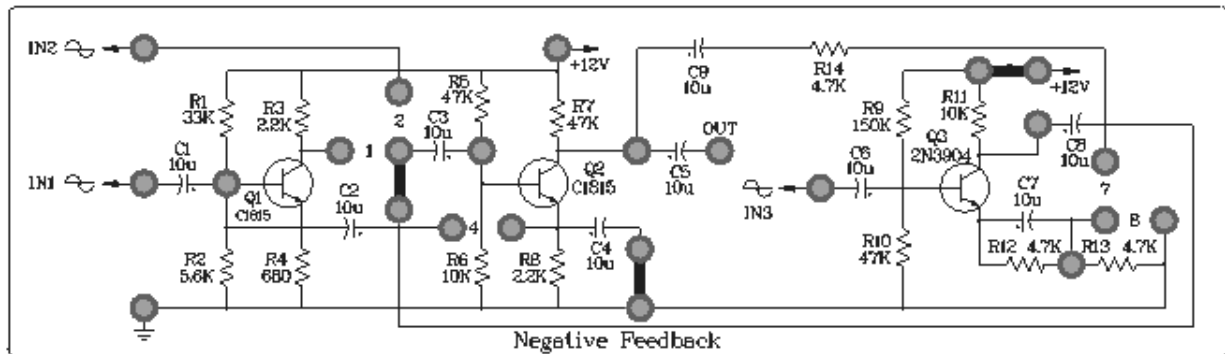
این نوع فیدبک باعث کاهش مقاومت ورودی و افزایش مقاومت خروجی می‌گردد .



## آزمایش 54: فیدبک منفی ولتاژ-سری

مراحل آزمایش:

(1) جامپرهای شماره 3 و 5 و 6 را در بلوک Negative Feedback قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



(2) اتصالات تغذیه (+12V, GND) را متصل نمایید.

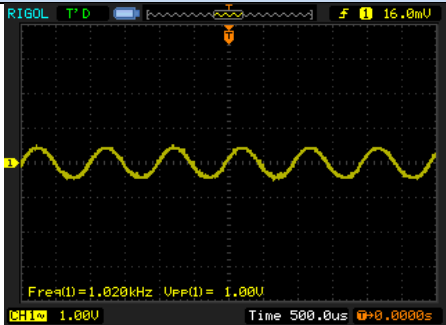
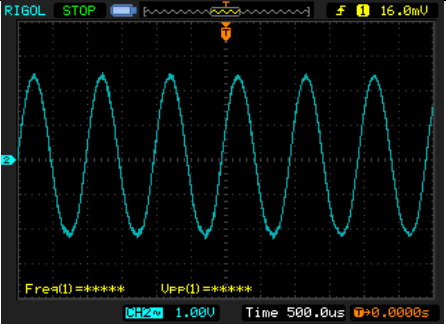
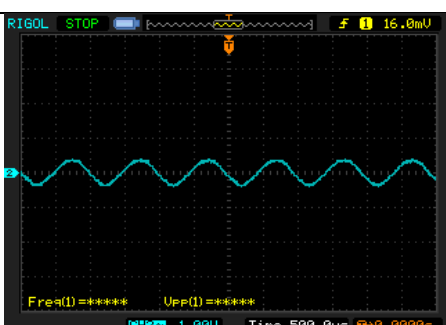
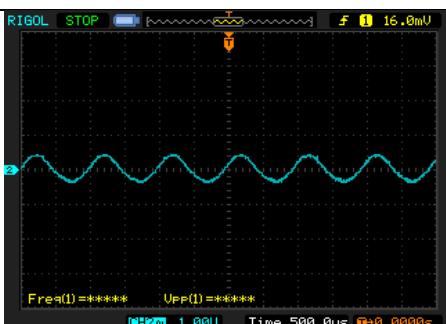
(3) با استفاده از مولتی متر ولتاژ DC کلکتور دو ترانزیستور Q2, Q3 را اندازه گیری کنید.

Vc (Q2)	8.7 V
Vc (Q3)	9.7V

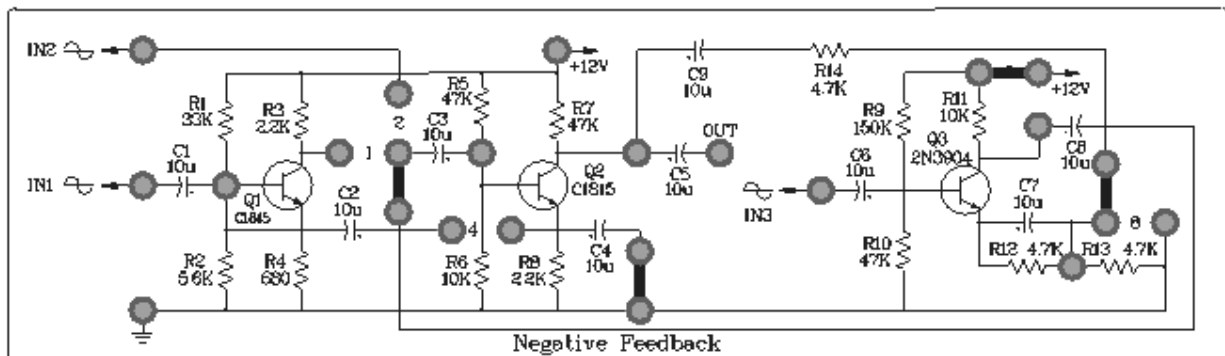
(4) فانکشن ژنراتور را روی موج سینوسی 1KHz قرار داده و به ورودی IN3 متصل نمایید. کانال یک اسیلوسکوپ را به خروجی متصل نمایید. سپس دامنه سیگنال ورودی را به آرامی تا اندازه‌ای بالا ببرید تا بیشترین دامنه بدون اعوجاج را در اسیلوسکوپ ببینید.

(5) شکل موجهای ورودی و خروجی و سیگنال بیس ترانزیستور Q2 و ولتاژ سر مشترک R12 و R13 را مشاهده و

نتایج را ثبت و بررسی نمایید.

فرکانس	1KHz
ورودی in3	
خروجی out	
Vb(Q2)	
سر مشترک R12 و R13	

(6) جامپرهای شماره 7 را در بلوک Negative Feedback قرار دهید تا فیدبک منفی مدار متصل شود.



(7) با استفاده از مولتی متر ولتاژ DC کلکتور دو ترانزیستور Q2 , Q3 را اندازه گیری کنید .

Vc (Q2)	8.7 V
Vc (Q3)	9.7V

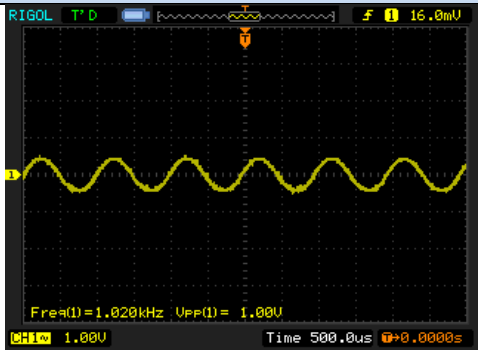
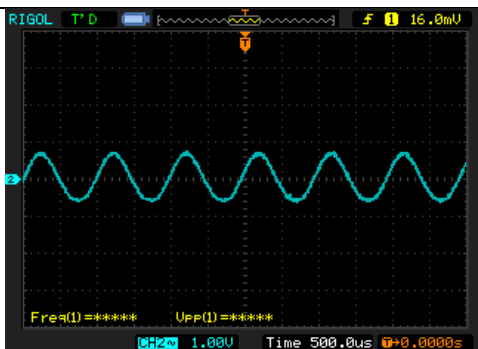
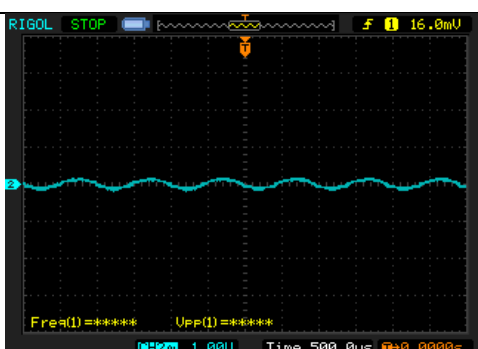
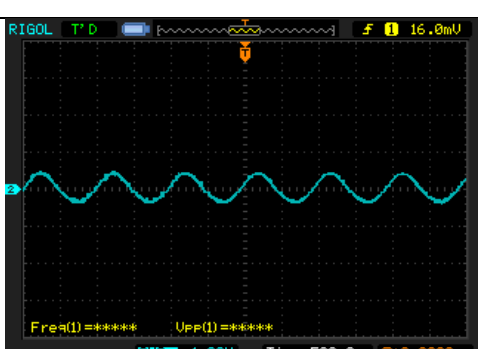
(8) فانکشن ژنراتور را روی موج سینوسی 1KHz قرار داده و به ورودی IN3 متصل نمایید. کانال یک اسیلوسکوپ را به

خروجی متصل نمایید. سپس دامنه سیگنال ورودی را به آرامی تا اندازه‌ای بالا ببرید تا بیشترین دامنه بدون اعوجاج

را در اسیلوسکوپ ببینید.

