

اشنایی با دستگاه ها

(اسیلوسکوپ ، سیگنال ژنراتور و کار با آنها)

هدف : فراگیری اساس اسیلوسکوپ و اندازه گیری های ممکن با آن و نحوه کار با سیگنال ژنراتور

وسائل لازم : اسیلوسکوپ، سیگنال ژنراتور ، ولت متر، خازن، مقاومت، سیمهای رابط.

### ۱-۱ اندازه گیری در الکترونیک

اندازه گیری هایی که در الکترونیک صورت می گیرد عموماً عبارتند از :

۱- اندازه گیری دامنه جریان یا ولتاژ (متناوب یا مستقیم)

۲- اندازه گیری فاز

۳- اندازه گیری فرکانس یا زمان تناوب

۱-۲ خطای اندازه گیری

برای آنکه بتوانیم کمیت یک سیستم را اندازه گیری بکنیم. باید قسمتی از انرژی آن سیستم را به دستگاه اندازه گیری بدهیم این انرژی هر اندازه هم که کوچک باشد - در روی سیستم موثر است. بنابراین مقدار اندازه گیری شده با مقدار واقعی کمیت سیستم متفاوت است. در زیر به طور مختصر به بررسی خطای اندازه گیری، ولتاژ جریان می پردازیم.

۱-۳ خطای اندازه گیری ولتاژ

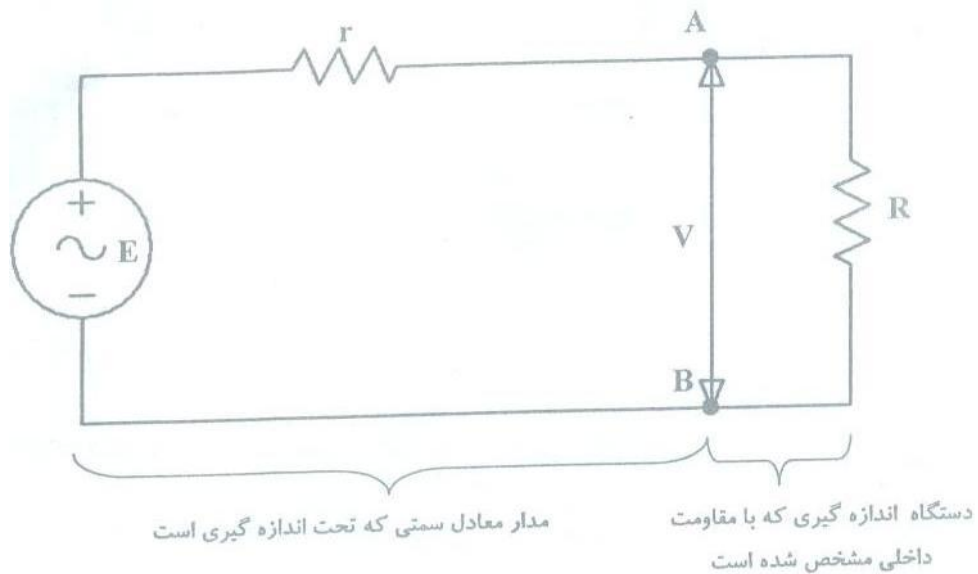
همیشه ولتاژ بین دو نقطه از مدار اندازه گیری می شود. این دو نقطه یک دو قطبی تشکیل میدهند که با یک نیروی محرکه و یک مقاومت داخلی نشان داده می شود. دستگاه اندازه

گیری ولتاژ نیز یک دو قطبی است که مقاومت داخلی دارد. بنابراین در موقع اندازه گیری مدار اصلی به صورت زیر است :

$$V = E \frac{R}{R+r}$$

در شکل ۱-۱ اندازه گیری شده بین دو نقطه A,B برابر است با

اگر دستگاه اندازه گیری را قطع کنیم، چون  $r$  کوچک است،  $v_{AB} = E$  بنابراین خطای نسبی اندازه گیری برابر است با .



شکل (۱-۱)

$$\frac{\Delta V}{E} = \frac{E_{real} - V_{measurement}}{E_{real}} = \frac{1}{1 + \frac{R}{r}}$$

معلوم می شود که هرچه امپدانس داخلی ولت‌متر (R) بزرگتر باشد، خطای اندازه گیری کمتر است.

یک ولت متر دقیق باید امپدانس ورودی بزرگی داشته باشد.

#### ۴-۱ خطای اندازه گیری جریان

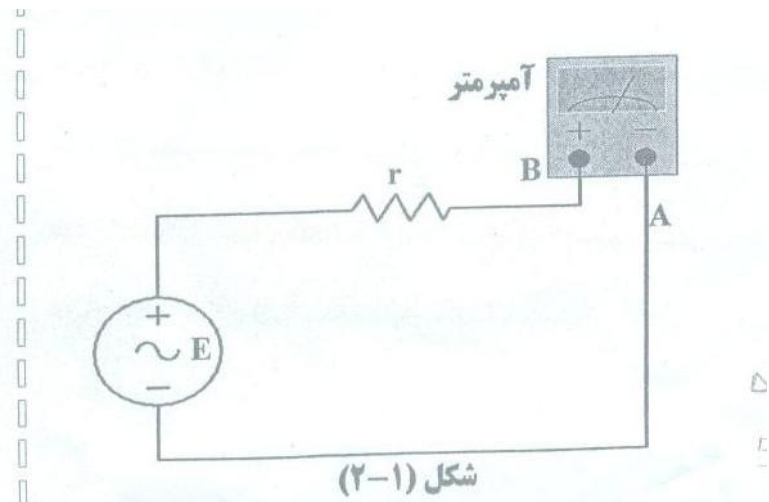
اندازه گیری جریان به کمک آمپرمتری که به طور متوالی در مدار قرار می گیرد انجام می

شود. مدار شکل ۲-۱ زیر را در نظر می گیریم . جریان در این مدار برابر است با :

$$I = \frac{E}{r}$$

اگر آمپرمتر در مدار و در بین نقاط AB قرار گیرد، جریان مدار تغییر می کند.

$$I' = \frac{E}{r + R}$$



در اینجا R مقاومت آمپرمتر است. خطای نسبی اندازه گیری برابر است با :

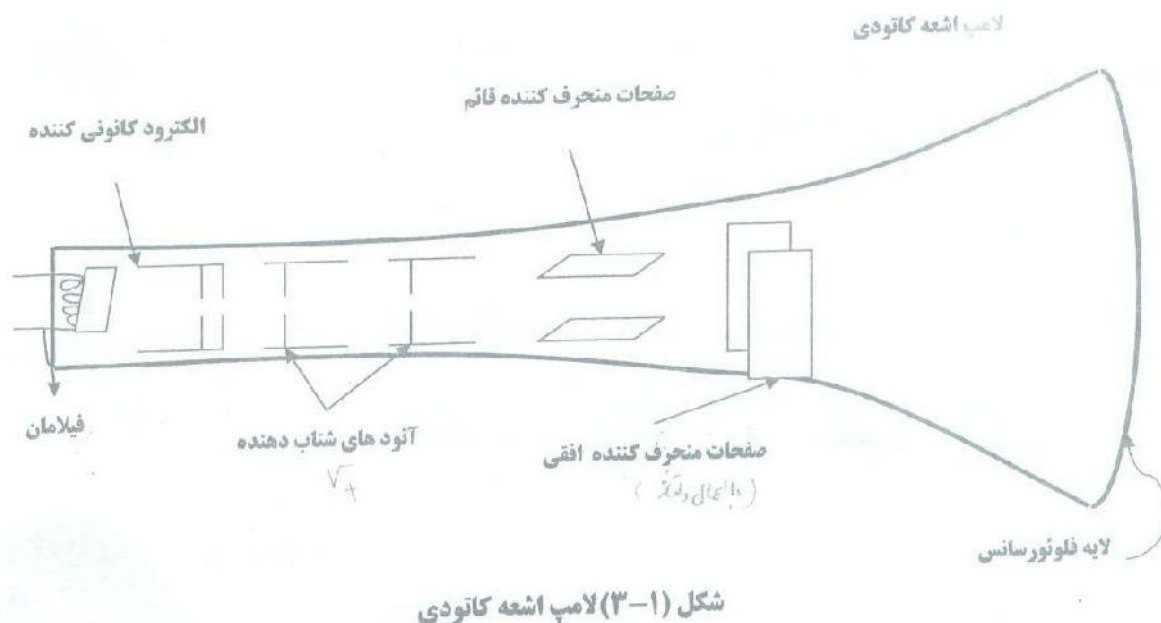
$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{1}{1 + \frac{r}{R}}$$

معلوم است که هرچه مقاومت آمپرمتر (R) کوچکتر باشد، خطای اندازه گیری کمتر است.

یک آمپرمتر دقیق باید مقاومت داخلی کوچکی داشته باشد.

#### ۵-۱ اسیلوسکوپ

اسیلوسکوپ وسیله ای اساسی در آزمایشگاه الکترونیک است که به کمک آن می توان کمیت‌های مختلفی مانند شکل موج ، ولتاژ، فرکانس ، اختلاف فاز و علائم الکتریکی را مشاهده و اندازه گیری نمود.

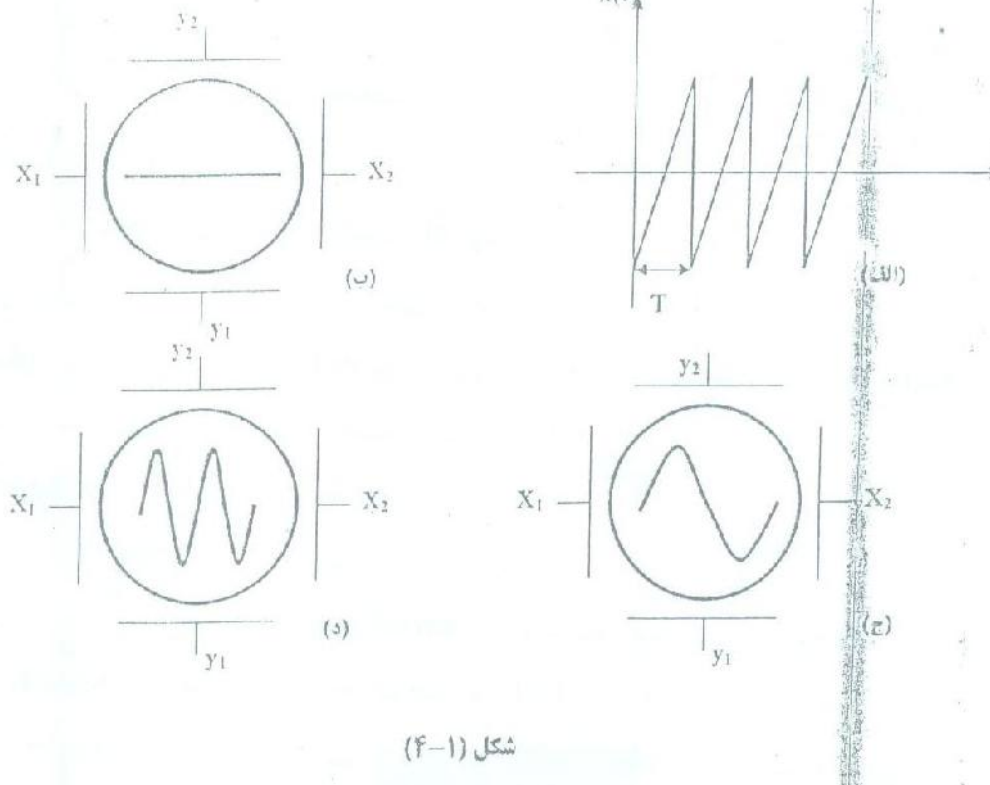


شکل (۳-۱) لامپ اشعه کاتودی

به طور کلی ساختمان اسیلوسکوپ شامل یک لامپ اشعه کاتودی (شکل ۳-۱) و همچنین تقویت کننده محور افقی، تقویت کننده محور قائم، مدار جارو کننده ، مدار همزمانی و مدار تغذیه (ولتاژ زیاد و ولتاژ کم) می باشد. تقویت کننده های محورهای قائم و افقی برای تقویت علائم التریکی ضعیف منظور شده اند. لامپ اشعه کاتودی دارای خلاء نسبی است (فشار آن در حدود  $10^{-6}$  میلیمتر جیوه است) و صفحه جلو آن از لایه نازکی از یک ماده فلئورسان پوشیده شده است. الکترونها بر اثر گرمای رشته از کاتود جدا شده و پس از شتاب گرفتن به وسیله آنود (که پتانسیل آن مثبت است) از الکترود کانونی کننده عبور می

کنند و پرتو باریکی را تشکیل می دهند. این پرتو الکترونی از بین صفحات منحرف کننده افقی و قائم می گذرد و به صفحه فلئوئورسان برخورد می کند و اثر آن روی صفحه به صورت نقطه روشن سبز رنگی دیده می شود. چون انحراف پرتو الکترونی با ولتاژ صفحات منحرف کننده متناسب است، پس با اعمال یک ولتاژ در بین صفحات منحرف کننده افقی یا قائم پرتو الکترونی متناسب با آن ولتاژ به طرف راست ، چپ ، بالا و یا پایین منحرف می شود.

در اسیلوسکوپ مولدی به نام مولد جاروب کننده وجود دارد و موج دنداناره ای ایجاد می کند. اگر یک ولتاژ دنداناره ای (شکل ۱-۴ الف) را به صفحات منحرف کننده افقی بدهیم. پرتو الکترونی عرض صفحه اسیلوسکوپ را جارو می کند و از این رو آن را ولتاژ جارو کننده می نامند. هنگامی که ولتاژ دنداناره ای به مقدار اولیه خود می رسد. پرتو الکترونی سریعا به نقطه ای که از آنجا شروع به حرکت کرده بود برمی گردد و به این ترتیب یک خط نورانی افقی در روی صفحه تشکیل می شود. چنانچه صفحات منحرف کننده قائم را به ولتاژ سینوسی وصل کنیم، در روی صفحه اسیلوسکوپ یک خط قائم ظاهر می شود ، ولی اگر در همین حال ولتاژ جاروکننده را به صفحات افقی بدهیم. در روی صفحه شکل موج سینوسی را مشاهده خواهیم کرد. این شکل موقعی ثابت به نظر می رسد که زمان تناوب T ولتاژ دنداناره ای مساوی با یا مضرب صحیحی از پریود T موجی باشد که به صفحات منحرف کننده قایم داده می شود. (شکل ۱-۴ ج و د)



شکل (۴-۱)

الف - موج دندان اره ای

ب - اثر پرتو الکترونی روی صفحه در موقع دادن ولتاژ دندان اره ای ب صفحات منحرف

کننده افقی

ج - شکل موج سینوسی در حالت  $T = T'$

د - شکل موج سینوسی در حالت  $T = 2T'$

۶-۱ مشخصات اسیلوسکوپ آزمایشگاه

اسیلوسکوپی که در آزمایشگاه با آن کار می کنید. اسیلوسکوپ مدل ۶۶ Telequipment

با ترسیم دوگانه (Dual Trace) است و دارای باند فرکانسی ۲۵ مگا هرتزی می باشد.

سیستم قائم هر نمودار از طریق کانالهای ۱ و ۲ از یکدیگر مجزا است و می توان ورودی

هر دو کانال را با هم یا به طور مجزا روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده کرد. با استفاده از ترانزیستورهای اثر میدانی (FET) در ورودی این اسیلوسکوپ می توان در کوتاهترین مدت به حالت پایدار رسید.

#### ۷-۱ قسمتهای مختلف اسیلوسکوپ آزمایشگاه الکترونیک

قسمتهای مختلف اسیلوسکوپ آزمایشگاه الکترونیک به شرح زیر است ،

۱-کلیدهای مربوط به لامپ اشعه کاتودی (CRT) شامل قسمتهای زیر (دقت کنید که نوشته های قرمز در روی اسیلوسکوپ مربوط به کلیدهای قرمز رنگ و نوشته های سیاه مربوط به کلیدهای خاکستری رنگ است)

BRILLIANCE-INTEN شدت نور نمودار را تغییر می دهد.

FOCUS باریکی نمودار را تنظیم می کند.

ASTIC به کلید Focus مربوط بوده و برای تنظیم بهتر به کار می رود.

TRACE ROTATION نمودار را حول محور افقی CRT می چرخاند

SCALE ILLUM روشنایی صفحه را تغییر می دهد روشن و خاموش کردن

دستگاه نیز با این کلید صورت می گیرد.

۲-جابه جایی افقی، شامل کلیدهای زیر است.

کانالهای ۱ و ۲ با هم ترکیب نشده باشند.

FINE برای تغییرات کم تعبیه شده است و اگر بیرون کشیده شود دامنه را ۵ برابر می کند

و باید کمیتهای اندازه گیری شده را بر ۵ تقسیم کرد.

۳- قسمت جارو کننده شامل کلیدهای زیر است :

TIME/DIV سرعت حرکت نقاط نورانی جارو کننده صفحه را تنظیم می کند و وقتی می

توان اعدادی را که نشان می دهد صحیح دانست که کلید VARIABLE به طرف راست تا آخر

پیچانده شده (CALL) و کلید FINE بیرون کشیده شده باشد و کلید VARIABLE هم در

حالت CALL قرار گرفته باشد. برای تعیین سرعت جارو باید اعداد را ۵ تقسیم نمود.

VARIABLE قادر است سرعتی را که به وسیله TIME / DIV انتخاب شده است. کمی

آهسته تر نماید. اگر آن را به داخل فشار دهیم دو موج ورودی کانالهای ۱ و ۲ با هم ترکیب

می شوند و بدین طریق نمودار X-Y بدست می آید.

TRIG LEVEL نقطه ای روی موج یا سیگنال ورودی انتخاب می کند که عمل جارو از آن

نقطه آغاز شده است.

STABI LUETY حساسیت مولد جاروکننده را تنظیم می کند. اگر این پیچ را در خلاف جهت

حرکت عقربه های ساعت بچرخانیم از حرکت موج ورودی جلوگیری می نماید و اگر آن را

در جهت حرکت عقربه های ساعت تا انتها بچرخانیم موج ورودی صفحه را بسرعت طی می

کند.

SINGLESHOT هنگام نشان دادن و یا عکسبرداری از یک موج غیر متناوب بکار میرود. اگر

یک موج متناوب به اسیلوسکوپ داده شود. در حالت SINGLE SHOT

هر بار که شستی RESET را فشار دهیم ، موج جاروکننده ظاهر می شود (البته به که

موجهای ورودی کانالهای ۱ و ۲ با هم ترکیب نشده باشند).



#### ۴- قسمت TRIG MODE OD

برای تریگر کردن موجهای مثبت و منفی بکار می رود.