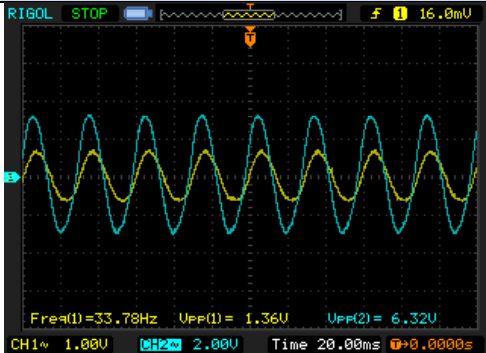
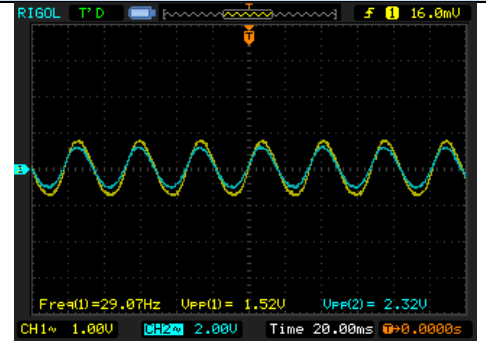
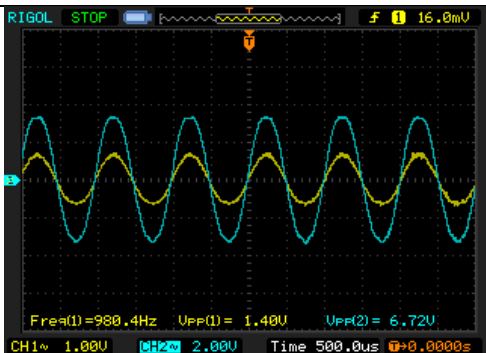
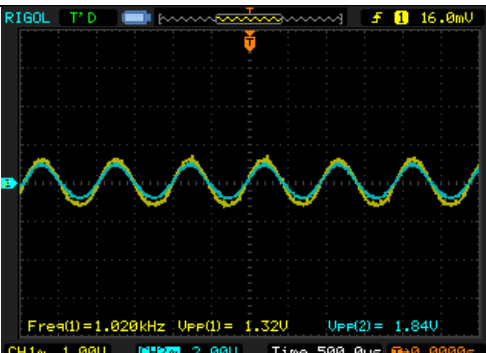
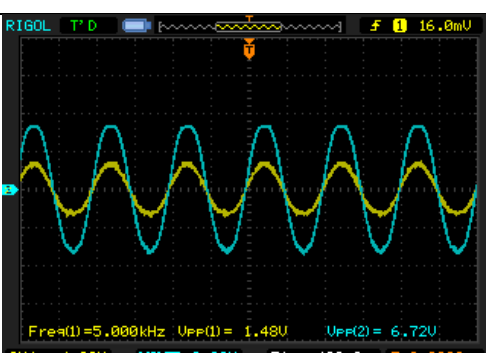
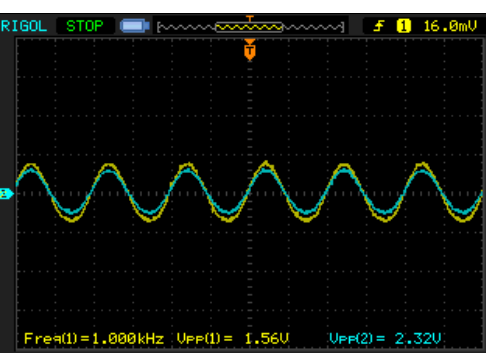
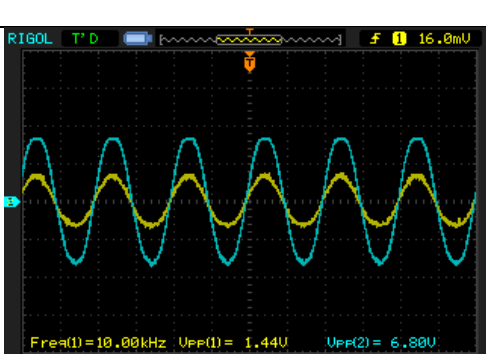
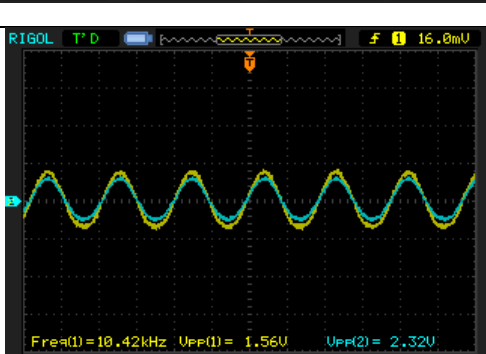
(9) شکل موجهای ورودی و خروجی و سیگنال بیس ترانزیستور Q2 و ولتاژ سر مشترک R12 و R13 را مشاهده و

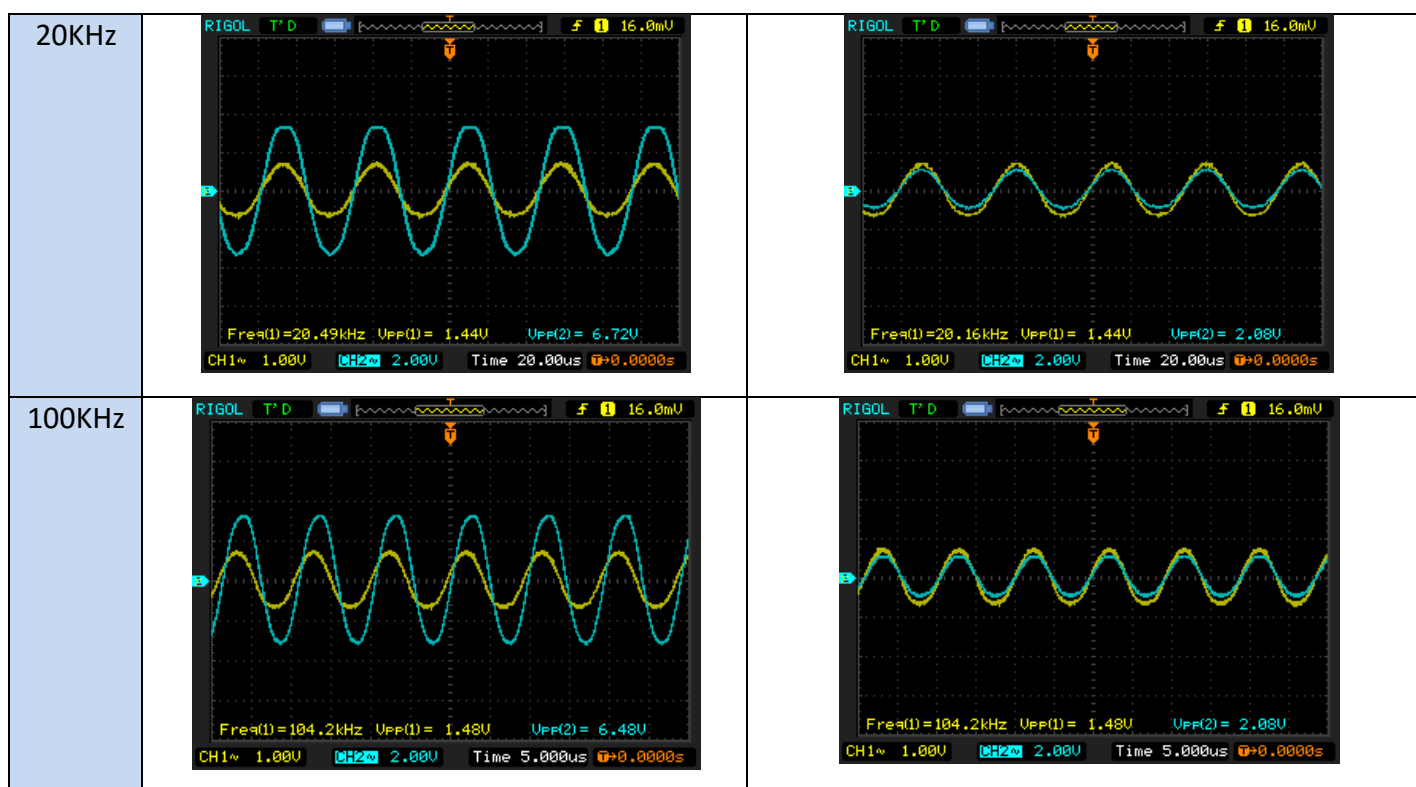
نتایج را ثبت و بررسی نمایید.

فرکانس	1KHz
ورودی in3	
خروجی out	
Vb(Q2)	
سر مشترک R12 و R13	

10) فرکانس فانکشن ژنراتور را تغییر دهید و سپس شکل موجهای ورودی و خروجی را برای دو حالت با فیدبک و

بدون فیدبک مشاهده و نتایج را ثبت و بررسی نمایید.

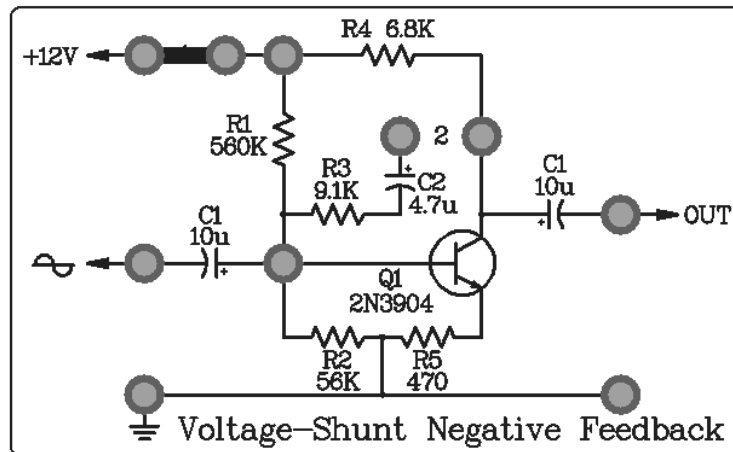
فرکانس	بدون فیدبک	با فیدبک
30Hz		
1KHz		
5KHz		
10KHz		



## آزمایش 55: فیدبک منفی ولتاژ - موازی

مراحل آزمایش:

(1) جامپر شماره 1 را در بلوک Voltage – Shunt Negative Feedback قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



(2) اتصالات تغذیه (+12V, GND) را متصل نمایید.

(3) با استفاده از مولتی متر ولتاژ DC کلکتور ترانزیستور را اندازه گیری کنید .

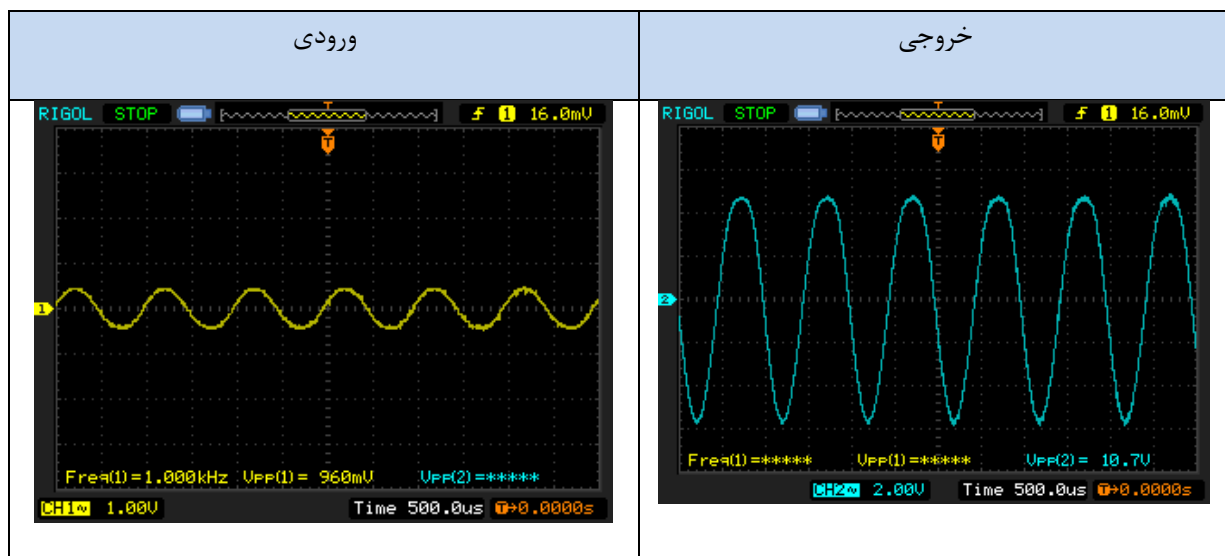
$V_c = 7.5\text{ V}$

(4) فانکشن ژنراتور را روی موج سینوسی 1KHz قرار داده و به ورودی متصل نمایید. کانال یک اسیلوسکوپ را به

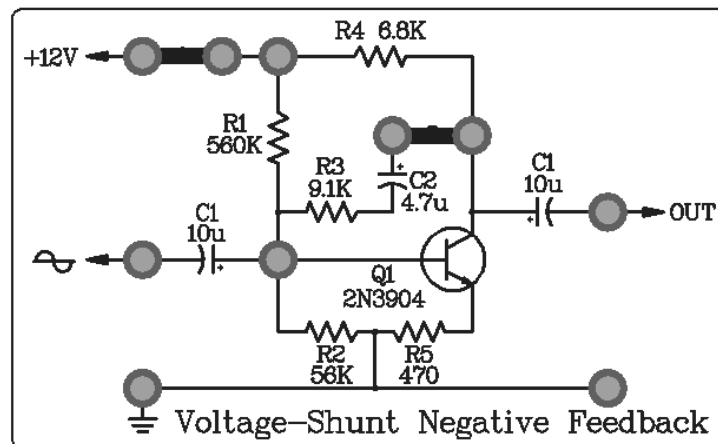
خروجی متصل نمایید. سپس دامنه سیگنال ورودی را به آرامی تا اندازه‌ای بالا ببرید تا بیشترین دامنه بدون اعوجاج

را در اسیلوسکوپ ببینید.

(5) شکل موج‌های ورودی و خروجی را مشاهده و نتایج را ثبت و بررسی نمایید.



(6) جامپر شماره 2 را در بلوک Voltage – Shunt Negative Feedback قرار دهید تا فیدبک منفی مدار متصل شود.