۵- جابه جایی قائم کانالهای ۱ و ۲ شامل کلیدهای زیر است .

OFF – ON با آزاد کردن این دکمه کانال مربوط قطع (OFF) می شود.

CHOP – ALT- SUM سه حالت مختلف برای محور قائم کانالهای بوجود می آورند. در

حالت chop دو کانال به طور متناوب در فرکانسهای حدود ۵۰ کیلو هرتز روشن و خاموش

می شوند. این حالت برای سرعت های کم جاروکننده مناسب است. در حالت A LT تغییرات

هر کانال در طول یک موج جاروکننده آشکار می شود. حالت A LT برای سرعتهای زیاد

موج جاروکننده است و حالت SUM نمودار موجها می باشد.

POSITION اگر کانالها OFF نباشند نمودار را در امتداد قائم تغییر می دهد. اگر شستی

INVERT (مربوط به کانال ۲) به داخل فشار داده شود نمودار موج ورودی معکوس شد. در

حالت X-Y که می خواهیم موجهای ورودی با هم ترکیب شوند کانال ۱ به عنوان محور قائم

و کانال ۲ به عنوان محور افقی بکار می رود.

VOLT/DIV دامنه موج ورودی مربوط به هر کانال را با ۱۲ ضریب نشان می دهد. مقادیر

خوانده شده موقعی صحیح هستند که کلید VARIABLE به طرف راست تا آخر پیچانده شده

باشد.

VARIABLE قادر است حساسیتهایی را که بوسیله OLT/DIV انتخاب شده است تغییر دهد

چنانچه این کلید به داخل فشار داده شود بهره ۱۰ برابر خواهد شد.

DC-GND – AC سیگنال ورودی را انتخاب می کند. در وضعیت DC موج ورودی مستقیماً به دستگاه متصل می شود ولی وضعیت AC یک خازن بطور سری در مدار قرار می گیرد. در حالت GND ورودی به زمین متصل است و در این حالت ولتاژ DC صفر خواهد بود.

#### ۸-۱ طرز کار با اسیلوسکوپ

ابتدا کلید POWER را در جهت حرکت عقربه های ساعت می چرخانیم تا دستگاه روشن شود. در این حالت چراغ کوچک سبز رنگی روشن می شود. اگر کلیدهای OFF – ON دو کانال به داخل فشار داده شوند و خط نورانی روی صفحه ظاهر می شود. ابتدا شدت این خطها را به وسیله کلید BRILLIANCE و سپس باریکی آنها را با کلید FOCUS تنظیم می کنیم. اگر خطا نسبت به محور افقی CRT انحراف داشته باشند به وسیله کلید TRACE ROTATION آنها را افقی می نماییم و سپس بسته به آنکه بخواهیم از کانال ۱ یا ۲ استفاده کنیم، کلید OFF-ON مر بوط را در حالت متناسب قرار می دهیم.

باید دقت کرد که شدت نور در روی صفحه اسیلوسکوپ زیاد نباشد و نقطه نورانی هرگز برای مدت طولانی ثابت بماند. زیرا باعث کم شدن حساسیت صفحه می گردد. با تغییر کلیدهای VOLT/DIV-TIM/DIV کانال مربوطه شکل موج را روی صفحه می آوریم و با شستی های COARSE-POSITION موج را به وسط صفحه منتقل می کنیم. گاهی اوقات با چنین تغییراتی موج روی صفحه ظاهر نمیشود. در این صورت با تغییر تدریجی کلید STABILITY موج ظاهر می شود.

#### ۹-۱ سیگنال ژنراتور

سیگنال ژنراتور دستگاهی است که می تواند شکل موجی مختلف (مربعی، سینوسی ، دنداندار اری و غیره) را با فرکانسها و دامنه های متفاوت تولید کند.

#### ۱-۱۰ اجرای آزمایشگاه ها

##### ۱- مشاهده بعضی شکل موجها

با استفاده از مولد سیگنالی که در اختیار دارید سیگنالهای مختلفی را از لحاظ شکل، فرکانس به یکی از ورودیهای اسیلوسکوپ بدهید و نمودار آنها را در روی صفحه مشاهده کنید. با چرخاندن کلید TIME/DIV فرکانس و چرخاندن کلید VOLT/DIV دامنه شکل موج روی صفحه را تغییر دهید.

##### ۲- اندازه گیری ولتاژ

##### الف - اندازه گیری ولتاژ قله به قله یک موج

یک موج سینوسی را به یکی از ورودیهای اسیلوسکوپ بدهید. کلید VOLT/DIV را در حالت مناسب قرار دهید. حال یکی از نقاط می نیم موج را بر یکی از خطوط افقی صفحه مماس کنید. فاصله قائم این نقطه تا نقطه ماکزیمم موج را بر حسب تعداد درجات تعیین کنید. تعداد درجات را در ضربی که کلید Volt/div نشان می دهد. ضرب کنید. عدد بدست آمده را در ضریب تضعیف سیم رابط مخصوص اسیلوسکوپ (probe) ضرب کنید تا ولتاژ قله به قله بدست آید. این عمل را برای یک شکل موج دیگر (مربعی دنداندار اری ای

##### ب - اندازه گیری ولتاژ یک نقطه از موج

شکل موج دلخواهی را به یکی از ورودیها بدهید. ورودی اسیلوسکوپ را در حالت gnd قرار دهید تا سطح مبنای ولتاژ (خط اقی نورانی) تعیین شود. خط اقی نورانی را بر خط افقی وسط صفحه منطبق کنید. حال ورودی اسیلوسکوپ را در حالت dc قرار دهید. فاصله قائم نقطه موردنظر تا خط افقی وسط را بر حسب تعداد درجات تعیین کنید. ولتاژ نقطه موردنظر را از رابطه :

(تعداد درجات  $\times$  ضریب مربوط به کلید  $\text{volt/div} \times$  ضریب تضعیف سیم رابط ) بدست آورید.

این عمل را برای نقطه دیگری از موج تکرار کنید. در هر دو حالت فوق نتایج بدست آمده را ضمن ترسیم نحوه کار یادداشت نمایید.

### ۳-اندازه گیری فرکانس

یک موج سینوسی را به یکی از ورودیهای اسیلوسکوپ بدهید. برای تعیین فرکانس این موج کلید  $\text{Time/div}$  را در حالتی قرار دهید که روی صفحه بیش از دو سیکل از موج ظاهر نشود. حال یکی از نقاط مینیمم بعدی را بر حسب تعداد درجات را در ضریبی که کلید  $\text{TIME/DIV}$  نشان می دهد، ضرب کنید تا زمان تناوب موج بدست آید. عکس زمان بدست آمده فرکانس موج خواهد بود. این عمل را برای یک شکل موج دیگر تکرار کنید.

پرسش و تمرین ۱ - چگونه با روش فوق می توانید فاصله زمانی بین هر دو نقطه از موج را اندازه گیری نمایید؟ نتایج بدست آمده را ضمن ترسیم نحوه کار یادداشت کنید.

### ۴- مشاهده اختلاف فاز

می دانیم معادله ترکیب دو موج هم فرکانس عمود بر هم به معادلات

$$x = a \sin \omega t$$

$$y = b \sin(\omega t + \varphi)$$

که اختلاف فاز آنها  $\varphi$  می باشد. عبارت است از :

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{2xy}{ab} \cos \varphi - \sin^2 \varphi = 0$$

الف) مداری مطابق شکل ۱-۶ ترتیب دهید ولتاژ  $v_1$  را برابر ۲ ولت اختیار ورودی ۱ و ۷۲

را به ورودی ۲ اسیلوسکوپ وصل کنید.

ابتدا شکل موج هر یک از ورودی ها را ملاحظه کنید و سپس دو موج را با هم ترکیب کنید.

توجه : چون اتصال زمین ورودیهای ۱ و ۲ به هم متصل است، دقت کنید که همیشه سر

مربوط به اتصال زمین سیمهای رابطه اسیلوسکوپ را به هم وصل و به نقطه مشترک

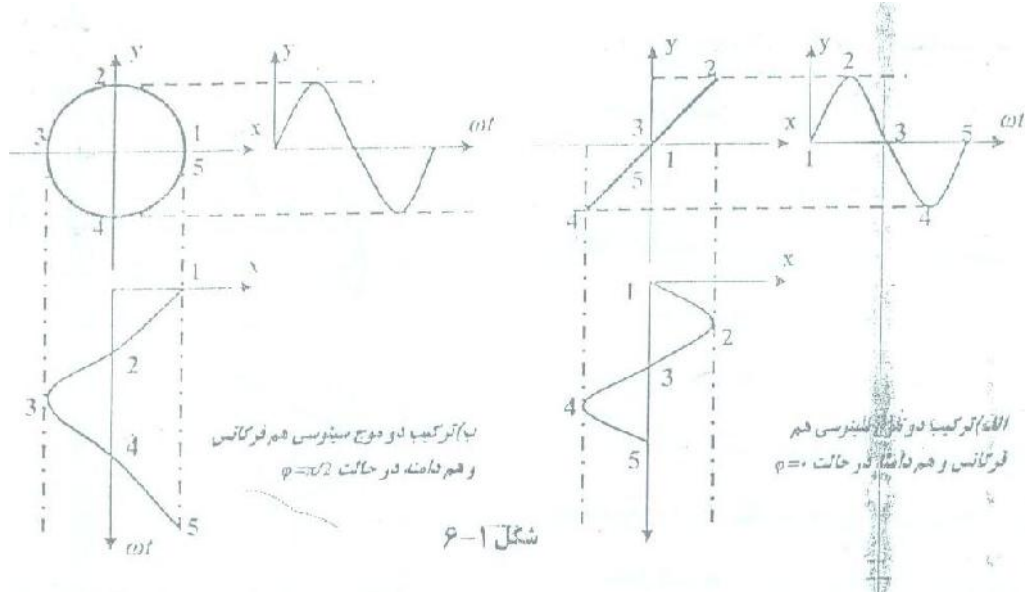
ورودی و خروجی مدار (زمین یا شاسی) متصل نمایید. چون اختلاف فازی بین دو موج

ورودی نیست، یک خط با ضریب زاویه  $-b/d$  در روی صفحه دیده می شود. در صورتی

که ۷۱, ۷۲ برابر باشند خط افقی زاویه ۴۵ درجه می سازد. شکل ۱- روش ترسیمی ترکیب

دو موج سینوسی هم فرکانس و هم دامنه را که با یکدیگر اختلاف فاز  $\varphi = 0, \varphi = \pi/2$

دارند نشان می دهد.



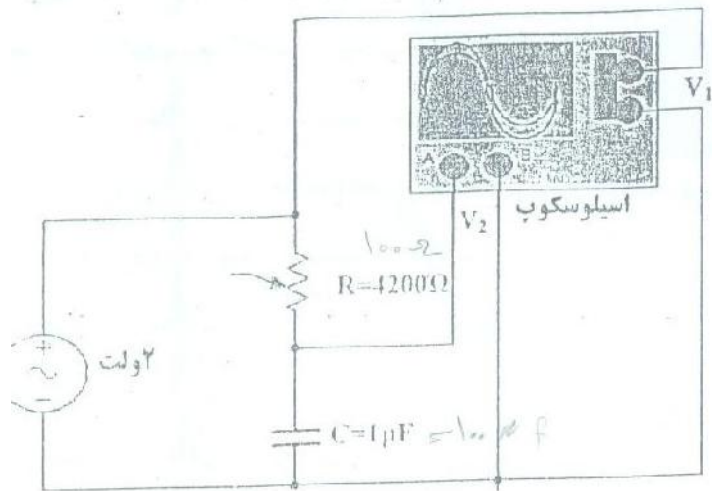
مدار شکل ۶-۱ را طوری ترتیب دهد که  $\varphi = \pi$  در این حالت با ترکیب ۷۱، ۷۲ در روی صفحه اسیلوسکوپ خط مستیمی با ضریب زاویه منفی مشاهده می کنید. در صورتی که ۷۲، ۷۱ برابر باشند خط با محور افقی زاویه  $135^\circ$  درجه می سازد.

ب - برای ایجاد یک اختلاف فاز غیر مشخص  $\varphi$  مدار شکل ۷-۱ را آماده کنید و با حرکت لغزنده رئوستا شکلهای مختلف منحنی مسدود حاصل را در روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده کنید.

شکل ۸-۱ الف روش ترسیمی ترکیب دو موج سینوسی را که با یکدیگر اختلاف فاز دارند نشان می دهد.

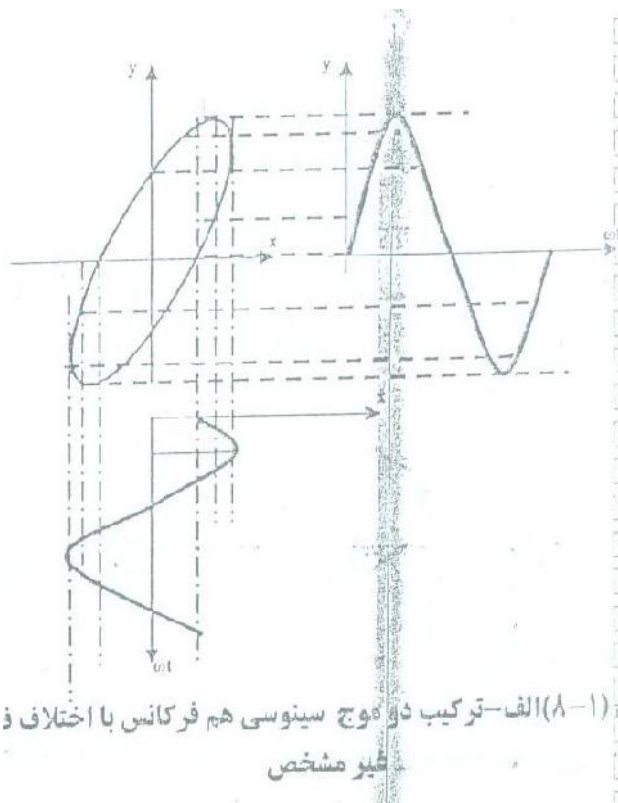
ترکیب دو موج سینوسی هم فرکانس با اختلاف فاز غیر مشخص

با اندازه گیری ۲b، ۲c در روی صفحه اسیلوسکوپ مطابق شکل ۸-۱ ب اختلاف فاز بین دو موج ورودی را اقلأ برای دو حالت مدار از رابطه  $\sin \varphi = c/b$  بدست آورید.



شکل (۷-۱)

$R=4200\Omega$  و  $C=1\mu F$  میکرو فاراد



(۸-۱) الف- ترکیب دو موج سینوسی هم فرکانس با اختلاف فاز غیر مشخص

### ج- تعیین فرکانس مجهول

شکل‌های حاصل از ترکیب دو موج سینوسی که نسبت فرکانس آنها دو عدد صحیح باشد.

منحنی‌های مسدودی هستند که شکل‌های لیسازو نامیده می‌شوند.

ابتدا اسیلوسکوژ را در حالت X-Y قرار دهید. سپس به کمک منبع تغذیه به ورودیهای یک ولتاژ سینوسی یک ولت بدهید و ورودی ۱ را به یک مولد موج سینوسی با فرکانس دلخواه متصل کنید. به این ترتیب فرکانس موج ورودی ۲ ۵۰۰ هرتز ثابت و فرکانس موج ورودی ۱ متغیر است. با تغییر فرکانس موج ورودی ۱ در روی صفحه اسیلوسکوپ اشکال مختلفی را ترتیب دهید. آنگاه با استفاده از رابط (تعداد نقاط تماس شکل با محور قائم / تعداد نقاط

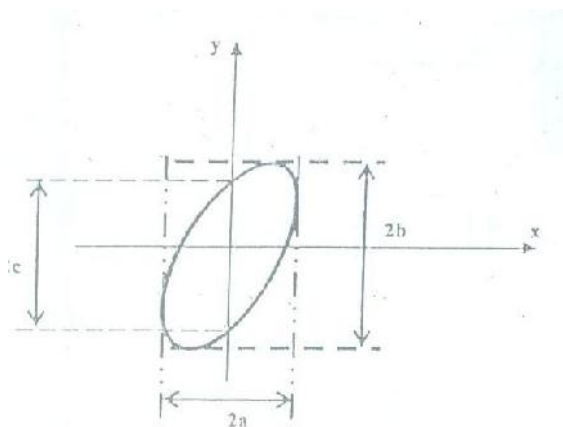
$$(F_1 / F_2) = (\text{تماس شکل با محور افقی})$$

فرکانس مولد موج  $F_1$  را در هر حالت تعیین کنید. (راهنمایی، فرکانسهای مولد ۱۵۰، ۱۰۰، ۵۰، ۲۵ و ۲۰۰ هرتز اختیار کنید). شکلهایی را که روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده می کنید رسم نمایید.

شکل (۸-۱) ب - منحنی لیسازور

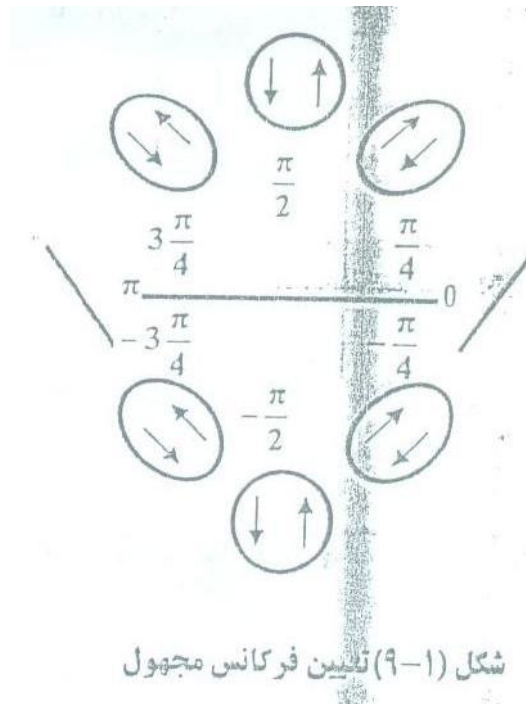
شکل (۹-۱) تعیین فرکانس مجهول

۵- مطالعه مدارهای مشتق گیر و انتگرال گیر



شکل (۸-۱) ب - منحنی لیسازور



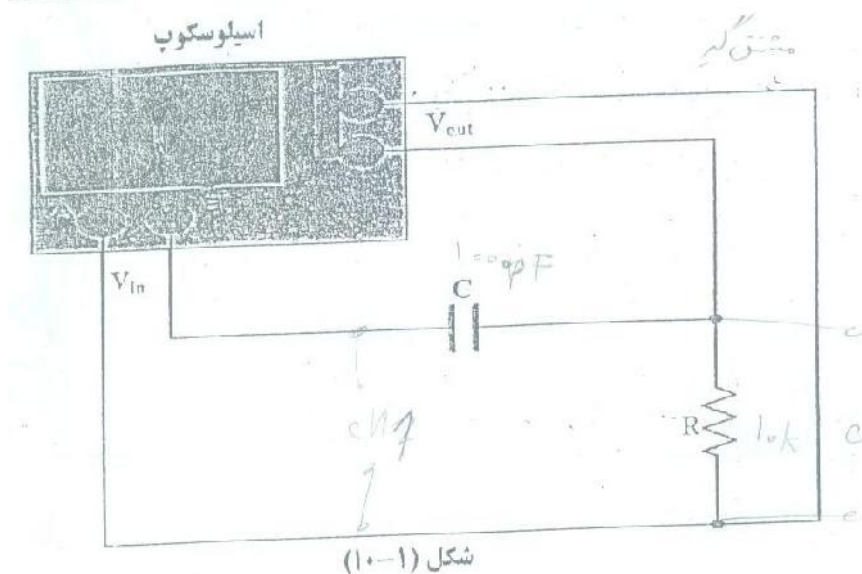


الف - مشتق گیر :

می دانیم که اگر معادله موجی به صورت  $X = a \sin \omega t$  باشد، مشتق آن نسبت به زمان به صورت  $dx / dt = a\omega \cos \omega t$  خواهد بود. به عبارت دیگر اگر معادله موجی به صورت سینوسی باشد مشتق آن به صورت کسینوسی است. یعنی به اندازه  $\pi/2$  اختلاف فاز دارد.