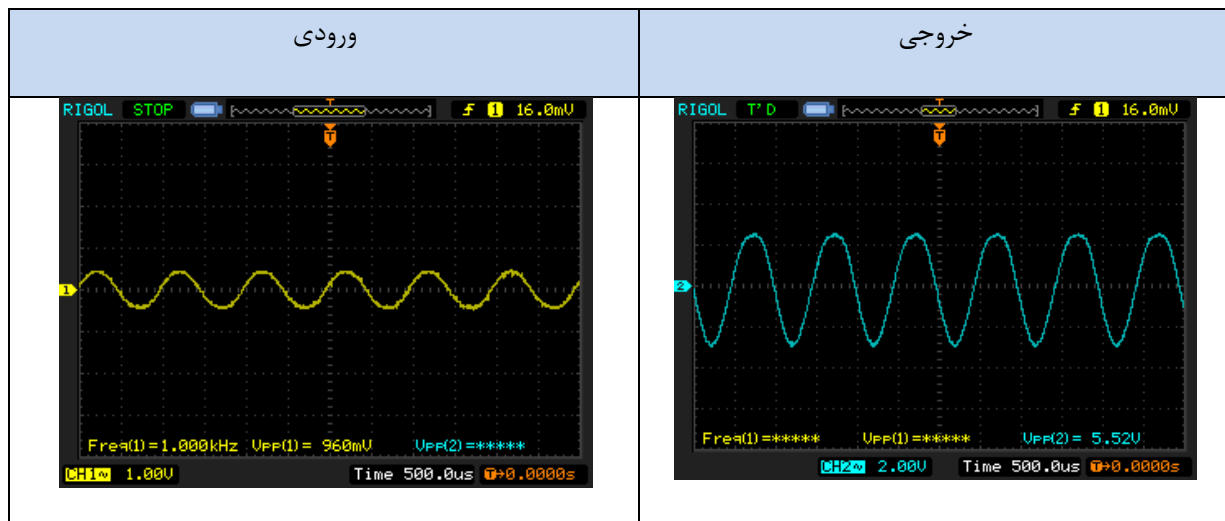


(7) فانکشن ژنراتور را روی موج سینوسی 1KHz قرار داده و به ورودی متصل نمایید. کانال یک اسیلوسکوپ را به

خروجی متصل نمایید. سپس دامنه سیگنال ورودی را به آرامی تا اندازه‌ای بالا ببرید تا بیشترین دامنه بدون اعوجاج

را در اسیلوسکوپ ببینید.

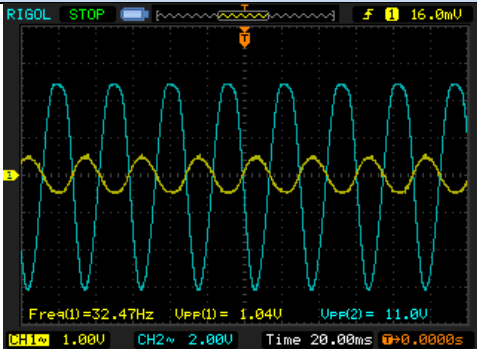
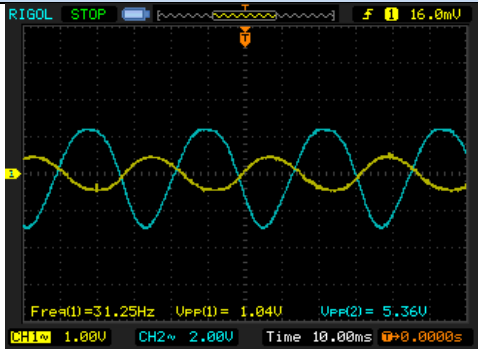
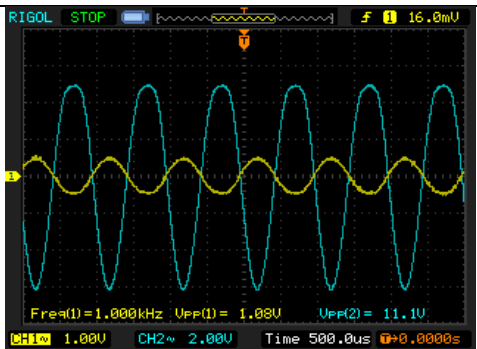
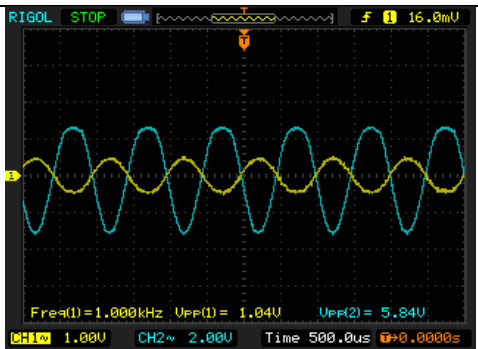
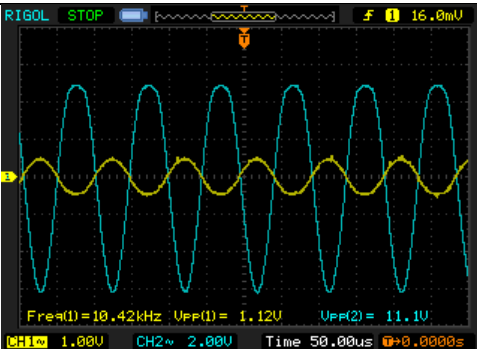
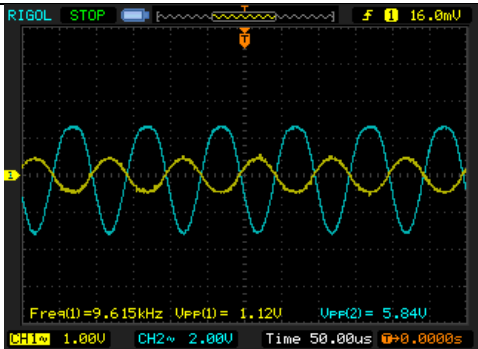
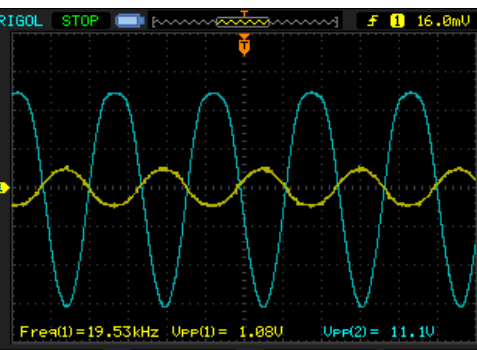
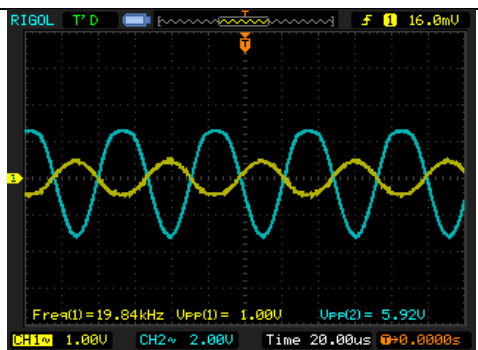
(8) شکل موج‌های ورودی و خروجی را مشاهده و نتایج را ثبت و بررسی نمایید.





(9) فرکانس فانکشن ژنراتور را تغییر دهید و سپس شکل موجهای ورودی و خروجی را برای دو حالت با فیدبک و

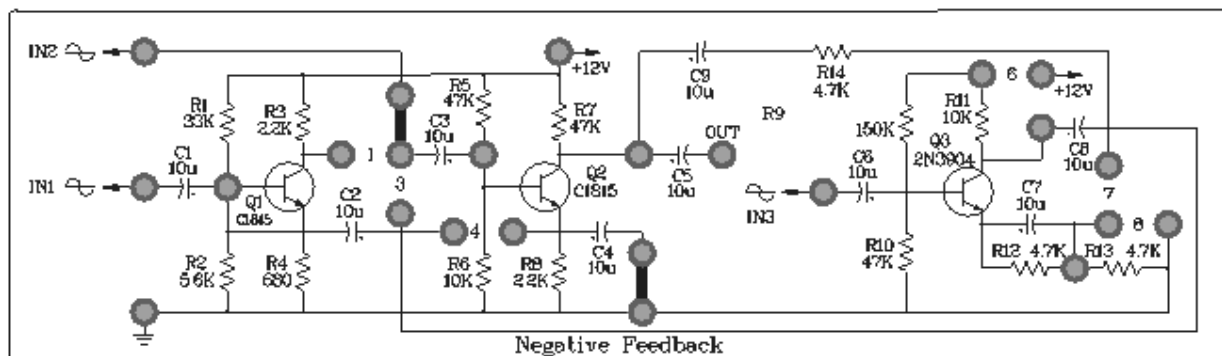
بدون فیدبک مشاهده و نتایج را ثبت و بررسی نمایید.