مداری مطابق شکل ۱-۱۰ ترتیب دهید و به ورودی آن یک شکل سینوسی با فرکانس یک کیلو هرتز بدهید. ولتاژهای خروجی و ورودی را به ورودیهای اسیلوسکوپ متصل کنید و شکل موج اختلاف فاز آنها را از رابطه  $\varphi = (2\pi t / T)$  بدست آورید. (رجوع کنید به شکل ۱-۱)

(۱۱)



اکنون ظرفیت خازن مدار را ۱۰۰ پیکوفاراد انتخاب کنید و این بار نیز اختلاف فاز را بدست آورید. دو حالت فوق را با هم مقایسه کنید و نتیجه بگیرید که به ازای چه ظرفیتهایی شکل موج خروجی به مشتق شکل موج ورودی نزدیکتر است.

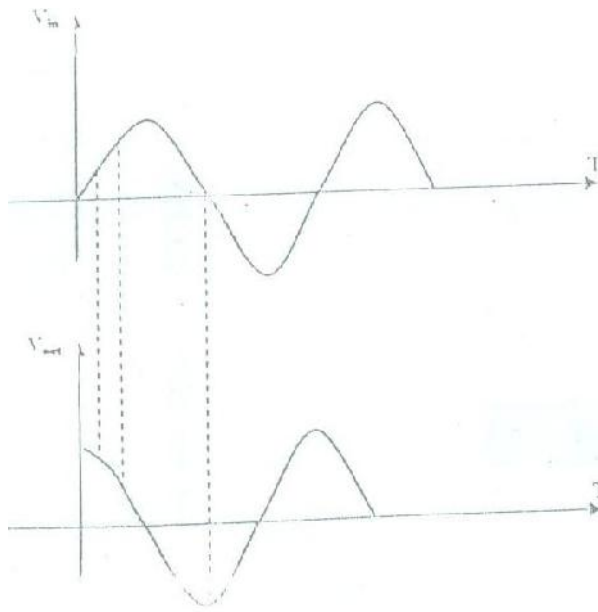
پرسش و تمرین ۲- با شرطی که از نتیجه این آزمایش بدست می آورید، به کمک محاسبه نشان دهید که شکل موج خروجی مشتقل شکل موج ورودی (با تقریب یک ضریب) است و مدار شکل ۱-۱۰ یک مدار مشتق گیر است.

آزمایش فوق را با دادن یک موج دندان اره ای به جای موج سینوسی به ورودی مدار تکرار کنید و شکل موجها را مشاهده نمایید. شکل موجهای ورودی و خروجی را رسم کنید.

ب - انتگرال گیر :

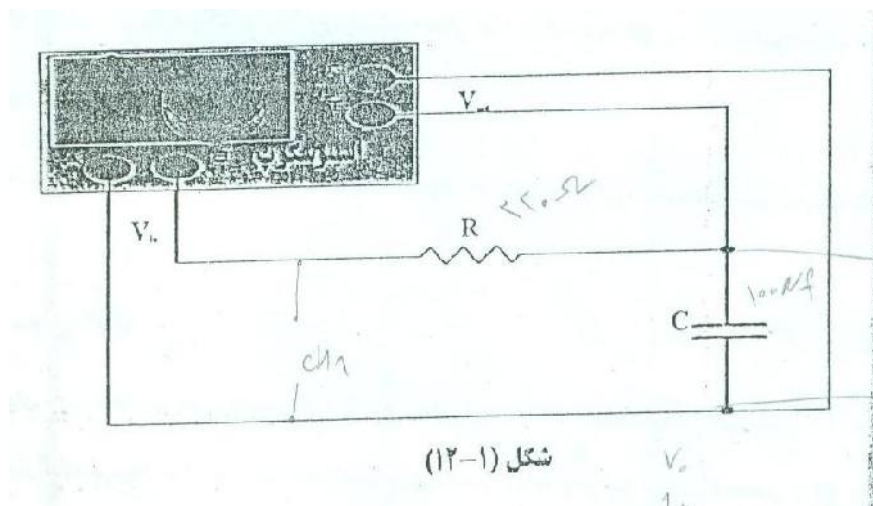
مداری مطابق شکل ۱-۱۲ ترتیب دهید و به ورودی آن یک موج سینوسی با فرکانس یک کیلو هرتز بدهید. ولتاژهای ورودی و خروجی را به ورودیهای اسیلوسکوپ متصل کنید و شکل موج آنها را مشاهده کند و اختلاف فاز آنها را بدست آورید. حال مقاومت مدار را ۱۰۰

کیلو اختیار کنید و این بار نیز اختلاف فاز را بدست آورید. دو حالت فوق را با هم مقایسه کنید و نتیجه بگیرید که به ازای چه مقاومت‌هایی شکل موج خروجی به انتگرال شکل موج ورودی نزدیکتر است.



پرسش و تمرین ۳- با شرطی که از نتیجه این آزمایش بدست می آورید به کمک محاسبه نشان دهید که شکل موج خروجی انتگرال شکل موج ورودی (با تقریب ضریب ۱) است و مدار شکل ۱-۱۲ یک مدار انتگرال گیر می باشد.

آزمایش فوق را با دادن یک موج مربعی به جای موج سینوسی به مدار ورودی مدار تکرار کنید و شکل موجها را مشاهده نمایید. شکل موجهای ورودی و خروجی را رسم کنید.



## آزمایش ۲

(مطالعه عناصر غیر فعال الکترونیکی و لحیم کاری)

هدف: آشنایی با ساخت، تعیین مقدار و روشهای اندازه گیری عناصر غیر فعال الکترونیکی (مقاومتها، خازنها، سلفها و مبدلها) لحیم کاری و ولتметр الکترونیکی.

وسایل لازم: اسیلوسکوپ، سیگنال ژنراتور، ولتметр معمولی، ولتметр الکترونیکی، وسایل لحیم کاری، گاز مقاومت خازن،

### ۱-۲ مطالعه مقاومتها

مقاومتها به دو دسته ثابت و متغیر تقسیم می شوند. هریک از این دسته ها نیز به دو گروه مقاومتهای سیم پیچی و مقاومتهای ترکیبی تقسیم می شوند.

### ۲-۲ مقاومتهای ثابت

هسته مقاومتهای ثابت نوع سیم پیچی از جنس سرامیک، چینی، فیبر شیشه، با کلیت و غیره ساخته می شود. جنس سیمهای بکار رفته به عنوان مقاومت نیز از آلیاژ مس، نیکل، منگانه و کنستانتان است. برای ساختن مقاومتهای نوع ترکیبی لایه های نازکی از یک فاز

را روی یک عایق استوانه ای می نشانند و با کربن را با یک ماده ی دی الکتریک مناسب مخلوط می کنند. با تغییر نسبت کربن و ماده ی دی الکتریک می توان مقاومت های متفاوت را بدست آورد. برای سیم های دو سر مقاومتها نیز از آلیاژ سرب استفاده می شود.

## ۲-۳ مقاومت های متغییر (پتانسیومتر)

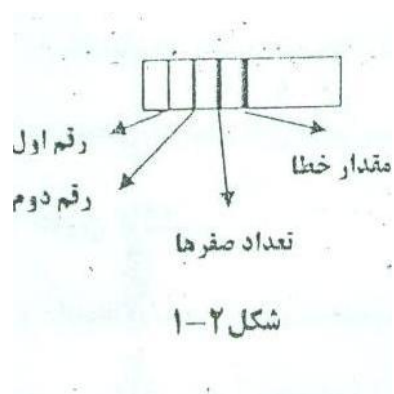
در پتانسیومتر یک لغزنده روی یک لغزنده روی مقاومت سطحی حرکت می کند. این حرکت خطی یا لگاریتمی است . هر پتانسیومتر سه خروجی دارد. و خروجی به انتهای مقاومت سطحی و خروجی سوم به لغزنده وصل است . از انواع دیگر مقاومت های متغییر می توان از رئوستا و جعبه مقاومت نام برد. اگر مقاومت هایی با توان مصرفی زیاد یا مقدار مقاومت دقیق مورد نیاز باشد. از مقاومت های نوع سیم پیچی استفاده می شود. از این نوع مقاومتها نمی توان در مدارهای رادیویی استفاده نمود زیرا در فرکانسهای بالا خواص القایی دارند. برای کارهای دقیق می توان مقاومت هایی با خطا ۱ درصد از نوع سیم پیچی ساخت. مقاومت های کربنی عموماً دارای خطای ۵ تا ۲۰ درصد هستند. مقاومتها را با توان ماکزیمم که در دمای ۲۷ درجه سانتی گراد تلف می کنند طبقه بندی می نمایند. محدوده اتلاف توان مقاومت های نوع سیم پیچی ۵ تا ۱۰۰ وات است. در انتخاب یک مقاومت باید عوامل زیر را در نظر گرفت.

### ۱- مقدار مقاومت ۱- توان مورد نیاز ۲- اثر پسماند خازنی

روی مقاومت های ترکیبی چهار نوار رنگی وجود دارد که برای تعیین مقدار خطای مقاومت بکار می روند. همانطوریکه شکل ۲-۱ نشان می دهد. این نوارها به یک انتهای مقاومت

نزدیکترند. از همان طرف خوانده می شوند. رنگ اول از سمت چپ رقم اول، رنگ دوم رقم دوم، رنگ سوم تعداد صفرها و رنگ چهارم مقدار خطا را نشان می دهد. اگر رنگ چهارم وجود نداشته باشد خطا ۲ درصد است.

کد رنگها در جدول ۱-۲ درج شده است.



جدول ۱-۲

نقره ای	طلایی	سفید	خاکستری	بنفش	آبی	سبز	زرد	نارنجی	قرمز	قهوه ای	سیاه	رنگ
-		۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۰	رقم اول
-		۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۰	رقم دوم
۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	ضریب
۱۰	۵	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	-	درصدخطا

برای مقامتهای کمتر از ۱۰ اهم سه نوار به کار می رود. آخرین رنگ طلایی یا نقره ای است. مثلاً اگر رنگها بنفش، سبز و نقره ای باشد. مقدار مقاومت ۷۵ اهم خواهد بود. مقاومتها دارای مقادیر استاندارد هستند و قطر مقاوتهای ۵، ۰، ۲، ۱ اهم به ترتیب ۴/۸، ۱۶/۱، ۵/۱ اینچ است.

## ۲-۴ مطالعه خازنها

خازنها از قرار دادن یک ماده عایق (دیالکتریک) در بین دو صفحه رسانا ساخته می شوند. خازنها را بر حسب ماکزیمم ولتاژ کار آنها طبقه بندی می کنند. ولتاژ شکست خازن تابع درجه حرارت و تلفات توان در دی الکتريک است. این تلفات به علت جریان نشت و پسماند در دی الکتريک است. اتلافات مربوط به پسماند با فرکانس افزایش می یابد و از این رو ولتاژ مجاز خازن با افزایش فرکانس کاهش می یابد. مثلا میزان ولتاژ مجاز یک خازن معین در جریان مستقیم ممکن است از ۱۰۰۰۰ ولت به ۲۰۰۰ ولت در فرکانس یک مگا هرتز و به ۲۰۰ ولت در فرکانس ده مگا هرتز کاهش یابد. انواع خازنهای مهم عبارتند از :

## ۲-۵ خازن با دی الکتريک هوا

دی الکتريک این نوع خازنها هواست و معمولا در مدارهای هماهنگی .....

## ۲-۶ خازن بادی الکتريکی جامد

در این نوع خازنها از دی الکتريکهای جامد مانند میکا، کاغذ ، ورقه های پلاستیکی و سرامیک استفاده می شود. این دی الکتريکها در اغلب خازنهای ثابت و بعضی خازنهای قابل تنظیم بکار می روند.

## ۲-۷ خازن کاغذی

این نوع خازنها از دو صفحه رسانای نازک به صورت ورقه قلع یا نقره ساخته می شوند که یک صفحه دی الکتريک از جنس کاغذ آغشته به پارافین یا پلاستیک در وسط آن دو صفحه قرار گرفته است. این مجموعه به صورت استوانه ای پیچیده شده و در یک پوشش قرار

داده می شوند. این نوع خازنها دارای پایداری خوبی بوده و جریان نشتی خیلی ضعیفی دارند. این نوع خازنها در حجمهای معمولی (چند سانتیمتر مکعب) و با ظرفیتهای ۱۰ میکروفارادی ساخته می شوند.

#### ۸-۲ خازن طلای

در این خازنها از طلق به عنوان دی الکتریک استفاده می شود و مجموعه در پوشش با کلیت قرار می گیرد. این نوع خازنها پایدار و گران هستند و ظرفیتهای کوچکتري ساخته می شوند.

#### ۹-۲ خازن سرامیکی

برای ساختن این نوع خازنها ظرفیت صفحه سرامیکی را از نقره یا مس می پوشانند. ظرفیتهای این خازنها معمولا کمتر از ۵ / ۰ میکروفاراد هستند. این خازنها ارزان هستند ولی دارای پایداری متوسط می باشند.

#### ۱۰-۲ خازن الکتریکی (شیمیایی)

الکترولیت این خازنها محلول اسید بوریک است که به عنوان صفحه منفی عمل می کند. صفحه مثبت این خازنها از آلومینیوم است . لایه نازکی از اکسید آلومینیوم که روی صفحه آلومینیومی تشکیل می شود به عنوان دی الکتریک عمل میکند. در خازنهای شیمیایی خشک از کاغذی که در اسید بوریک خیسانده شده است به عنوان الکتریک استفاده می شود. به هنگام استفاده از این نوع خازنها باید به قطبهای آنها توجه شود. از خازنهای شیمیایی در



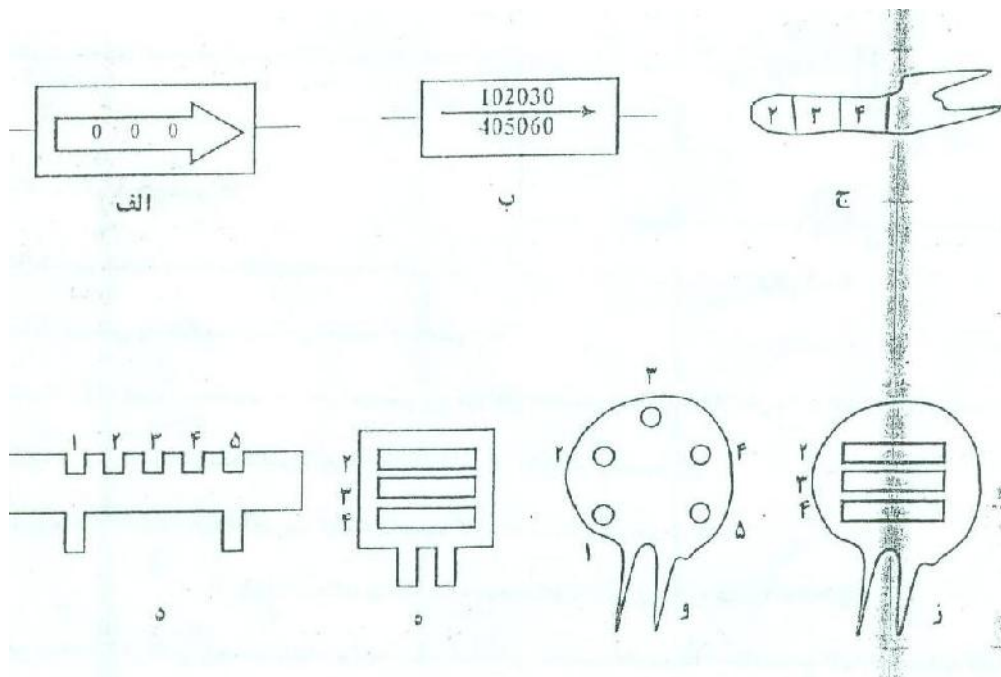
صافی ها و انشعابها و به عنوان خازنهای کوپلاژ در تقویت کننده های الکترونیکی استفاده می شود. در انتخاب خازن باید عوامل زیر را در نظر گرفت :

۱- ظرفیت لازم ۲- ولتاژ عمل ۳- ولتاژ و جریان موثر در کاربردهای فرکانس رادیویی ۴- مقدار خطا ۵- اثر القایی و مقاومتی ۶- ضریب حرارتی.

## ۲-۱۱ کد رنگی خازنها

خازنهای سرامیکی و طلقی با ظرفیت کم معمولاً به شکل تخت یا استوانه ای ساخته می شوند و کد رنگها به صورت شکل ۲-۲ روی آنها گذاشته می شود. از کد سه نقطه ای (شکل ۲-۲ الف) در خازنهای ساده میکا و برای ولتاژهای ۵۰۰ ولت و خطای ۲ درصد استفاده می شود. رنگها در جهت پیکان خوانده می شوند و همان معنی نوارهای رنگی مقاومتها را دارند. مقدار خوانده شده بر حسب پیکوفاراد است. شکل ۲-۲ نحوه کد گذاری رنگها روی خازنها است. الف و ب خازنهای طلقی و بقیه خازنهای سرامیکی هستند.