فرکانس	بدون فیدبک	با فیدبک
30Hz		
1KHz		
10KHz		
20KHz		

## آزمایش 56: فیدبک منفی جریان - سری

مراحل آزمایش:

(1) جامپرهای شماره 2, 5 را در بلوک Negative Feedback قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



(2) اتصالات تغذیه (+12V, GND) را متصل نمایید. مقاومت R8 نقش فیدبک جریان - سری را ایفا می کند .

(3) با استفاده از مولتی متر ولتاژ DC کلکتور ترانزیستور را اندازه گیری کنید.

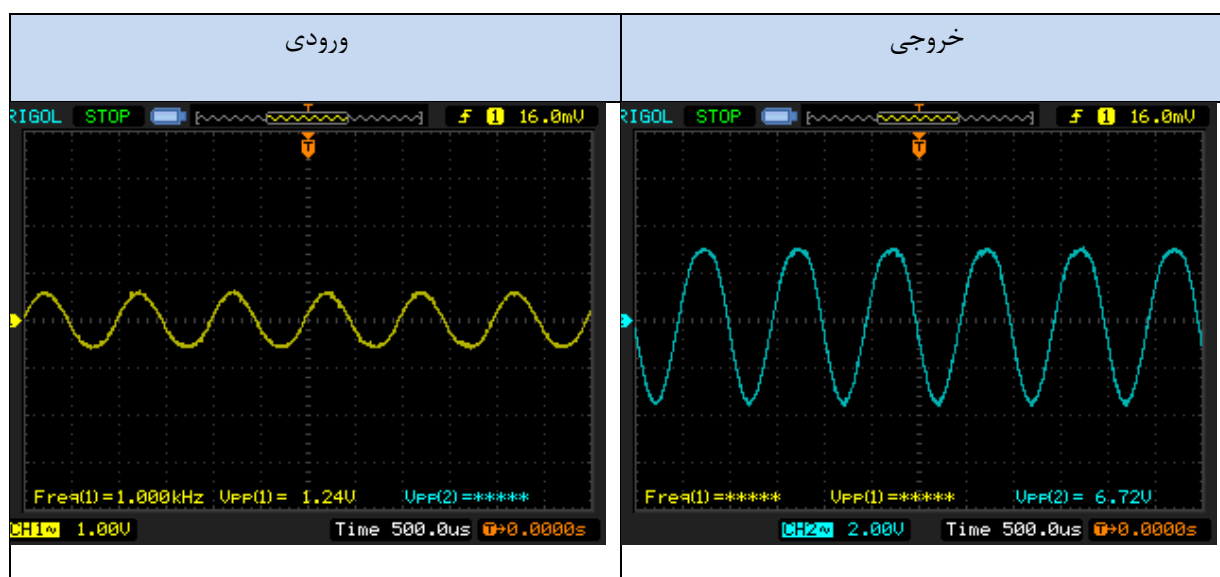
$$V_c = 8.75V$$

(4) فانکشن ژنراتور را روی موج سینوسی 1KHz قرار داده و به ورودی IN2 متصل نمایید. کانال یک اسیلوسکوپ را به

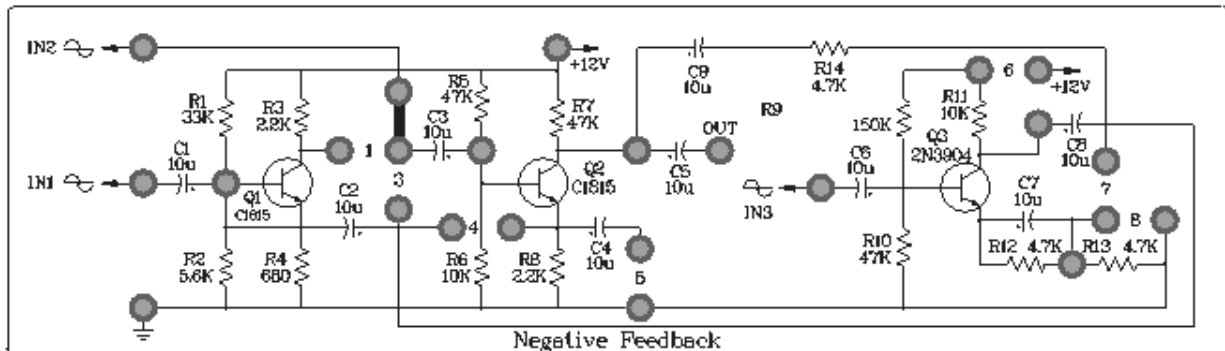
خروجی متصل نمایید. سپس دامنه سیگنال ورودی را به آرامی تا اندازه‌ای بالا ببرید تا بیشترین دامنه بدون اعوجاج

را در اسیلوسکوپ ببینید.

(5) شکل موج‌های ورودی و خروجی را مشاهده و نتایج را ثبت و بررسی نمایید.

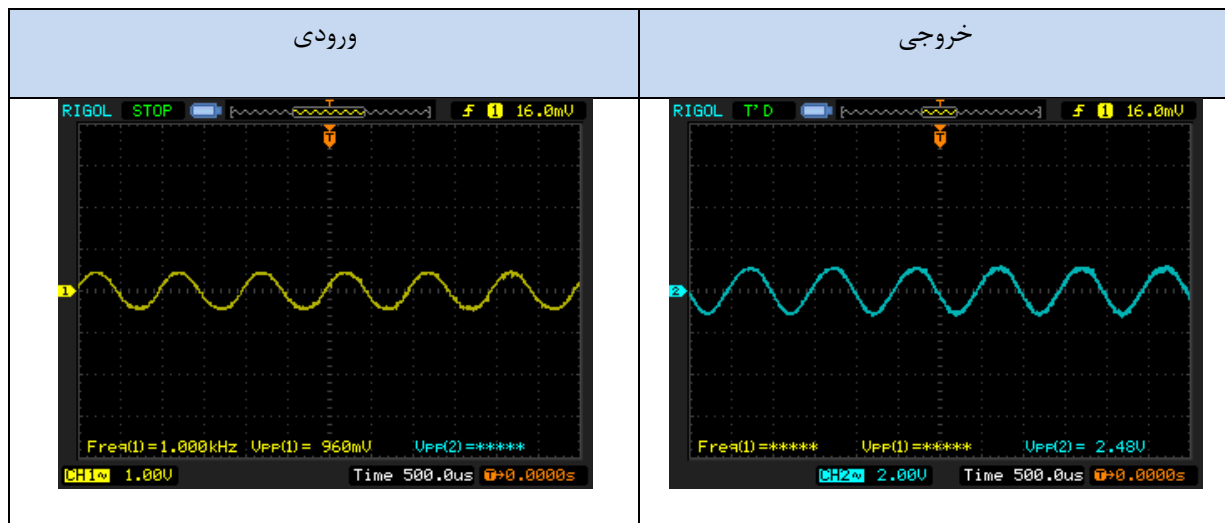


(6) جامپر شماره 5 را جدا نمایید تا خازن بای پس از مدار خارج شده و مقاومت R8 در مدار قرار گیرد و مدار را با فیدبک بررسی کنید .



(7) فانکشن ژنراتور را روی موج سینوسی 1KHz قرار داده و به ورودی متصل نمایید. کانال یک اسیلوسکوپ را به خروجی متصل نمایید. سپس دامنه سیگنال ورودی را به آرامی تا اندازه‌ای بالا ببرید تا بیشترین دامنه بدون اعوجاج را در اسیلوسکوپ ببینید.

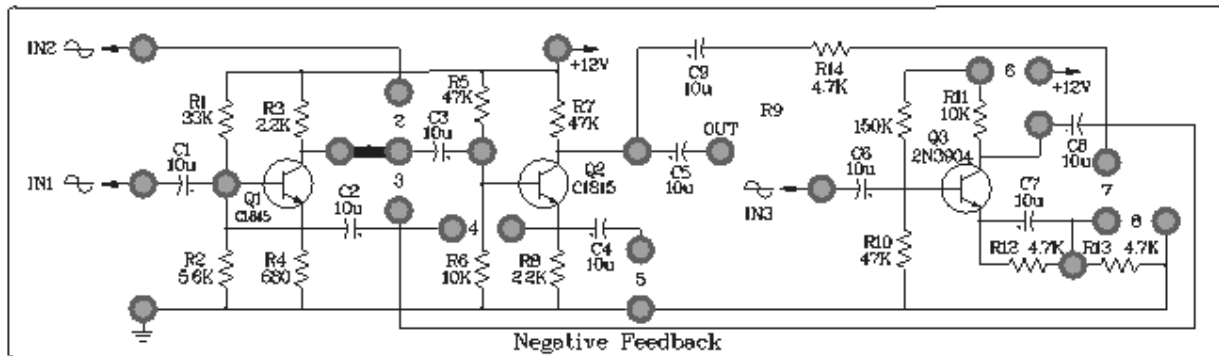
(8) شکل موج‌های ورودی و خروجی را مشاهده و نتایج را ثبت و بررسی نمایید.



## آزمایش 57: فیدبک منفی جریان - موازی

مراحل آزمایش:

(1) جامپر شماره 1 را در بلوک Negative Feedback قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



(2) اتصالات تغذیه (+12V, GND) را متصل نمایید.

(3) با استفاده از مولتی متر ولتاژ DC کلکتور دو ترانزیستور Q1, Q2 را اندازه گیری کنید.

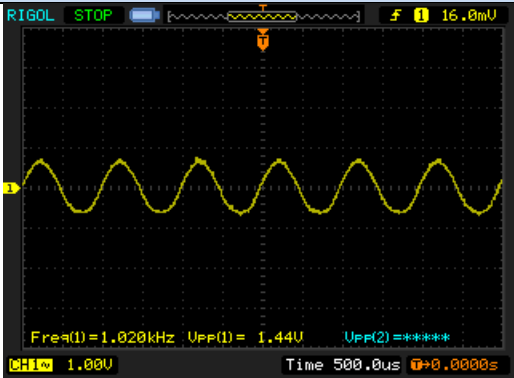
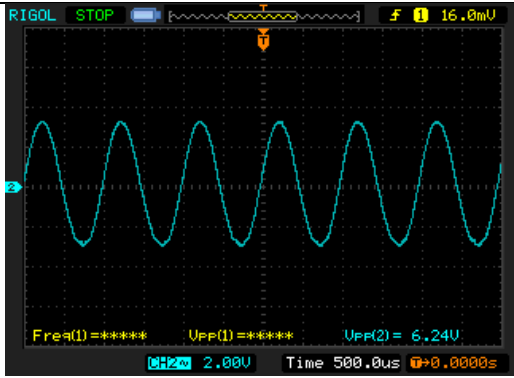
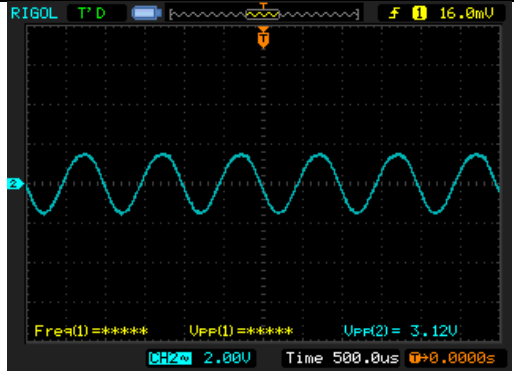
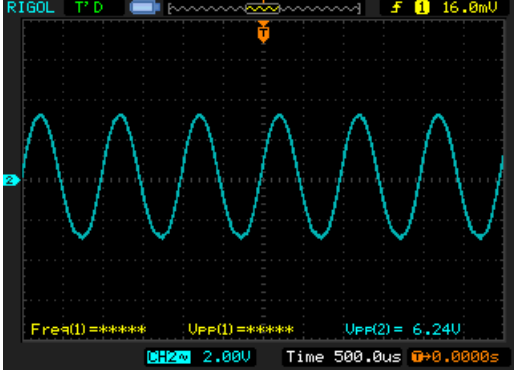
Vc (Q1)	8.1 V
Vc (Q2)	7.5V

(4) فانکشن ژنراتور را روی موج سینوسی 1KHz قرار داده و به ورودی IN1 متصل نمایید. کانال یک اسیلوسکوپ را به

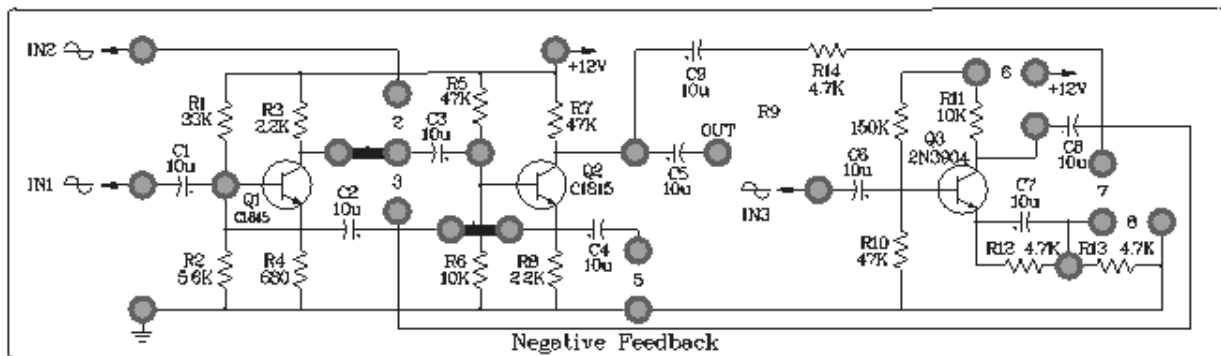
خروجی متصل نمایید. سپس دامنه سیگنال ورودی را به آرامی تا اندازه‌ای بالا ببرید تا بیشترین دامنه بدون اعوجاج

را در اسیلوسکوپ ببینید.

(5) شکل موجهای ورودی و خروجی و سیگنال کلکتور Q1 , Q2 را مشاهده و نتایج را ثبت و بررسی نمایید.

فرکانس	1KHz
ورودی in1	 <p>Frequency: 1.020 kHz, Voltage: 1.44V</p>
خروجی out	 <p>Voltage: 6.24V</p>
Vc(Q1)	 <p>Voltage: 3.12V</p>
Vc(Q2)	 <p>Voltage: 6.24V</p>

(6) جامپرهای شماره 4 را در بلوک Negative Feedback قرار دهید تا فیدبک منفی مدار متصل شود.