در کدگذاری شش نقطه ای (شکل ۲-۲ ب) رنگها به ترتیب نشان داده شده خوانده می شوند. سه رنگ اول سه رقم اول ظرفیت را بیان می کنند، رنگ چهارم تعداد صفرها، رنگ پنجم میزان خطا و رنگ ششم میزان ولتاژ مجاز را با ضریب ۱۰۰ ولت نشان می دهد. کد رنگها برای خازنهای سرامیکی در جدول ۲-۲ درج شده است.



جدول ۲-۲ کد رنگی خازنهای سرامیکی

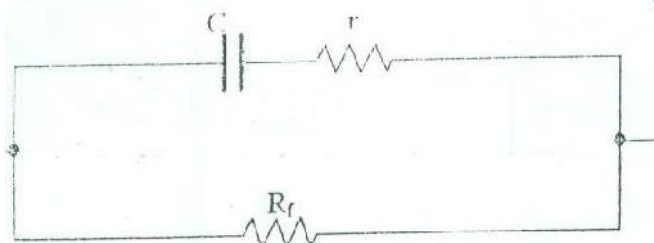
رنگ	سیاه	قهوه ای	قرمز	نارنجی	زرد	سبز	آبی	بنفش	خاکستری	سفید
ضریب حرارتی (P P m c)	۰	-۳۰	۸۰	-۱۵۰	-۲۲۰	۳۳۰	-۴۷۰	-۵۷۰	۳۰	۵۰۰
رقم اول	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
رقم دوم	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
ضریب (p f)	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
درصد خطا	۲۰	۱	۲			۵				۱۰

۱۲-۲ شمای معادل یک خازن

وقتی خازن به طور کامل شارژ می شود باید به صورت مدار باز عمل کند و اجازه عبور جریان را ندهد. اما خازنهای موجود در بازار حتی موقعی که به طور کامل شارژ نشده اند جریان را عبور می دهند. بنابراین شمای معادل یک خازن به صورت زیر خواهد بود.

$R_f =$  مقاومت نشت است که غالباً تابع  $V$  است.

$R =$  مقاومت محدودکننده جریان در حالت تخلیه که در این حالت دو سر خازن را اتصال کوتاه می کند.



شکل ۲-۳

### ۲-۱۳ مطالعه خود القاها

خودالقاها یا سیم پیچها با پیچاندن چند دور سیم به دو ریک قرقره عایق از جنس پلاستیک، سرامیک یا کاغذ ساخته می شوند. با قرار دادن یک هسته فرومانتیک در داخل این سیم پیچ می توان خاصیت خود القایی را افزایش داد. در انتخاب یک خود القا باید به نکات زیر توجه کرد ۱- مقدار اندوکتانس لازم ۲- جریان لازم ۳- مقاومت مجاز

#### سیم پیچ

مهمترین عامل در انتخاب خود القا ضریب کیفیت  $Q$  است که به صورت زیر تعریف می شود.

$$Q = \frac{\omega L}{R} = (\text{انرژی تلف شده در هر سیکل}) / (\text{انرژی ذخیره شده } 2\pi \times)$$

دراین رابطه  $\omega$  فرکانس بر حسب رادیان بر ثانیه  $L =$  خود القایی بر حسب هانری،  $R =$

مقاومت معادل (با احتساب تلفات هسته آهنی) بر حسب اهم

خودالقاهای به دو دسته ثابت و متغیر تقسیم می شوند که کاملاً عبارتند از :

#### ۲-۱۴ خود القاهای هسته آهنی

خودالقاهای بزرگ برای استفاده در فرکانسهای کم با پیچاندن چند صد دور سیم بر روی یک هسته آهنی فروماتیک ساخته می شوند. وجود این هسته باعث می شود که چگالی شار مغناطیسی به مقدار قابل ملاحظه ای افزایش یابد. برای کاهش تلفات جریانهای بسته (جریانهای فوکو) هسته ها را به صورت مورق می سازند.

#### ۲-۱۵ خود القاهای هسته فریتی

هسته های فریتی که از مواد فرومانتیکی خیلی مقاوم ساخته می شوند ، در فرکانسهای بالا مورد استفاده قرار می گیرند.

#### ۲-۱۶ خود القاهایی با هسته هوا

این سیم پیچها روی قرقره های عایق غیرمغناطیسی مخصوصاً از جنس سرامیک پیچیده می شوند زیرا در فرکانسهای بالای تلفات دی الکتریک کمتری دارند. خودالقاهای با هسته هوا در فرکانسهای خیلی بالا مانند مدارهای هماهنگ فرستنده ها که توان زیاد آنها موجب گرم شدن بی فایده هسته فریبت می شود. مورد استفاده قرار می گیرند. این سیم پیچها در اندازه هایی تا چند میلی هانری ساخته می شوند.

#### ۲-۱۷ محاسبه بویین برای مدارهای رادیویی و صوتی

واحد خود القایی هانری است. برای ساختن بویینهای یک لایه مدارهای رادیویی از فرمول زیر استفاده می شود :

$$L = \frac{R^2 N^2}{9R + 101}$$

که در آن  $R =$  شعاع استوانه ای است که بویین را روی آن می پیچیم با اضافه نصف قطر سیم (بر حسب متر) (بر حسب اینچ)

$N =$  تعداد دور سیم  $L =$  طول بویین بر حسب اینچ است.

معمولاً برای سهولت محاسبه از واحد اولی که در آنها قطر بویین ، نوعسیم خودالقایی بویین و تعداد دوزهای سیم پیچ نوشته شده است. استفاده می شود.

## ۱۸-۲ لحیم کاری

برای اتصال عناصر الکتریکی به هم معمولاً از آلیاژ از قلع و سرب (که لحیم نامیده می شود) استفاده می کنند. برای لحیم کاری خوب باید نکات زیر توجه کرد.

۱- تمیز بودن سر هویه ۲- قلع اندود کردن سر هویه ۳- قلع اندود کردن انتهای عناصر

۴- اتصال خوب عناصر به هم

## ۱۹-۲ اجرای آزمایش

۱- چند مقاومت در اختیار دارید. مقاومت آنها را تعیین کنید و سپس با مقدار اندازه

گیری شده توسط اهم متر مقایسه کنید. علت اختلاف را توضیح دهید.

۲- مقاومت پتانسیومتر را که در اختیار دارید با استفاده از اهم متر اندازه بگیرید. حدود

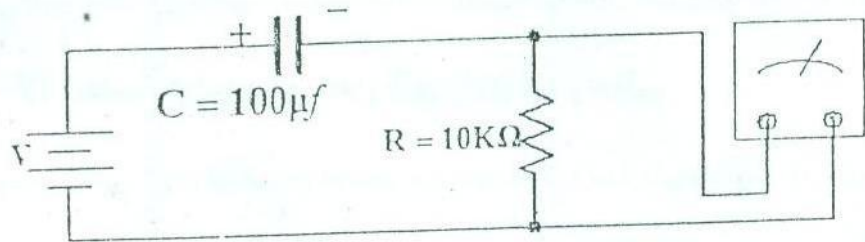
تغییرات آن چقدر است؟ آیا این مقاومت خطی است.

۳- چند خازن داده شده است. مقادیر زیر را برای این خازنها بنویسید.

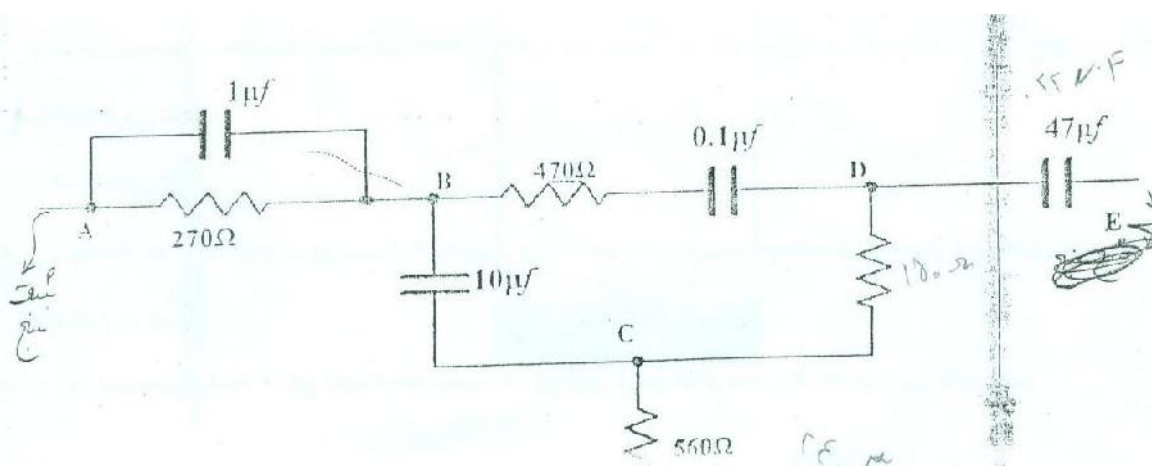
الف - نوع خازن      ب - میزان ولتاژ      ج - مقدار خطا      د- ضریب      درجه  
حرارت

۴- برای اندازه گیری جریان نشت از مدار شکل ۲-۴ استفاده کنید. برای این کار افت ولتاژ دو سر مقاومت را اندازه گرفته و آن را به مقدار مقاومت تقسیم کنید.

۵- مداری طبق شکل ۲-۵ سوار کنید. مقادیر ولتاژها را در نقاط مختلف مدار با استفاده از اسیلوسکوپ در دو حالت ورودی جریان دایم و جریان متناوب فرکانس زیاد اندازه گیری کرده و در جدول زیر یادداشت کنید.



شکل ۲-۴



نقاط	ولتاژ اندازه گیری شده در جریان دایم	ولتاژ اندازه گیری شده در جریان دایم	ولتاژ محاسبه شده در فرکانس زیاد	ولتاژ اندازه گیری شده در فرکانس زیاد
A				
B				
C				
D				
E				

۱- مدار شکل ۲-۶ را سوار کنید.

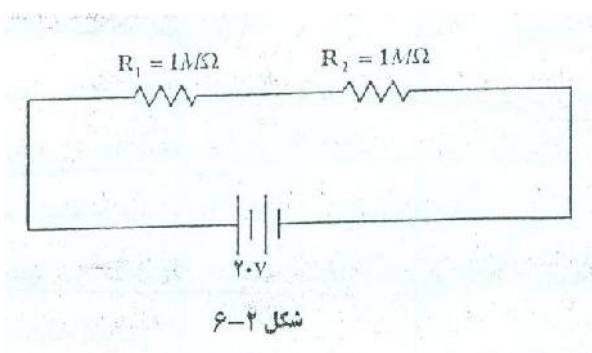
الف - مقدار افت ولتاژ دو سر مقاومت  $R_2$  را محاسبه کنید.

ب - با یک ولت‌متر معمولی ولتاژ و سر این مقاومت را اندازه بگیرید.

ج - با یک ولت‌متر الکترونیکی ولتاژ همان مقاومت را بدست آورید.

د - مقادیر اندازه گیری شده را با مقدار محاسبه شده مقایسه کنید.

ه - چرا ولت‌متر الکترونیکی دقیق تر از ولت‌متر معمولی است؟



آزمایش ۳

صافی ها

هدف : بررسی صافیها بالا گذر و پایین گذر و چگونگی تبدیل آنها به یکدیگر بررسی صافیهای میان گذر و طراحی یک صافی میان گذر (با استفاده از سیم پیچ و خازن ) و مطالعه نحوه تغییرات ضریب میدانی با تغییرات فرکانس موج ورودی.

وسائل لازم : اسیلوسکوپ ، منبع تولید ولتاژ سینوسی، ولت‌متر، مقاومت‌های ۱۰۰، ۱۳، و ۲۰۰ اهمی تعدادی خازن ۵، ۱ میکروفارادی و تعدادی سیم پیچ و خازن با ظرفیتهای مختلف (برای طراحی مدار خواسته شده )

### ۱-۳ مقدمه

صافیها بر اساس فرکانسهایی که از خود عبور می دهند. طبقه بندی می شوند.

صافیهای پایین گذر (فرکانس کمتر از  $f_1$  را عبور می دهند).

صافیهای بالا گذر(فرکانسهای بیشتر از  $f_2$  را عبور می دهند).

صافیهای میان گذر (فرکانسهای بین  $f_1$  و  $f_2$  را عبور می دهند).

صافیهای میان گذر (فرکانسهای بین  $f_1$  و  $f_2$  را حذف می کنند)

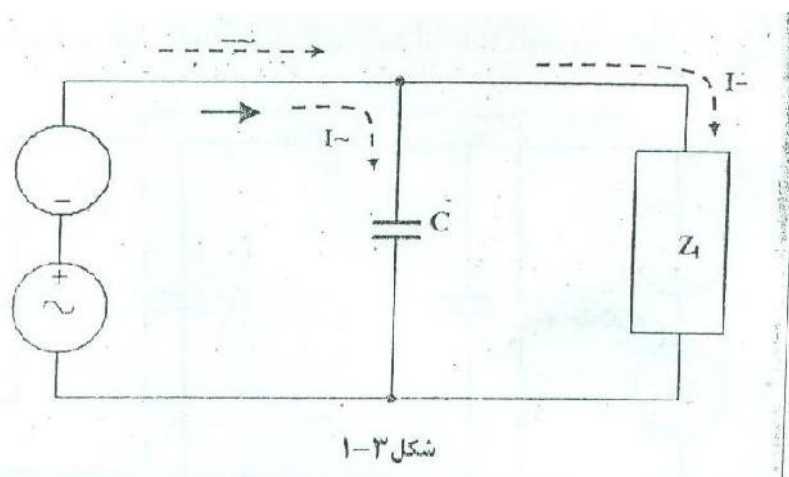
### ۲-۳ صافیهای مربوط به منابع تغذیه مستقیم

جریان حاصل از یک منبع تغذیه مستقیم کاملاً مستقیم نیست و مقداری جریان متناوب نیز تولید می شود. برای آنکه این جریان متناوب از مقاومت علور نکند می توان خازنی با مقاومت بار قرار داد. در این صورت جریان متناوب از خازن می گذرد و جریان مستقیم از مقاومت بار عبور خواهد کرد. واضح است که هرچه ظرفیت خازن بیشتر باشد نتیجه مطلوبتر است.



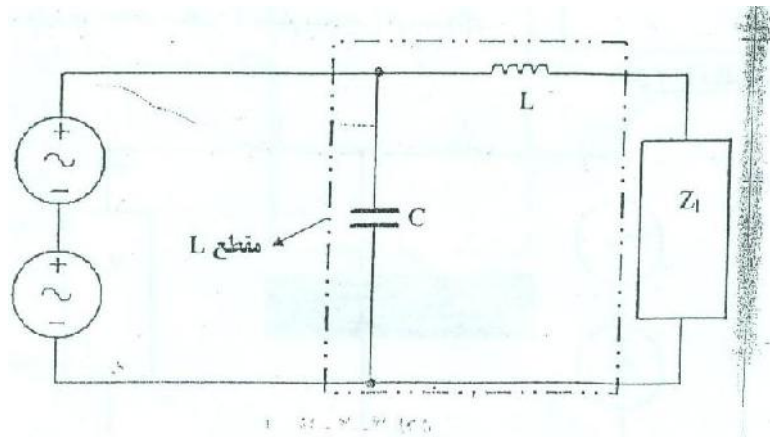
در اینجا می‌گوییم که خازن به عنوان یک صافی بکار رفته است (شکل ۱-۳) برای آنکه تقریباً تمامی جریان متغیر از خازن بگذرد، باید راکتانس آن خیلی کمتر از مقاومت بار باشد.

$$\frac{1}{C\omega} = Z_1$$

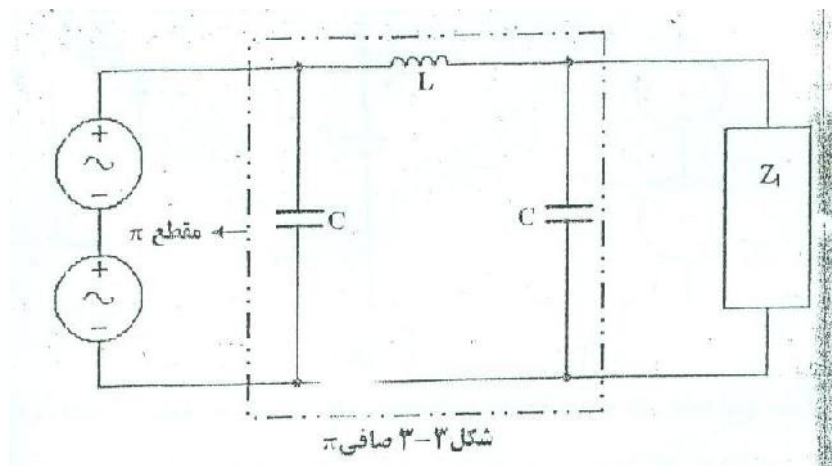


پس لازم است که ظرفیت خازن را بزرگ و مقاومت بار را کوچک انتخاب کنیم و یا برعکس. نکته قابل توجه این است که اگر از یک مدار مفروض چندین جریان متناوب با فرکانسهای مختلف به طور همزمان عبور کنند ظرفیت خازن صافی را باید طوری انتخاب کرد که کمترین فرکانس را از خود عبور دهد. گفتیم که اگر مقاومت بار کوچک باشد و یا منبع تغذیه جریان متغیری با فرکانس خیلی پایین تولید کند باید از خازنی با ظرفیت بزرگ استفاده کرد. اما چنین خازنی پر حجم و گران قیمت است. پس بهتر است که یک سیم پیچ هسته دار با خود القا خیلی بزرگ را به طور متوالی با مقاومت بار قرار دهیم (شکل ۲-۳) سیم پیچی که از سیمی با قطر نسبتاً زیاد پیچیده شده باشد دارای کمترین مقاومت برای جریان مستقیم و بیشترین راکتانس در برابر جریان متناوب خواهد بود. این گونه صافیها را

که از یک خازن و یک خود القا تشکیل شده اند. صافی L می نامند. با اتصال خازن دیگری در دو سر مقاومت باز (شکل ۳-۳) می توان باقیمانده جریان متناوب را که پس از عبور از صافی L به آن می رسد. حذف نمود. این صافی را صافی  $\pi$  می نامند.