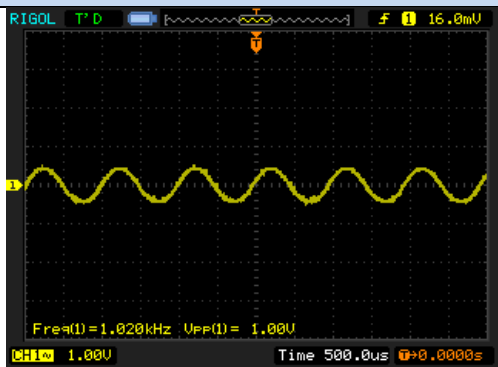
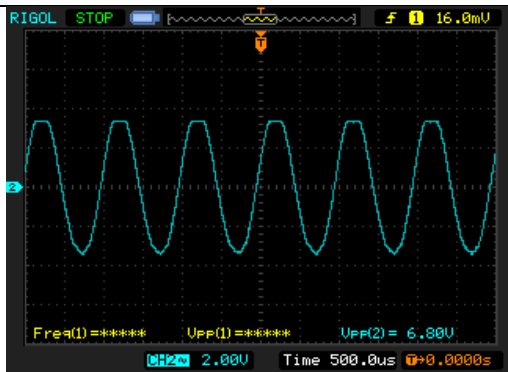
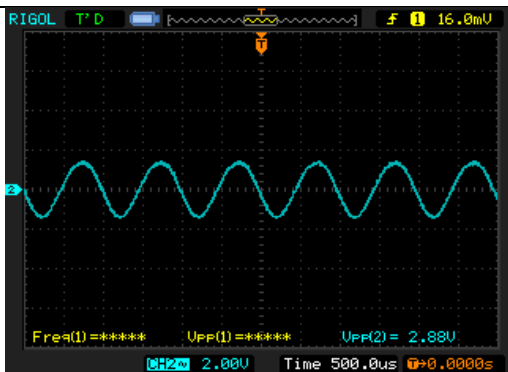
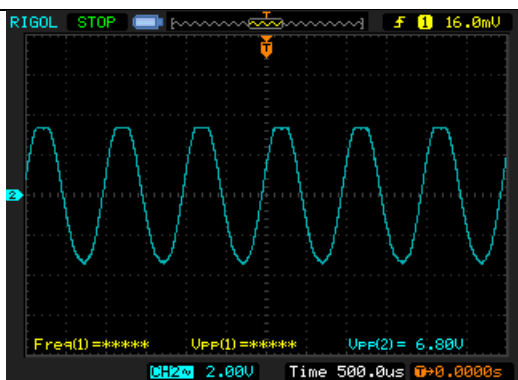


(7) فانکشن ژنراتور را روی موج سینوسی 1KHz قرار داده و به ورودی IN1 متصل نمایید. کانال یک اسیلوسکوپ را به

خروجی متصل نمایید. سپس دامنه سیگنال ورودی را به آرامی تا اندازه‌ای بالا ببرید تا بیشترین دامنه بدون اعوجاج

را در اسیلوسکوپ ببینید.

(8) شکل موجهای ورودی و خروجی را مشاهده و نتایج را ثبت و بررسی نمایید.

فرکانس	1KHz
ورودی in1	
خروجی out	
Vc(Q1)	
Vc(Q2)	

افزایش دامنه ممکن است کمی متفاوت باشد

## فصل هفدهم

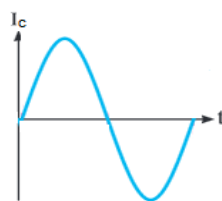
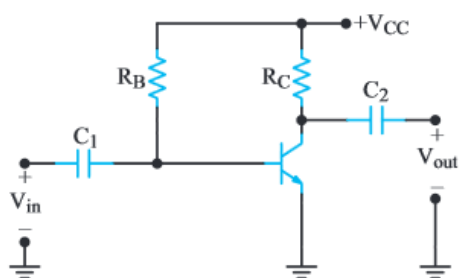
### پوش پول



## تقسیم بندی تقویت کننده های :

## الف) کلاس A :

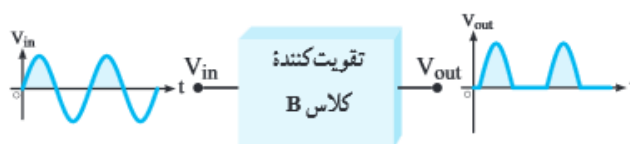
در یک تقویت کننده با کلاس A به ازای ورودی سینوسی به تقویت کننده عمل تقویت کنندگی در کل یک سیکل یعنی 360 درجه به طور کامل انجام می گیرد و شکل موج خروجی از لحاظ ظاهری کاملاً مشابه سیگنال ورودی می باشد. مدار زیر و شکل موج های زیر مربوط به کلاس A می باشد



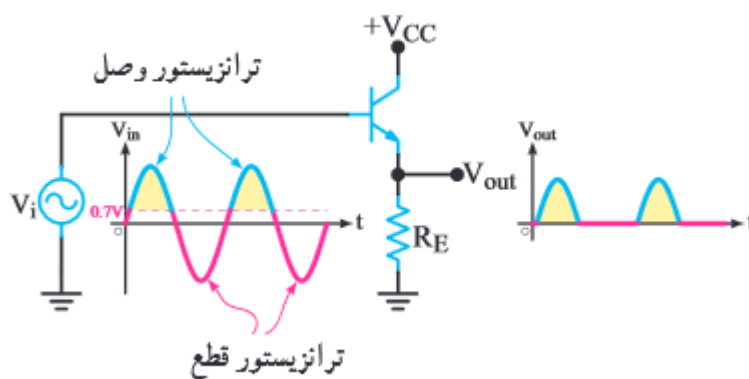
نکته: در تقویت کننده های کلاس A شکل موج ولتاژ یا جریان خروجی در هر دو سیکل به صورت کامل است و بریده نمی شود همچنین کلیه تقویت کننده هایی که بایاس DC ترانزیستورها برای آنها فراهم باشد کلاس A هستند لذا تقویت کننده های آمپتر مشترک و کلکتور مشترک و بیس مشترک هر کدام از نوع کلاس A هستند.

(ب) کلاس B :

در یک تقویت کننده با کلاس B هدایت ترانزیستورها فقط در یک نیم سیکل انجام می گیرد . یا به عبارتی ترانزیستور تقویت کننده فقط در 180 درجه هدایت دارد و در نیم سیکل دیگر خاموش بوده و عملاً خروجی در این نیم سیکل موجود نیست اشکال زیر یک تقویت کننده با کلاس B و شکل موج های مربوط به آن را نمایش می دهد.



بلوک دیاگرام تقویت کننده کلاس B و شکل موج ورودی و خروجی آن



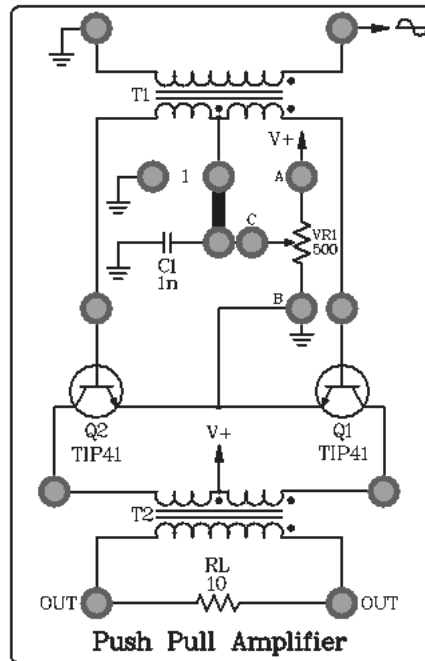
تقویت کننده کلاس B

## آزمایش 58: پوش پول کلاس های A,B,AB

توجه: در این آزمایش ممکن است به دلیل جریان کشی بالا، ترانزیستورها داغ شوند.

مراحل آزمایش:

(1) جامپر شماره 2 را در بلوک Push Pull Amplifier قرار دهید تا مدار زیر حاصل شود.



(2) اتصالات تغذیه (+12V, GND) را متصل نمایید.

(3) ولوم VR1 را برابر 1K وارد کنید.