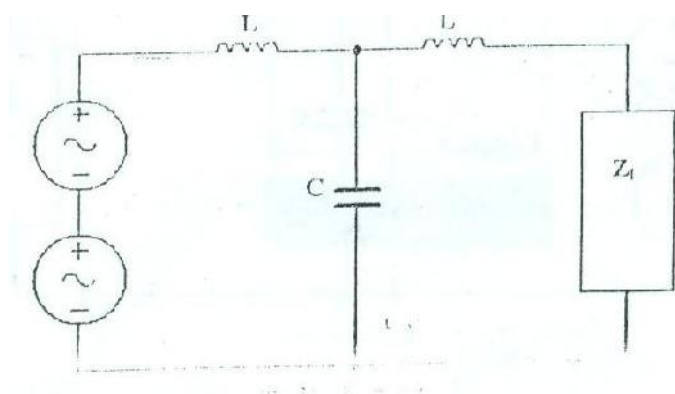
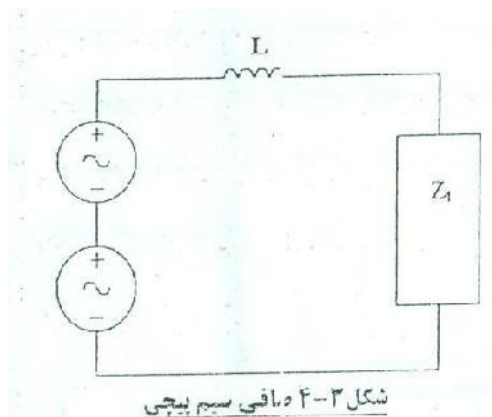


از سری کردن چندین صافی L و  $\pi$  می توان صافیهای پیچیده تری بدست آورد.



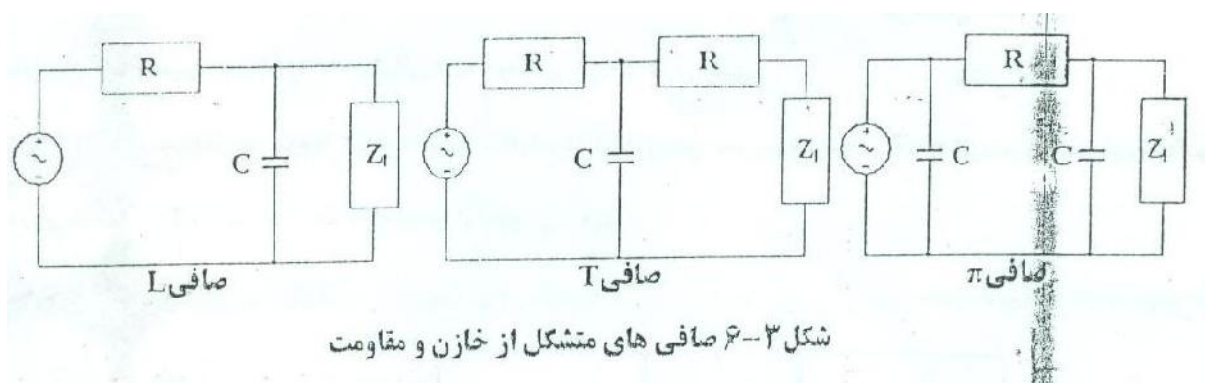
اما باید توجه داشت که عملاً بکار بردن بیش از سه صافی تقریباً بدون فایده است و تنها موجب افزایش وزن و حجم و قیمت دستگاه می شود. اگر مقاومت داخلی منبع تغذیه کوچک باشد، از یک سیم پیچ تنها می توان به عنوان صافی استفاده کرد (شکل ۴-۳) اگر راکتانس این سیم پیچ بقدری بزرگ باشد که در رابطه  $L_{ش} \gg ZL$  صدق کند. مقدار جریان متناوبی

که از آن می گذرد قابل اغماض است. در حالی که مقدار جریان مستقیم گذرنده از آن نسبتاً زیاد است، زیرا سیم پیچ مقاومت کمتری در برابر جریان مستقیم از خود نشان می دهد. برای بهتر نمودن عمل تصفیه خازنی را به طور موازی با مقاومت بار قرار میدهند.



این نوع صافی نیز از نوع L است. اگر سیم پیچ دیگری به مدار فوق افزوده شود. صافی بهتری خواهیم داشت. صافی حاصله از نوع T خواهد بود (شکل ۳-۵). در صورتی که امپدانس بار تغییر کند صافی نوع  $\pi$  ولتاژ خروجی پایدارتر و صافی نوع T جریان خروجی پایدارتری دارد. در صافی T سیم پیچ خازن و مقاومت بار از تغییرات شدید جریان مربوط به تغییرات ناگهانی امپدانس جلوگیری می کند. در حقیقت نیروی محرکه تولید شده در سیم پیچ بر اثر این تغییرات ناگهانی جریان را در یک سطح نگه می دارد. با توجه به معایب سیم

پیچها که بزرگی اندازه و زیادی وزن و بالا بودن قیمت آنها است. در صافیها به جای سیم پیچ از مقاومت استفاده می شود. مزیت این کار کاهش قابل توجه وزن و حجم قیمت صافی است. اما عیب اساسی این نوع صافیها آن است که توان زیادی را تلف می کنند. لذا چنین صافیهایی تنها در مدارهایی که جریان کمی از آنها می گذرد مورد استفاده می گیرند.



### ۳-۳ صافیهای پایین گذر

این نوع صافیها تمام فرکانسهای پایین تر از فرکانس معینی را که فرکانس قطع  $f_1$  نامیده می شود. از خود عبور می دهند و دامنه جریانهای مربوط به فرکانسهای بالاتر از  $f_1$  را تا حد میرایی می کاهند. این صافیها نظیر صافیهای منابع تغذیه مستقیم هستند و تنها مقدار ظرفیتها و خود القاها و مقاومتها فرق می کند. واضح است که ساختن صافی ایده آلی که بتواند جریانهای مربوط به فرکانسهای بالاتر از فرکانس قطع را به طور کامل حذف کند. غیر ممکن است بنابراین هر صافی در محدوده و میدان خاصی قدرت حذف ولتاژها یا جریانهای مربوط به فرکانسها را دارد. روی این اصل ضریبی به نام ضریب میدانی  $\beta$  برای صافیها تعریف می کنیم. ضریب میدانی عبارت است از نسبت توان ورودی به توان خروجی صافی است. با توجه به اینکه واکنش اندامهای بینایی و شنوایی

انسان به جای متناسب بودن با اندازه تغییرات تحریک با لگاریتم تغییرات تحریک متناسب است لذا عموماً میدانی را به جای نسبت توانها و بر حسب توانها و بر حسب دسی بل (یک دهم بل) تعریف می کنند:

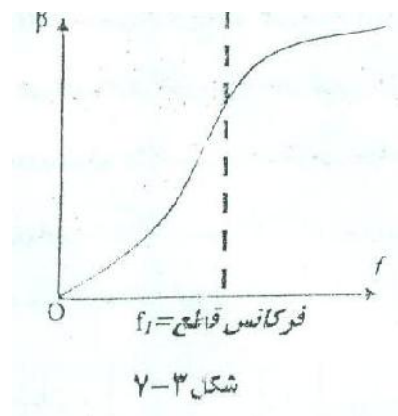
$$\beta = 10 \log \frac{P_1}{P_2} = 20 \log \frac{v_1}{v_2}$$

در شکل ۳-۶ ضریب میدانی یک صافی پایین گذر بر حسب فرکانس رسم شده است. برای آنکه شیب منحنی خروجی صافی در فرکانس قطع  $f_1$  خیلی تیز می باشد. شرط این است که:

ب- تعداد مقاطع صافی  $(\pi, T, L)$  تا حد امکان بیشتر باشد.

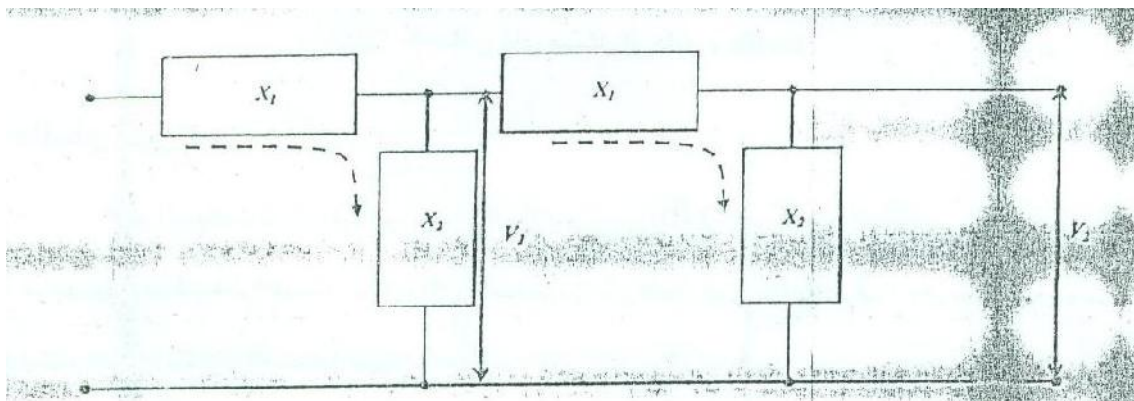
ج- امپدانس بار مقادیر پارامترهای صافی مطابقت داشته باشد.

در مورد شرایط بالا توضیح بیشتری می دهیم.

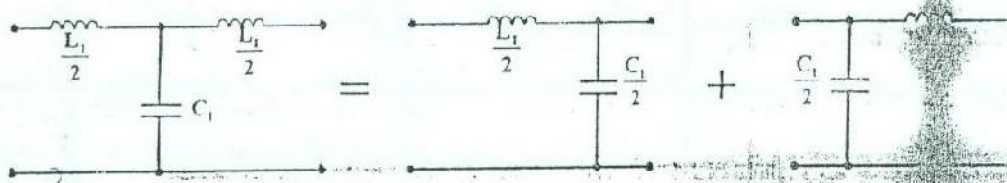


برای روشن شدن مطلب یک صافی مرکب را در نظر گرفته و آن را به صافیهای جزء L (شامل خازن و سلف) تقسیم می کنیم (شکل ۳-۷) همچنین می توان یک صافی L را به دو صافی جزء L تقسیم کرد (شکل ۳-۸) صافی  $\pi$  به دو صافی جزء L قابل تقسیم است (شکل

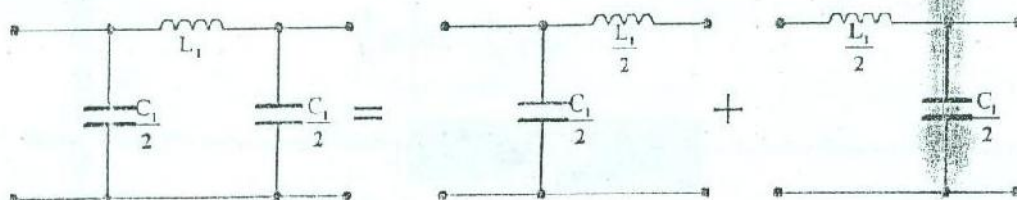
۹-۳) در مورد اخیر باید توجه کرد که مقدار سلفها و خازنها در موقع تقسیم صافیهای  $\pi, T$  تغییر می کند. این چگونگی تغییر را در روی شکلها نشان داده ایم و در صفحات بعدی توضیح می دهیم.



شکل ۳-۸ نمایش صافی به صورت زنجیری از صافی های L



شکل ۳-۹ نمایش نحوه تقسیم یک صافی پایین گذر T به دو صافی L



شکل ۳-۱۰ نمایش نحوه تقسیم یک صافی پایین گذر T به دو صافی L

با توجه به اینکه توان داده شده به ورودی یک صافی مرکب از طریق صافیهای جزء به خروجی آن می رسد. اگر تلفات صافی را به حساب نیاوریم جریانها و ولتاژها تمام صافیها جزء یکسان خواهند بود. تحت این شرایط ایده آل یک صافی در مقابل منبع تغذیه مانند یک

مقاومت خالص عمل می کند. اگر جریان در سیم پیچهای یک صافی  $l$  و ولتاژهای دو

سرخازنهای آن  $V$  باشد توان راکتیو در هر سیم پیچ و هر خازن برابر است با :

$$P_{t.react} = \frac{1}{2} I^2 X_L \qquad P_{C.react} = \frac{I V^2}{2 X_C^2}$$

چون بنا به فرض  $P_{C.react} = P_{L.react}$  پس مقدار مقاومتی که صافی در مقابل منبع تغذیه نشان

می دهد برابر است با :

$$R_{in} = \frac{V}{I} = \sqrt{X_L X_C}$$

در اینجا  $X_C, X_L$  به ترتیب راکتانسهای سلف و خازن است. هر صافی جزء همین مقدار

مقاومت را در برابر صافی جزء ماقبل خودش نشان می دهد. این کمیت را امپدانس

مشخصه یا امپدانس موج  $W$  صافی می نامند. در یک صافی جزء  $X_L = \frac{\omega L_1}{2}, X_C = \frac{2}{\omega C_1}$

است . در نتیجه امپدانس موج به صورت زیر حساب می شود.

$$R_{in} = W = \sqrt{X_L X_C} = \sqrt{L_1 / C_1}$$

برای آنکه آخرین صافی جزء نیز مانند صافی جزء ماقبل عمل کند. باید امپدانس صافی با

مقاومت بار تطبیق داده شود یعنی بار از نوع مقاومتی بوده و با امپدانس موج صافی برابر

باشد.

$$R = \sqrt{L_1 / C_1} = W$$

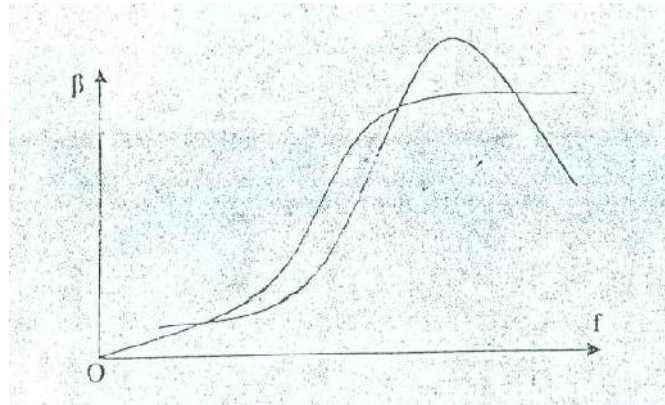
هر صافی جزء  $L$  یک مدار نوسان کننده از نوع سری است. در فرکانس تشدید راکتانس

خازن با راکتانس سلف برابر است اما در فرکانسهای پایین تر از فرکانس تشدید راکتانس

خازنها بسرعت بالا می رود و راکتانس سلفها کاهش می یابد یعنی در فرکانسهای پایین تر از فرکانس تشدید جریان به طور از طریق سلف به بار منتقل می شود. در فرکانس بالاتر از فرکانس تشدید راکتانس سلف زیاد می شود و راکتانس خازن کاهش می یابد. بنابراین در فرکانسهای بالاتر از فرکانس تشدید جریان از طریق خازنها که راکتانس کمتری در مقابل آن نشان می دهند عبور می کند و در نتیجه به بار نمی رسد. فرکانس تشدید در صافی L فرکانس قطع صافی ( $f_1$ ) خوانده می شود.

$$f_1 = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{L_1 C_1}{2X_2}}} = \frac{1}{\pi \sqrt{L_1 C_1}}$$

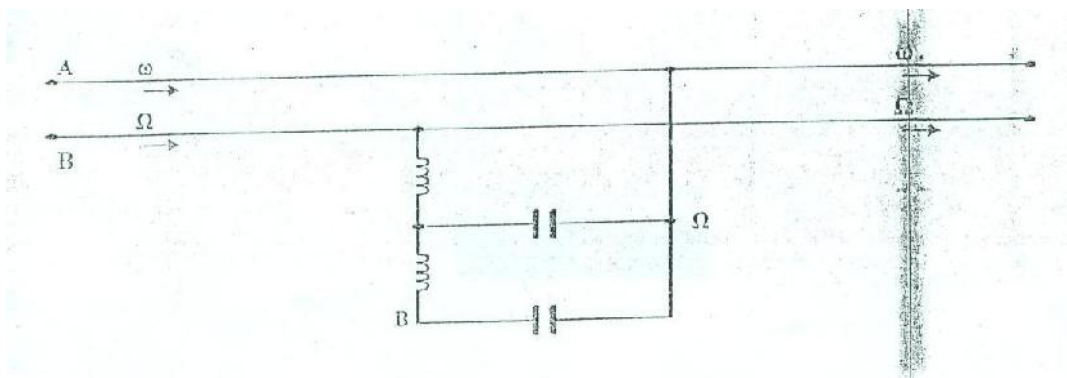
$$L_1 = \frac{R_{load}}{\pi f_1} \quad C_1 = \frac{1}{\pi f_1 R_{load}}$$



بنابراین نتیجه می گیریم که در صافیهای پایین گذر  $\pi$  تمام سلفها باید دارای اندوکتانس L و خازنهای متصل به دو انتهای صافی دارای ظرفیت  $C_1/2$  و خازنهای بین دو سلف دارای ظرفیت  $C_1$  باشند. در مورد صافیهای T خازنها دارای ظرفیت  $C_1$  بوده و سلفهای متصل به دو انتهای دارای اندوکتانس  $L_1/2$  و سلفهای متصل بین دو خازن دارای اندوکتانس  $L_1$



خواهد بود. اگر تلفات عناصر صافی بیشتر باشد تیزی فرکانس قطع کمتر خواهد بود. هرچه تعداد صافیهای جزء بیشتر شود (۳ یا ۴ صافی) تیزی فرکانس قطع بالا می رود. اگر امپدانس خروجی صافی با مقاومت بار مطابقت نداشته باشد دامنه خروجی صافی به مقدار زیادی خراب می شود این موضوع در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است. انتخاب صافی نوع T یا  $\pi$  بخصوصی بستگی دارد. مثلا اگر قرار باشد که فرکانس کم  $\Omega$  و فرکانس زیاد  $\omega$  از مداری عبور کنند (شکل ۳-۱۲) به طوری که فرکانس کم از خط B گذشته و به عبور فرکانس زیاد از خط A لطمه ای وارد نشود تنها از صافی T استفاده می شود. زیرا اگر از صافی وارد شود تنها از صافی  $\pi$  استفاده می شود. زیرا اگر از صافی  $\pi$  استفاده شود خازن وصل شده در ورودی آن فرکانسهای زیاد را عبور نمی دهد و یک اتصال کوتاه برای فرکانسهای بالا فراهم می کند.

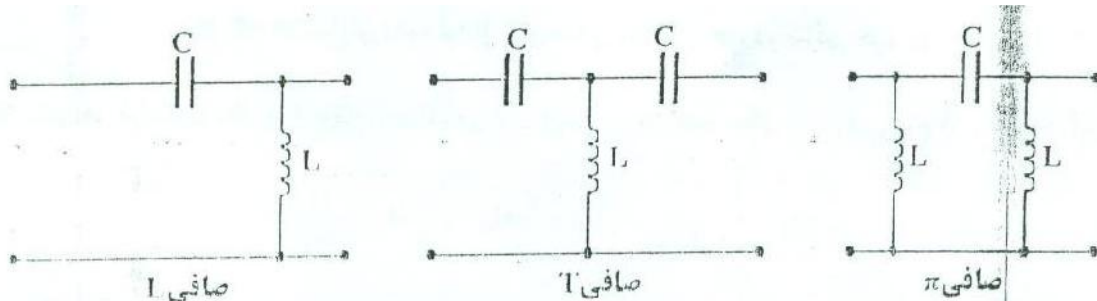


۳-۴ صافیهای بالاگذر

این نوع صافیها فرکانسهای بالاتر از فرکانس قطع را از خود عبور می دهند و دامنه جریانهای مربوط به فرکانسهای پایین تر از فرکانس قطع را تا حد میرایی می کاهند. از آنجایی که این نوع صافیها کار عکس صافی پایین گذر را انجام می دهند لذا می توان با

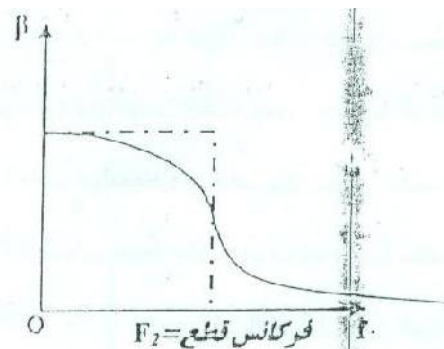
تعویض جای سلفها و خازنها در صافی پایین گذر یک صافی بالا گذر بدست آورد. (شکل

(۱۳-۳)



شکل ۱۳-۳ صافی های بالا گذر ساده از نوع  $\pi$ , T, I

منحنی ضریب میدانی یک صافی بالا گذر بر حسب فرکانس مانند شکل ۱۴-۳ است.

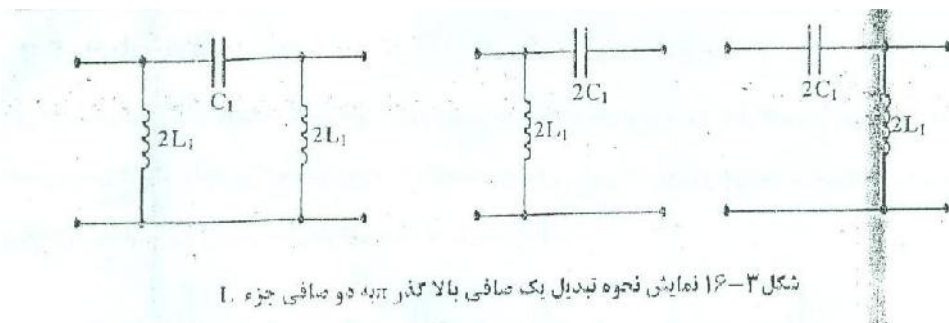
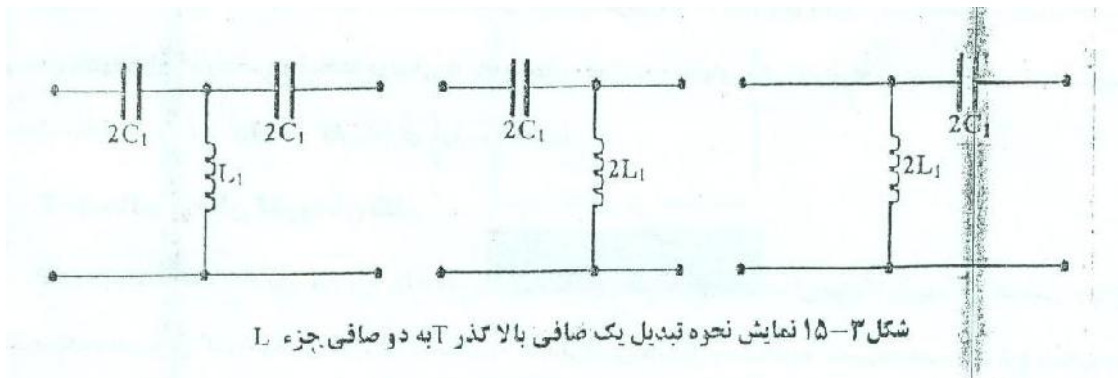


شکل ۱۴-۳ منحنی خروجی دامنه فرکانس صافی بالا گذر

مانند صافیهای پایین گذر هرچه تلفات صافی کمتر، تعداد مقاطع جزء بیشتر و تطبیق

امپدانس صافی با مقاومت بار بهتر باشد. این منحنی به منحنی ایده آل نزدیکتر می شود.

مانند قبل می توان صافیهای T و  $\pi$  را به جزء L تقسیم کرد. (شکل های ۱۵-۳ و ۱۶-۳)



در اینجا نیز با مساوی هم قرار دادن توان راکتیو خازن و سلف می توان امپدانس مشخصه صافی یا امپدانس موج  $W$  را بدست آورد.

$$X_C = \frac{1}{2\omega C_1} \quad X_L = 2\omega L_1 \rightarrow W = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}}$$

هر صافی جزء مدار نوسانگری است که فرکانس تشدید آن برابر است با

$$f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{2L_1 2C_1}} = \frac{1}{4\pi\sqrt{L_1 C_1}}$$

در فرکانس تشدید راکتانسهای عناصرهای مختلف با هم برابرند اما هرچه فرکانس زیاد شود راکتانس خازنها سریعاً کاهش می یابد و راکتانس سلفها افزایش می یابد. بنابراین فرکانسهای بالاتر از فرکانس تشدید از خازنها خواهد گذشت بدون آنکه به طور قابل توجهی توسط سلفها تغییر کند. پس این نوع صافی فرکانسهای بالاتر از فرکانس قطع  $f_2$  را عبور خواهد داد. در فرکانسهای پایین تر از فرکانس قطع راکتانس خازنها زیاد می شود و

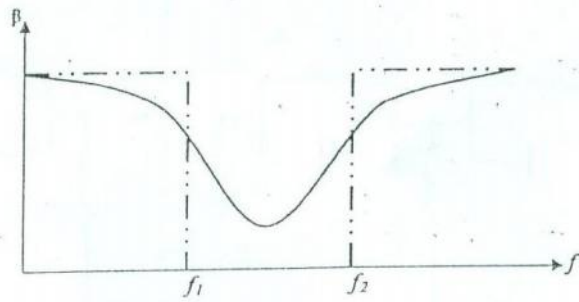
راکتانس سلفها کاهش می یابد. بنابراین فرکانسهایی توسط سلفها منحرف شده و به مقاومت بار نمی رسد. اگر تلفات صافی کم باشد با استفاده از شرط  $R_{load} = W$  می توان فرمولهای محاسبه عناصر صافی بالا گذر را بدست آورد.

$$L_1 = \frac{R_{load}}{4\pi f_2}, \quad C_1 = \frac{1}{4\pi f_2 R_{load}}$$

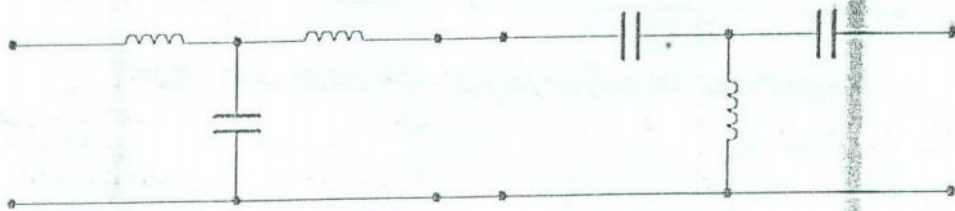
بنابراین در صافیهای T خازنهای متصل به دو انتهای صافی باد دارای ظرفیت  $2C_1$  و خازنهای واقع در بین دو سلف دارای ظرفیت  $C_1$  و تمامی سلفها دارای اندوکتانس  $L_1$  باشند. در صافی  $\pi$  باید سلفهای متصل به دو انتهای صافی دارای اندوکتانس  $2L_1$  و سلفهای واقع در بین دو خازن دارای اندوکتانس  $L_1$  و تمام خازنها دارای ظرفیت  $C_1$  باشند.

### ۳-۵ صافیهای میان گذر و میان نگذر

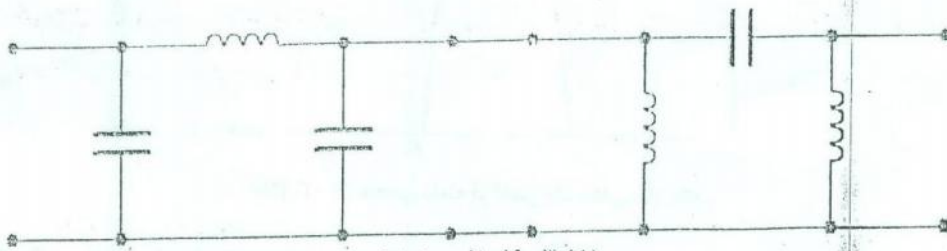
گاهی لازم است که فرکانسهایی  $f_1, f_2$  از یک مدار عبور کنند. این نوع صافی را که صافی میان گذر نامیده می شود می توان از اتصال سری یک صافی پایین گذر با فرکانس قطع  $f_1$  و یک صافی بالاگذر یا فرکانس قطع  $f_2$  بدست آورد. منحنی مشخصه این نوع صافی در شکل ۳-۱۷ رسم شده است. صافیهای میان گذر را می توان از ترکیب صافیهای T (شکل ۳-۱۸) با صافیهای  $\pi$  (شکل ۳-۱۹) ساخت. در عمل از مدارهای نوسانگر به عنوان صافیهای میان گذر استفاده می شود (شکل ۳-۲۰)



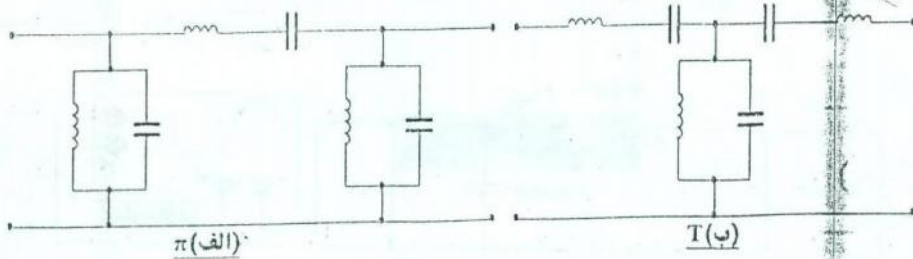
شکل ۱۷-۳ منحنی خروجی دامنه فرکانس یک صافی میان گذر مرکب از صافی های بالاگذر و پایین گذر



شکل ۱۸-۳ صافی میان گذر T



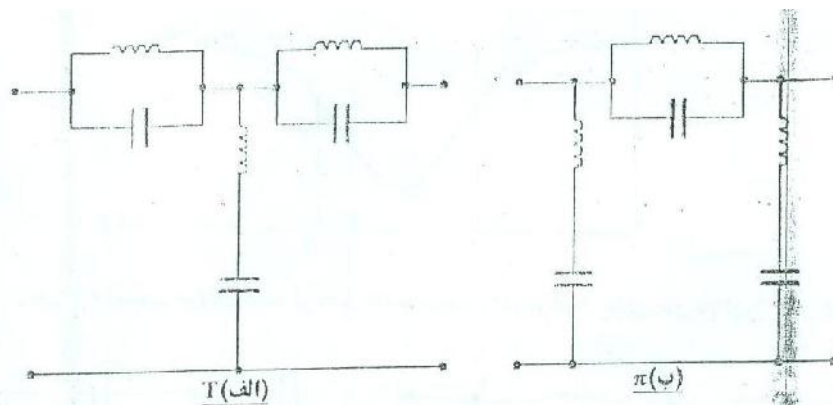
شکل ۱۹-۳ صافی میان گذر  $\pi$



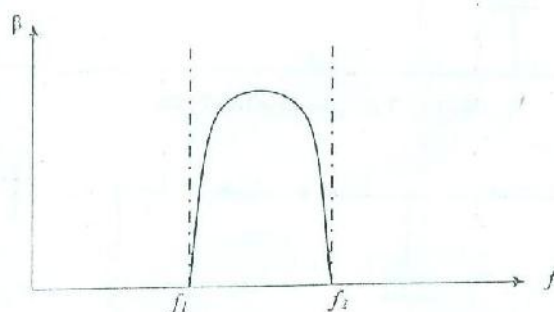
$\pi$  (الف)

T (ب)

اگر بخواهیم فرکانسهای بین  $f_2$  و  $f_1$  از مداری نگذرد باید یک صافی میان گذر بکار ببریم. صافی میان گذر را می توان بسادگی از روی میان گذر ساخت . بدین ترتیب که جای عناصر سری و موازی را با هم عوض می کنیم (شکل ۲۱-۳) منحنی دامنه فرکانس خروجی صافی میان گذر شکل ۲۲-۳ رسم شده است.



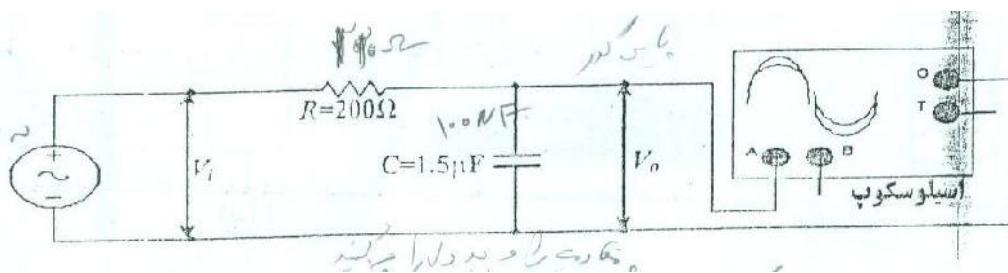
شکل ۲-۳ صافی های میان گذر متشکل از مدارهای نوسانگر (الف) نوع T و (ب) نوع π



شکل ۲-۳ منحنی دامنه فرکانس یک صافی میان گذر

### ۳-۶ اجرای آزمایشها

الف - مدار شکل ۲-۳ را ببندید.

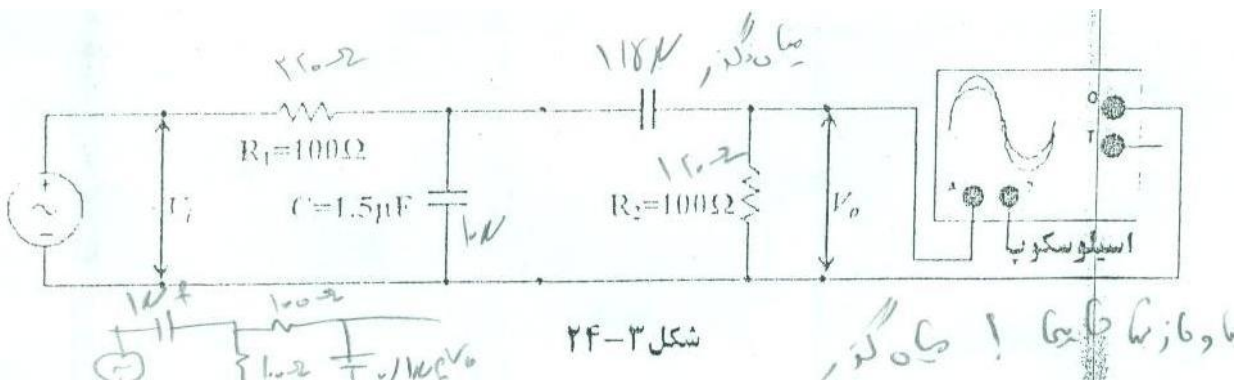


مقادیر ولتاژ دو سر خازن را به ازای فرکانسهای داده شده در جدول زیر از روی اسیلوسکوپ یا ولت‌متر خوانده و جدول را کامل کنید. توجه داشته باشید که دامنه موج خروجی سیگنال ژنراتور (مولد موج سینوسی) باید در طول آزمایش فوق ثابت نگه داشته باشد. سپس جای مقاومت و خازن را عوض کرده و ولتاژ دو سر مقاومت را به ازای همه

فرکانسها خوانده و در جدول قرار دهید. از روی جدول حاصل منحنیهای  $V_C$  و  $V_R$  را بر حسب تغییرات فرکانس در یک کاغذ نیمه لگاریتمی رسم کنید. مشخص کنید که کدام حالت مدار نقش یک صافی بالا گذر و کدام حالت نقش یک صافی پایین گذر را ایفا می کند. صافی بودن مدار RC را در حالتهاى فوق توجیه کنید (نقش خازن و مقاومت را در هر حالت توضیح دهید)

F بر حسب Hz	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۵۰۰	۷۰۰	۱K	۲K	۳K	۵K	۷K	۱۰K
$V_C$ خازن											
$V_R$ مقاومت											

ب- مدار شکل ۲-۲۳ را ببینید.



به ازای مقادیر مختلف فرکانسهای داده شده در جدول زیر مقادیر ولتاژ دو سر مقاومت  $R_2$  را خوانده و در جدول درج کنید.

با استفاده از جدول فوق منحنی نمایش تغییرات  $V_{R2}$  را بر حسب تغییرات  $f$  در یک کاغذ نیمه لگاریتمی رسم کنید. با توجه به منحنی بدست آمده نوع صافی را معین کنید. نقش هر یک از مقاومتها و خازنهای مدار را شرح دهید.

ج - برای مقاومت بار ۱۳ اهمی یک صافی طراحی کنید که از بار مزبور فقط فرکانسهای بین ۱۲، ۶ کیلوهرتز و ۱۲/۲۵ کیلوهرتز بتوانند عبور کند. بعد از محاسبه در صورت امکان مدار مربوط را بسته و مقادیر خواسته شده در جدول زیر را پر کنید. سپس ...

f <sub>khz</sub>	۱	۳	۵	۶	۱۲/۶	۵/۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۲۵/۱۲	۵/۱۲		۱۵
V <sub>i</sub>																
V <sub>o</sub>																
$\beta = \frac{v_i}{v_o}$																

پرسش ۱ - مداری را طرح کنید که به کمک یک مقاومت و یک سیم پیچ ساخته شود و

بتوان آن را به عنوان صافیهای استفاده شده در مرحله اول آزمایش بکار برد.