(4) با استفاده از مولتی متر ولتاژ V+ را مشاهده کنید و مطمئن شوید حدودا برابر 12V باشد. سپس ولوم را طوری

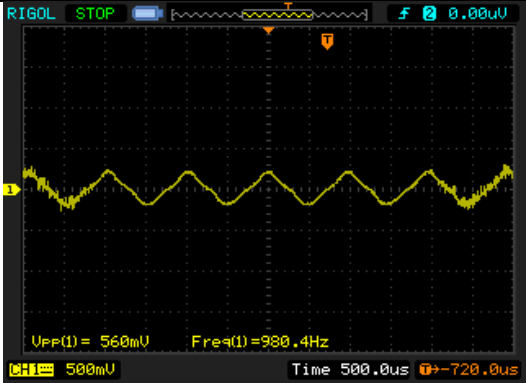
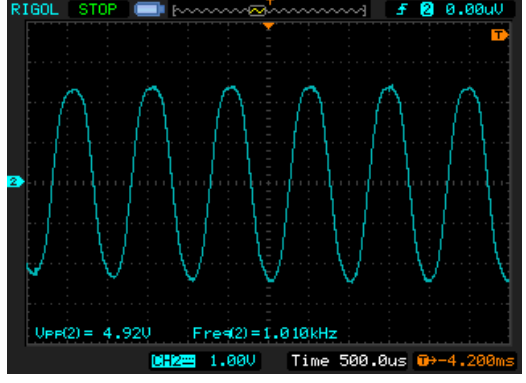
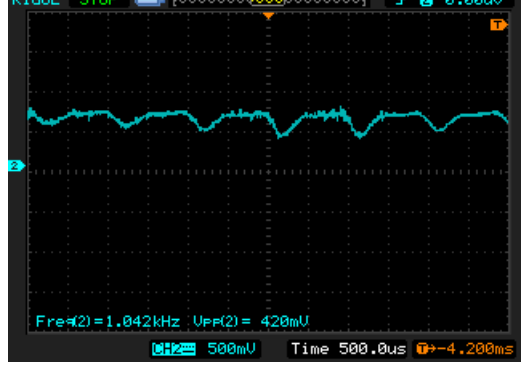
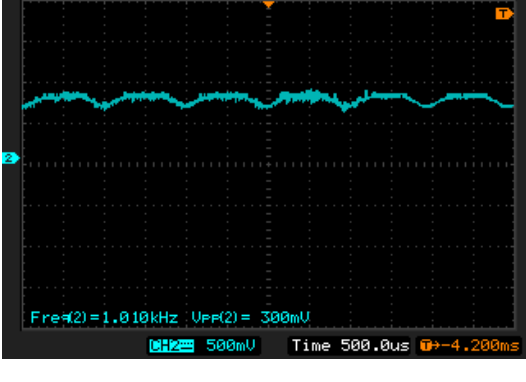
تنظیم کنید که ولتاژ بین C حدودا برابر 0.6V - 0.7V بشود.

(5) فانکشن ژنراتور را روی موج سینوسی 500HZ قرار داده و به سر ترانس ورودی متصل نمایید. کانال یک اسیلوسکوپ

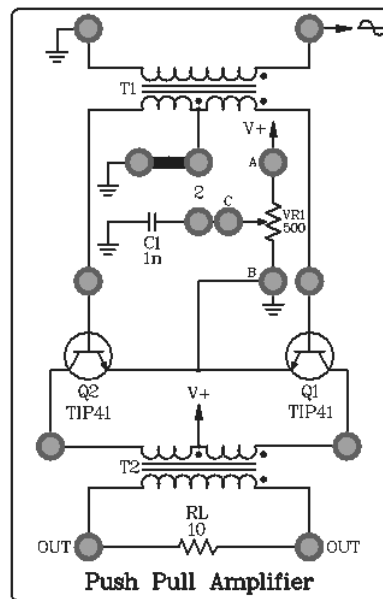
را به خروجی متصل نمایید. سپس دامنه سیگنال ورودی را به آرامی تا اندازه‌ای بالا ببرید تا بیشترین دامنه بدون

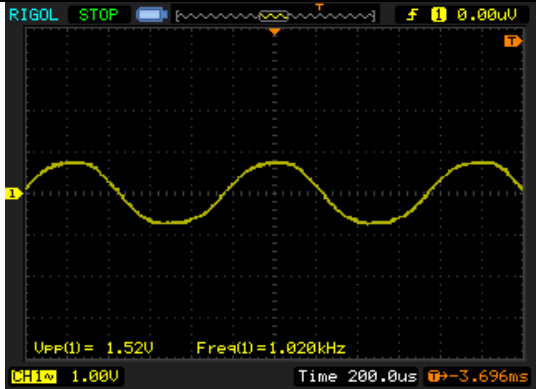
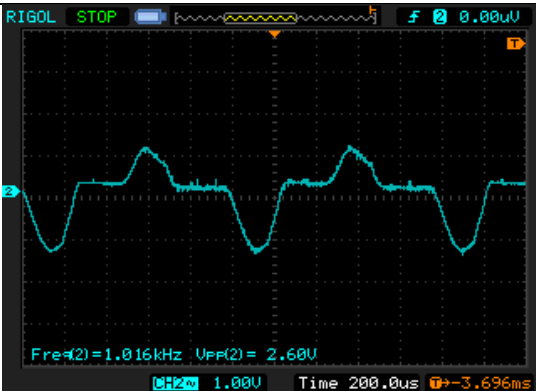
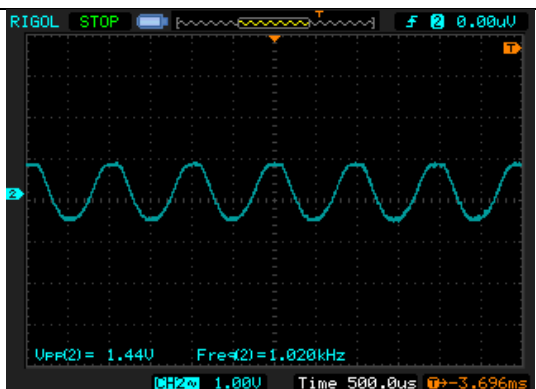
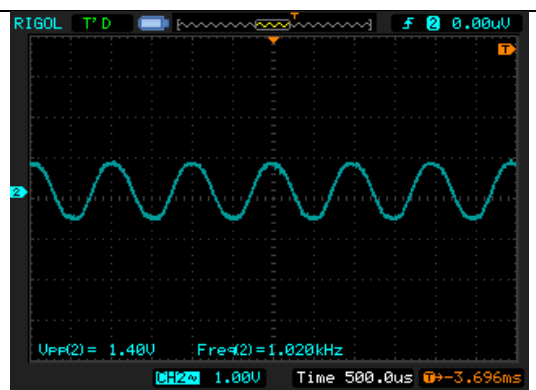
اعوجاج را در اسیلوسکوپ ببینید.

(6) شکل موجهای ورودی و خروجی و سیگنال بیس Q1 , Q2 را مشاهده و نتایج را ثبت و بررسی نمایید.

فرکانس	1KHz
ورودی in3	 <p>U<sub>PP</sub>(1) = 560mV    Freq(1) = 980.4Hz 500mV    Time 500.0us    -720.0us</p>
خروجی out	 <p>U<sub>PP</sub>(2) = 4.92V    Freq(2) = 1.010kHz 1.00V    Time 500.0us    -4.200ms</p>
Vb(Q1)	 <p>Freq(2) = 1.042kHz    U<sub>PP</sub>(2) = 420mV 500mV    Time 500.0us    -4.200ms</p>
Vb(Q2)	 <p>Freq(2) = 1.010kHz    U<sub>PP</sub>(2) = 300mV 500mV    Time 500.0us    -4.200ms</p>

(7) به جای جامپر شماره 2 جامپر شماره 1 را در بلوک Push Pull Amplifier قرار دهید تا سر وسط ترانس زمین شود و نقطه بایاس و کلاس کاری پوش پول عوض شود سپس مراحل قبل را تکرار کنید .



فرکانس	1KHz
ورودی in3	 <p>U<sub>PP</sub>(1) = 1.52V Freq(1) = 1.020kHz 1.00V 200.0us</p>
خروجی out	 <p>Freq(2) = 1.016kHz U<sub>PP</sub>(2) = 2.60V 1.00V 200.0us</p>
Vb(Q1)	 <p>U<sub>PP</sub>(2) = 1.44V Freq(2) = 1.020kHz 1.00V 500.0us</p>
Vb(Q2)	 <p>U<sub>PP</sub>(2) = 1.40V Freq(2) = 1.020kHz 1.00V 500.0us</p>