پرسش ۲- چگونه می توان مداری طراحی شده در قسمت ج آزمایش را به صافی دیگری

تبدیل کرد که فرکانسهای خارج از محدوده ۱۲، ۶، ۲۵ و ۱۲ کیلوهرتز را عبور دهد؟

آزمایش ۴

(مطالعه دیوهای نیمه هادی)

هدف : مطالعه دیوهای نیمه هادی، رسم منحنی مشخصه های آنها در حالت های مستقیم

و معکوس

وسایل لازم : دیوهای ژرمانیوم ، سیلیسیوم و زنر، اسیلوسکوپ ، منبع تغذیه مستقیم و

متناوب ، ولت‌متر ، میکرو آمپر متر ، مقاومت ، رئوستا

۱-۴ مقدمه



دیویدهای نیمه هادی از اتصال دو بلور نوع n و نوع p تشکیل یافته اند. از دیویدها علاوه بر یکسوسازی و آشکارسازی در اغلب مدارهای الکترونیک نیز استفاده می شود. دیویدهای نیمه هادی معمولا از ژرمانیوم یا سیلیسیوم ساخته می شوند. به علت پایین بودن ولتاژ شروع هدایت دیویدهای ژرمانیوم از این دیویدها در جریان های کم استفاده می شود. در جریانهای زیاد دیویدهای سیلیسیوم را بکار می برند.

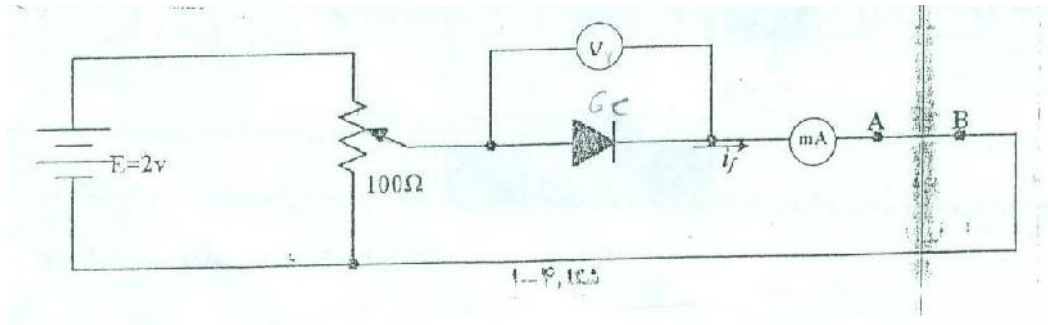
اگر آنود و کاتود دیویدهای بلوری به ترتیب به ولتاژ مثبت و منفی وصل شوند، می گویند دیوید به طور مستقیم تغذیه شده است. و در غیر این صورت تغذیه به طور معکوس خواهد بود. وقتی که دیوید به طور مستقیم تغذیه می شود. نباید جریان زیادی از آن بگذرد زیرا باعث سوختن آن می شود. در حالت تغذیه معکوس نیز ولتاژ اعمال شده نباید از ولتاژ شکست دیوید تجاوز کند. اگر از ولتاژ شکست زیادتر شود جریان زیادی از آن عبور کرده و دیوید خراب می شود. دیویدهای نیمه هادی در حالت تغذیه مستقیم دارای مقاومت کم و در حالت تغذیه معکوس دارای مقاومت زیاد هستند. از این خاصیت برای آزمون دیویدها استفاده می شود.

اجرای آزمایشها

۲-۴ رسم منحنی مشخصه دیوید ژرمانیوم

الف - حالت تغذیه مستقیم

با استفاده از دیوید ژرمانیوم که در اختیار دارید مداری مطابق شکل ۴-۱ ترتیب دهید.



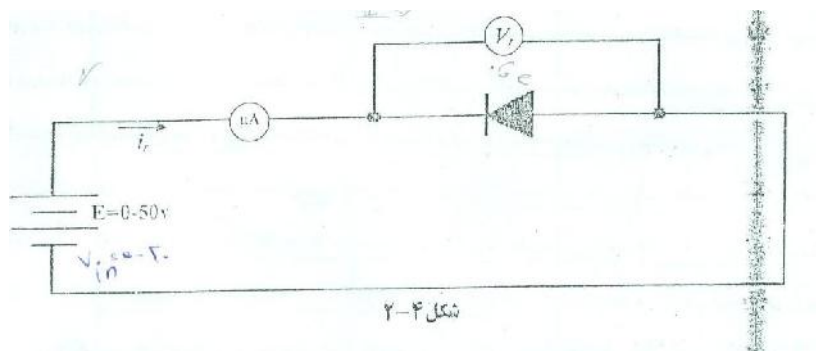
با تغییر دادن  $V_f$  ولتاژ و سرد یود به کمک پتانسیومتر جریان دیود  $I_f$  را تعیین و نتایج را در جدول زیر بنویسید.

ولت	۰	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۹	۱	۱/۱	۱/۲	۱/۳
$V_f$														
میلی آمپر														
$I_f$														

دقت کنید که ولتاژ دیود از ۱/۳ ولت تجاوز نکند.

ب - حالت تغذیه معکوس

مداری مطابق شکل ۲-۴ ترتیب دهید.



با تغییر دادن ولتاژ دو سر دیود جریان دیود را تعیین و نتایج را در جدول زیر بنویسید.

دقت کنید جریان دیود از ۱۵ میکروآمپر تجاوز نکند.

ولت $-v_r$	۰	۰/۲	۰/۴	۰/۶	۰/۸	۱	۲	۴	۶	۸	۱۰
میکروآمپر $-i_r$											
میکروآمپر $-i_r$											

اکنون با استفاده از جدولهای مذکور منحنی مشخصه ولت - آمپر دیود را در حالت‌های تغذیه مستقیم و تغذیه معکوس در یک دستگاه مختصات رسم کنید. با استفاده از منحنیهای رسم شده ولتاژ شروع هدایت دیود (یعنی ولتاژی که به ازای آن جریان دیود سریعاً رو به افزایش می‌گذارد) و جریان اشباعی معکوس را تعیین کنید.

#### ۳-۴ رسم منحنی مشخصه دیود سیلیسیوم

دیود سیلیسیوم را که در اختیار دارید به جای دیود ژرمانیوم در مدارهای شکل ۱-۴ و ۲-۴ قرار دهید نتایج جریان دیود را بر حسب ولتاژ دور سر آن در حالت‌های تغذیه مستقیم و تغذیه معکوس در جدولهای زیر بنویسید.

#### حالت تغذیه مستقیم

ولت	۰	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۹	۱
$v_f$											
میلی آمپر $i_f$											

#### حالت تغذیه معکوس

ولت $-V_f$	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰
میکروآمپر $-i$											
ولت $-V_r$	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰							
میکروآمپر $-i_r$											

اکنون با استفاده از جدولهای بالا منحنی مشخصه ولت - آمپر دیود سیلیسیوم را در حالت‌های تغذیه مستقیم و تغذیه معکوس در یک دستگاه مختصات رسم کنید. با استفاده از منحنیهای رسم شده ولتاژ شروع هدایت و جریان اشباع معکوس را در دیود سیلیسیوم تعیین کنید. ولتاژهای شروع هدایت و جریانهای اشباع معکوس را در دیودهای ژرمانیوم و سیلیسیوم با هم مقایسه کنید.

پرسش و تمرین ۱- با استفاده از نتایج بدست آمده در قسمت‌های ۱ و ۲ اختلاف بین دیودهای ژرمانیوم و سیلیسیوم و موارد استعمال آن را شرح دهید.

۴-۴ رسم منحنی مشخصه دیودزور

دیودزور را که در اختیار دارید در مدارهای شکل‌های ۴-۱ و ۴-۲ قرار دهید. نتایج تغییرات جریان دیود را بر حسب ولتاژ دو سر آن در حالت‌های تغذیه مستقیم و تغذیه معکوس در جدولهای زیر بنویسید.

حالت تغذیه مستقیم

ولت $v_f$	۰	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۸
میلی آمپر $i_f$									

حالت تغذیه معکوس

ولت $-V_r$	۰	۳	۶	۷	۷/۱	۷/۲	۷/۳	۷/۴	۷/۵	۷/۶	۷/۷
میکروآمپر $-i_r$											
ولت $-v_r$	/۸	۷/۹	۸								
میکروآمپر $-i_r$											

اکنون با استفاده از جدولهای بالا منحنی مشخصه ولت - آمپر دیودزnr را در حالت‌های تغذیه مستقیم و تغذیه معکوس در یک دستگاه مختصات رسم کنید. با استفاده از جدول و منحنیهای رسم شده ولتاژ شکست دیودزnr را تعیین کنید.

پرسش و تمرین ۲- با توجه به خاصیت دیودزnr در ناحیه شکست موارد استعمال آن را شرح دهید.

۴-۵ رسم خط بار و منحنی مشخصه دینامیک دیود ژرمانیوم

در مدار شکل ۴-۱ بین دو نقطه A, B مقاومت  $R_L = IK\Omega$  را قرار دهید و به ازای  $E = YV$

خط بار  $L = \frac{E}{R} - \frac{V}{RL}$  را داروی منحنی مشخصه مربوط به دیودژرمانیوم  $i_f = 2 - v_f$

رسم کنید. مختصات نقطه کار و مقاومت دینامیک دیود  $R = \frac{\Delta v_f}{\Delta L}$  را در حوالی این نقطه

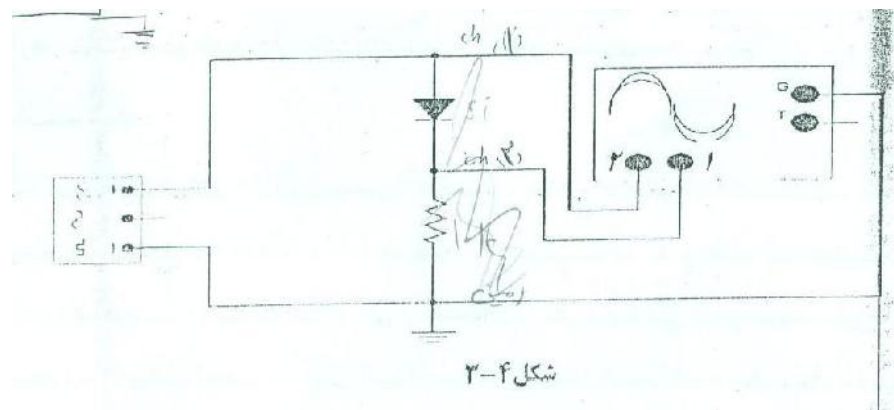
تعیین کنید. با استفاده از خط بار و منحنی مشخصه استاتیک دیودژرمانیوم منحنی

مشخصه دینامیک دیود  $V_f = F(E)$  را رسم کنید.

پرسش و تمرین ۳- به کمک منحنی مشخصه دینامیک چگونه می توان شکل موج جریان دیود را رسم کرد؟ از اینجا نتیجه بگیرید که شکل موج ولتاژ بین دو نقطه A, B چگونه است.

پرسش تمرین ۴- با توجه به وجود ولتاژ شروع هدایت و جریان اشباع معکوس در دیود ها لامپ دو قطبی و دیود نیمه هادی را از نظر یکسوسازی (شکل موج جریان) با هم مقایسه کنید و بگویید که هر یک از این وسایل درجه کاربردهایی مناسب تر هستند.

۴-۶ مشاهده منحنی مشخصه دیود ژرمانیوم در روی صفحه اسیلوسکوپ مدارى مطابق شکل ۳-۴ ترتیب دهید.



نقاط ۱ و ۲ را به ترتیب به ورودیهای ۱ و ۲ اسیلوسکوپ ببندید و شکل مشاهده شده را رسم کنید. این منحنی را با منحنی رسم شده در قسمت الف (تغذیه مستقیم) مقایسه کنید.

پرسش و تمرین ۵- محورهای افقی و قائم این منحنی مربوط به چه کمیت‌هایی است؟

آزمایش ۵

طرح و ساخت منبع تغذیه

هدف : یکسو کردن جریان متناوب بوسیله دیود نیمه هادی ، صاف کردن و بررسی ناهمواری و اندازه گیری ضریب ناهمواری.

وسائل لازم : اسیلوسکوپ ، منبع تغذیه متناوب ، ولت‌متر الکترونیکی،خازن ، مقاومت،

سیمهای رابط ، سیم پیچ

۵-۱ مقدمه

برای تغذیه در مدارهای الکترونیکی که به ولتاژ مستقیم نیاز دارند استفاده از باتری عملاً خالی از اشکال نیست. زیرا علاوه بر اینکه نمی توان به طور مداوم از آن استفاده نمود از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرف نیستند. برای تهیه یک منبع تغذیه ابتدا ولتاژ برق شهر را به وسیله یکسوساز یکطرفه کرده و سپس با استفاده از مدار صافی آن را به ولتاژ مستقیم تبدیل می کنیم. امروزه برای عمل یکسوسازی معمولاً از دیودهای نیمه هادی استفاده می شود. می دانیم که یک دیود ایده آل باید جریان را در حالت تغذیه مستقیم به آسانی عبور دهد و در حالت تغذیه معکوس باید مانع از عبور جریان شود. اما دیودهای معمولی (اقتصادی) در حالت تغذیه مستقیم افت ولتاژ دارند و در حالت تغذیه معکوس نیز جریان محدودی را عبور می دهند. در مدارهای عملی می توان از این معایب با احتساب مقداری خطا چشم پوشی کرد. در شکل ۵-۱ یک مدار یکسوساز و شکل موج خروجی آن را نشان داده ایم. در این مدار یک مبدل ولتاژ ۲۲۰ ولت با فرکانس ۵۰ هرتز را به ولتاژ موردنظر تبدیل می کنند. این ولتاژ به طور سری به یک دیود مقاومت بار اعمال می شود. برای تحلیل این مدار دیود را ایده آل فرض کرده و از مقاومت داخلی مبدل صرف نظر می کنیم. اگر ولتاژ متناوب اعمال شده به صورت  $V = v_m \sin \omega t$  باشد، جریان نیز به صورت سینوسی خواهد بود. یعنی

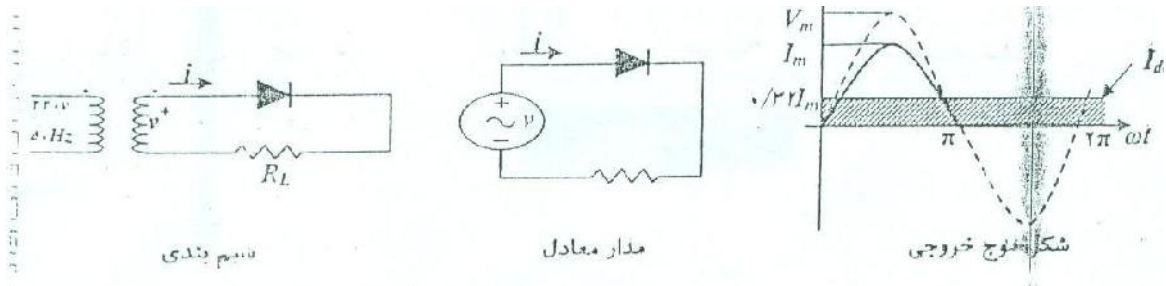
به ازای  $0 \leq \omega t \leq \pi$  داریم

$$v = v_m \sin \omega t$$

$$I = V / R_L = (V_m \sin \omega t) / R_L$$

$$I = 0$$

به ازای  $\pi \leq \omega t \leq 2\pi$



مولفه DC جریان بار بر حسب مقدار متوسط جریان از رابطه زیر بدست می آید .

$$I_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \frac{v_m \sin \omega t}{R_L} d(\omega t) + 0 = \frac{1}{2\pi} \frac{v_m}{R_L} [-\cos \omega t]_0^{\pi}$$

$$\frac{v_m}{\pi R_L} = \frac{I_m}{\pi}$$

واضح است که جریان دو مقاومت بار شامل جریان نصف موج است و مولفه dc تقریباً ۳۲

درصد مقدار ماکزیمم می باشد. برای افزایش مقدار جریان dc موج معمولاً از یک مدر

یکسوکننده استفاده می کنند (شکل ۲-۵) موقعی که ولتاژ مبدل  $v = v_{ad}$  مثبت است با جریان

از مسیر طولانی abcd می گذرد. در نیم سیکل بعدی که ولتاژ اعمال شده معکوس می

شود.  $v_{da} = -v_{ad}$  جریان از مسیر dbca عبور می کند. بنابراین جریانی که از مقاومت بار

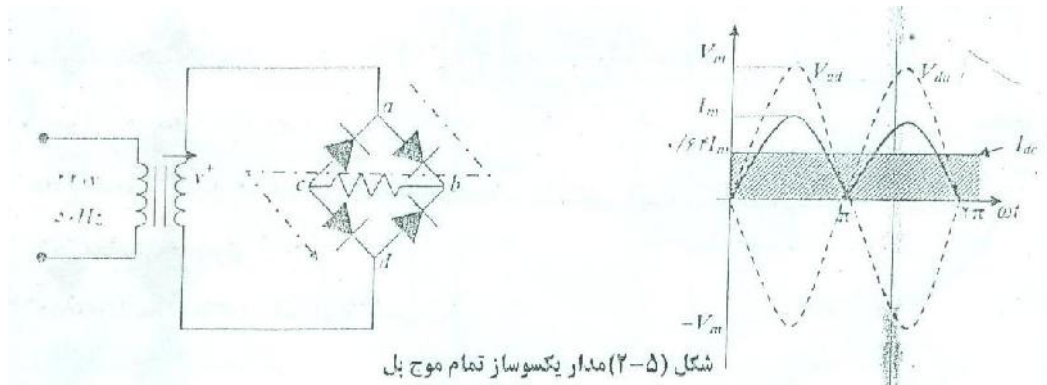
می گذارد همیشه در یک جهت است و مولفه dc دو برابر حالت یکسوسازی نصف موج

است . یعنی



$$I_{dc} = \frac{2 v_m}{\pi R_L} = \frac{I_m}{2\pi}$$

این مدار را مدار یکسوسازی تمام موج می نامند.



با توجه به عیوب مدار پل یکسوساز یعنی استفاده از تعداد دیود بیشتر و افت ولتاژ بیشتر در دو دیود (که مقاومت بار به طور سری قرار دارد) می توان از مدار یکسوساز شکل (۳-۵) استفاده نمود. در این مدار یک مبدل با سر وسط و دو دیود بکار می رود ولی بازده مدار بیشتر است. چون بین ولتاژهای سیم پیچهای اول و دوم ثانویه مبدل (یعنی  $v_2, v_1$ )  $180^\circ$  درجه اختلاف فاز وجود دارد. لذا سیم پیچ دوم مبدل در ثانویه سیم پیچ معکوس کننده فاز نامیده می شود. وقتی که  $v_1$  مثبت است جریان  $I_1$  از دیود ۱ می گذرد و وقتی که  $v_1$  منفی است هیچ جریانی از دیود نمی گذرد. اما چون در این حالت  $v_2$  مثبت است لذا جریان  $I_2$  از دیود ۲ می گذرد. در نتیجه جریانی که از مقاومت بار می گذرد  $I_1 + I_2$  بوده و

$$I_{dc} = 2I_m / \pi \text{ است.}$$

۲-۵ ضریب ناهمواری

با توجه به اینکه یکسوسازی به طور کامل صورت می گیرد. در نتیجه جریان خروجی علاوه بر مولفه dc شامل مولفه ac نیز هست. برای تعیین خوب بودن عمل یکسوسازی

ضریبی به نام ضریب ناهمواری تعریف می شود که عبارت است از نسبت مقدار موثر مولفه های متناوب موج خروجی به مقدار متوسط مولفه های مستقیم خروجی است. یعنی

$$r = \frac{I_{ac}}{I_{dc}} = \frac{V_{ac}}{V_{dc}} = ac \quad \text{مقدار مولفه dc / مقدار موثر مولفه}$$

چون اتلاف توان در مقاومت بار به مقدار موثر جریان مربوط است و توان کل با مجموع اتلاف توان توسط مولفه های مستقیم و متناوب برابر می شود. داریم

$$I_m^2 R_L = I_{dc}^2 R_L + I_{ac}^2 R_L \rightarrow I_{ac}^2 = I_{rms}^2 - I_{dc}^2$$

و از آنجا

$$r = \frac{\sqrt{I_{rms}^2 - I_{dc}^2}}{I_{dc}} = \sqrt{\left(\frac{I_{rms}}{I_{dc}}\right)^2 - 1}$$

واضح است هرچه ضریب ناهمواری کم باشد مدار یکسوکننده جریان متناوب را بهتر به جریان مستقیم تبدیل کرده است.

۳-۵ محاسبه جریان موثر

جریان موثر ( $I_{rms}$ ) به کمک رابطه زیر تعریف می شود.

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i^2 d(\omega t)}$$

در جریان یکسو شده نیم موج بر حسب دامنه ماکزیمم  $I_m$  جریان موثر برابر است با :

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_m^2 \sin^2 \omega t d(\omega t)} + \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i^2 d(\omega t) = \frac{I_m}{2}$$

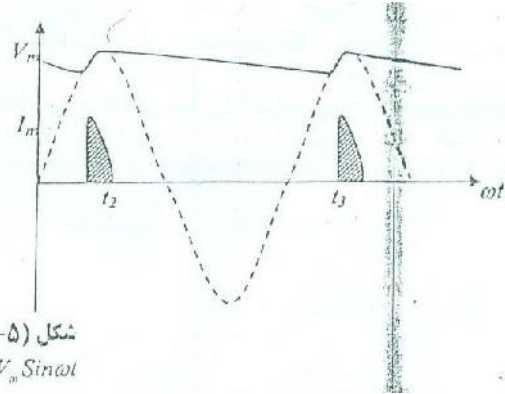
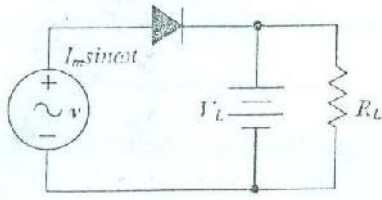
برای جریان تمام موج بعد از محاسبه داریم .

$$I_{ms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \text{ تمام موج}$$

با جاگذاری نتایج فوق در رابطه ضریب ناهموازی در رابطه ضریب ناهموازی برای حالت‌های نیم موج و تمام موج را حساب کرد و ثابت نمود که یکسوسازی تمام موج بهتر از نیم موج است.

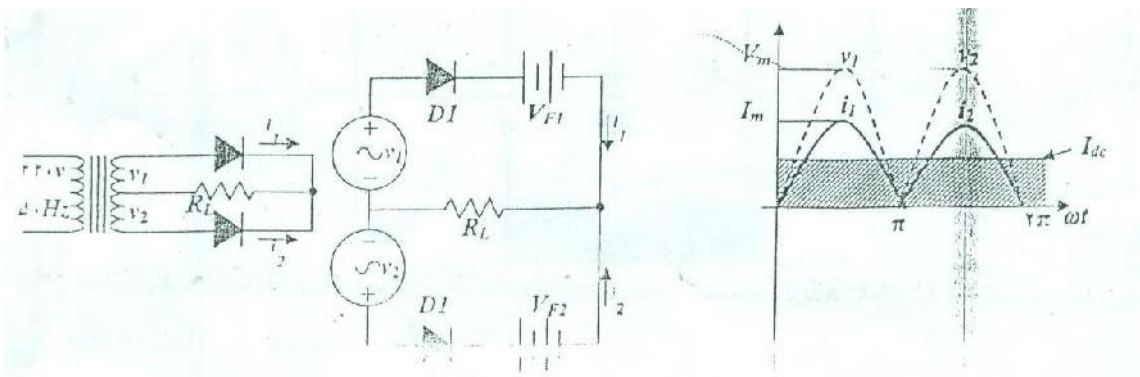
۴-۵ صاف کردن موج یکسو شده

اگرچه با استفاده از یکسوسازهای تمام موج می‌توان ضریب ناهموازی را از ۱/۲۱ درصد تا ۰/۴۸ درصد کاهش داد. با این همه برای خیلی از مقصودهای الکترونیکی نمی‌توان نتیجه رضایت بخشی از این جریان یکسوشده گرفت. برای رفع این اشکال می‌توان از یک صافی استفاده کرد. ساده‌ترین صافی یک خازن موازی با مقاومت بار است که مانند سدی با امیدانس کم برای مولفه ac عمل می‌کند. این خازن مانند مخزن است که بار الکتریکی را در نیم سیکلی که دیود رسانا است ذخیره می‌کند و در نیم سیکل بعدی که دیود هدایت نمی‌کند این بار را تخلیه می‌کند. در توجیه این مساله می‌توان گفت که مطابق شکل ۴-۵ اگر مقاومت دیود کم بوده و به حالت تعادل رسیده باشد در لحظه  $t=0$  ولتاژ منبع  $V$  صفر است ولی ولتاژ مقاومت بار  $V_L = V_C$  می‌باشد. علت امر آن است که بار خازن که قبلاً پر شده است. در مقاومت بار تخلیه می‌شود. در لحظه  $t = t_i$  ولتاژ  $V_C$  کمی بیشتر از  $V_L$  میشود و دیود هدایت می‌کنند. در این صورت جریان دیود افزایش می‌یابد تا به مقدار  $i_o = c(dc/dt)$  برسد و سپس تا صفر کاهش می‌یابد. موقعی که کمتر از  $V_L$  باشد جریان دیود قطع می‌شود. در فاصله زمانی پر شدن خازن یعنی در مدت زمان  $t_1 < t < t_2$  داریم.

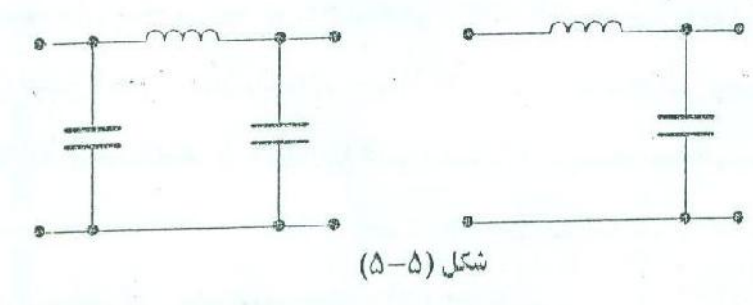


شکل (۴-۵) الف  
 $V_2 = V_m \sin \omega t$

در مدت زمان تخلیه خازن  $t_r < t < t_r$  داریم.



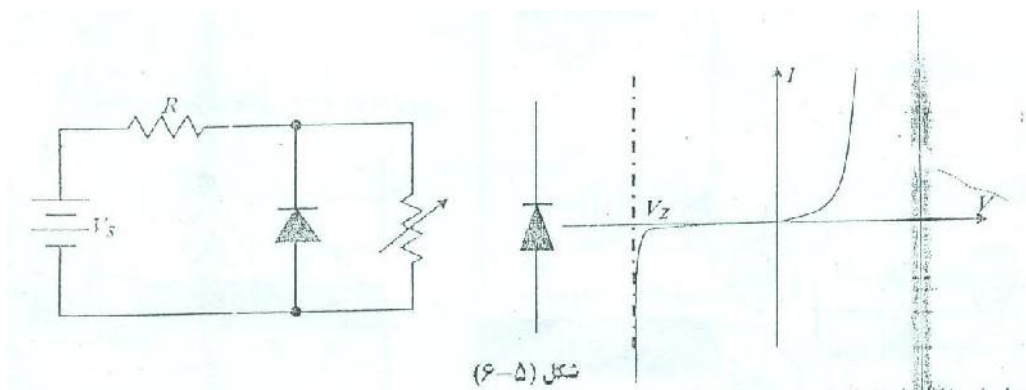
در لحظه  $t = t_3$  ولتاژ منبع بیشتر از ولتاژ بار شده و عمل هدایت دیود تکرار می شود. واضح است که جریان بار  $i_r$  با ولتاژ بار متناسب است و  $i_r$  صفر نمی شود. موقعی که از یک خازن به عنوان صافی استفاده می کنیم مقدار متوسط یا مولفه DC در مقایسه با حالت بدون خازن بیشتر و مولفه AC کمتر می شود به عبارت دیگر ضریب ناهمواری به مقدار زیادی کاهش می یابد برای کاهش بیشتر ضریب ناهمواری می توان از صافیهای مختلف  $\pi, T, L$  استفاده نمود. دو نمونه از این صافیها را در شکل زیر نشان داده ایم.



۵-۵ تنظیم کننده ولتاژ

برای تنظیم ولتاژ خروجی یک منبع تغذیه و بستگی نداشتن آن به تغییرات ورودی از مدارهای تنظیم ولتاژ استفاده می شود. در این مدارها، معمولاً از لامپهای دوقطبی گاز دار و دیودهای زنومبدلهای اشباعی استفاده می شود. می دانیم که جریان دیود زهر در تغذیه معکوس و به ازاء ولتاژ شکست بسیار زیاد شده و ولتاژ مستقل از جریان می شود و ثابت می ماند بنابراین از دیود زهر می توان به عنوان یک تنظیم کننده ولتاژ استفاده کرد. در اینجا باید توجه داشت که باید کاتود دیود نسبت به آنود آن مثبت باشد. (شکل ۵-۶)

۶-۵ اجرای آزمایش ها



مدارهای شکل ۵-۷ را به ترتیب بسته و با قرار دادن صافیهای بالای جدول صفحه بعد در نقاط A, B مقادیر خواسته شده در جدول را اندازه گیری کنید و در جدول وارد کنید.

الف: مدار یک سو گتنده نیم موج

ب: مدار یک سو گتنده تمام موج

ج: مدار یک سو گتنده تمام موج پل

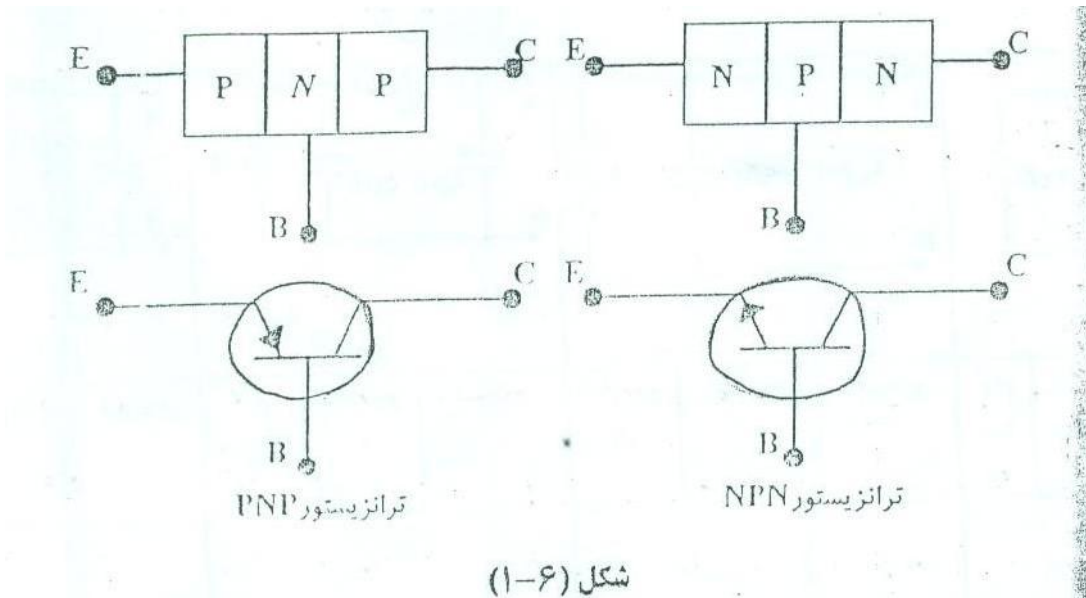
شکل (۵-۷)

مدار صاف	شکل موج خروجی			$V_{dc}$	$V_{ac}$	$r = \frac{V_{ac}}{V_{dc}}$
	تمام موج پل	تمام موج	نیم موج			
	تمام موج پل	تمام موج	نیم موج			
	تمام موج پل	تمام موج	نیم موج			
	تمام موج پل	تمام موج	نیم موج			
	تمام موج پل	تمام موج	نیم موج			

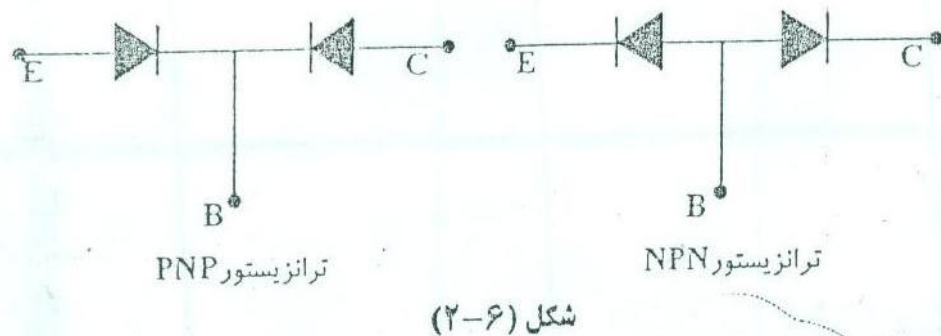
آزمایش ۶

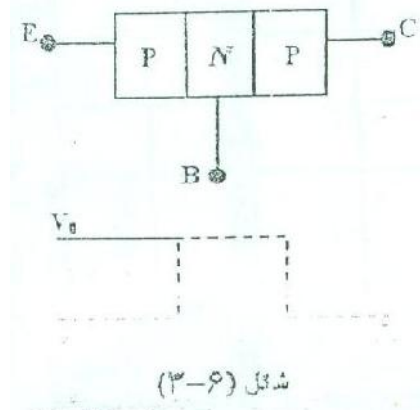
ترانزیستور

از قرار گرفتن یک لایه نیمه هادی نوع N در میان قطعه نیمه هادی نوع P (و یا از قرار گرفتن یک لایه نیمه هادی نوع P در میان دو قطعه نیمه هادی نوع N) یک سه قطبی به نام ترانزیستور بوجود می آید.

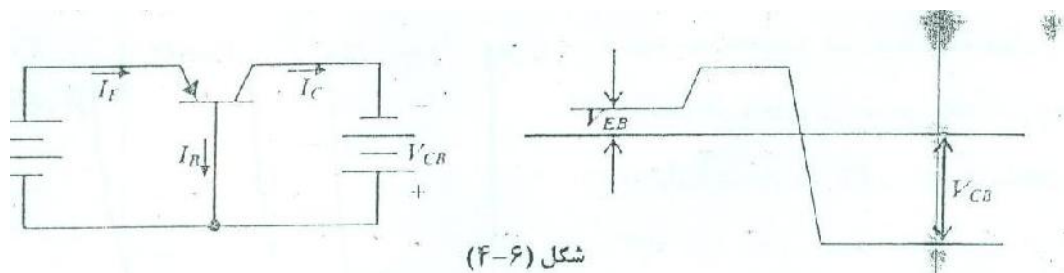


قطبهای ترانزیستور را امیتر (گسیلنده) بیس (پایه) و کلکتور (گردآور) نامگذاری کرده اند. که معمولاً کلکتور با نقطه ای در مدار خارجی ترانزیستور مشخص می نمایند. جهت بردار مشخص کننده جهت واقعی جریان دیود EB می باشد. با یادآوری اینکه پیوند دو قطعه نیمه هادی نوع P, N دیود بوجود می آید. درک این مطلب که هر ترانزیستور قابل تصور بصورت دو دیود نیمه هادی است آسان خواهد شد.





آزمایشهای ما نشان خواهد داد که گرچه دیود به تنهایی عنصری پسیو می باشد ولی این ترکیب دارای خاصیت تقویت کنندگی و ولتاژ و جبران بوده و در ردیف عناصر اکتیو(فعال) قرار خواهد گرفت. این مطلب ثابت می کند که شکل‌های فوق به تنهایی نمی توند بعنوان مدار فعال ترانزیستور پذیرفته شود. در مدارهای ترانزیستور معمولاً دیود EB بصورت تغذیه مستقیم (Forward bias) دیود cb بصورت تغذیه ... معکوس (reverse bias) قرار می گیرد. با یادآوری سد انرژی پتانسیل در یک پیوند P-N برای یک ترانزیستور P-N-P در حالت مدار باز سد پتانسیل به شکل (۳-۶) خواهد بود. با تغذیه ترانزیستور بصورتی که معمول است این سد پتانسیل بشکل زیر در خواهد آمد.



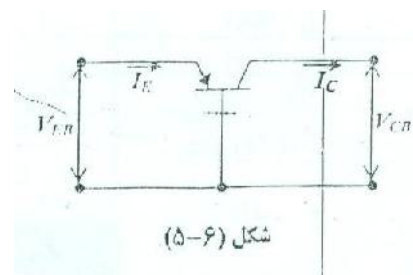
کوتاه شدن سد پتانسیل در پیوند E-B باعث می شود که حفره ها به آسانی از امیتر به بیس وارد شوند و چون قسمت عمده جریان امیتر از حرکت حفره بوجود می آید جریان امیتر



افزایش می یابد بیشتر این حفره ها پس از عبور از عرض بیس توسط کلکتور گردآوری می شوند. در ترانزیستور نوع N-P-N که تغذیه آن برخلاف نوع PNP است. این جریان از حرکت الکترونها بوجود می آید. بنابراین رابطه بین جریانهای ترانزیستور با توجه به جهت آنها بصورت  $I_E = I_B + I_C$  می باشد. جریان بیس ناچیز و در مقیاس میکروآمپر است. در نتیجه مقدار جریان کلکتور تقریباً مساوی مقدار جریان امیتر با علامت منفی می باشد. چون مقاومت دیود FB در حالت تغذیه مستقیم کم است. جریان بیس نسبت به تغییرات ولتاژ تغذیه  $V_{ER}$  حساس می باشد. بنابراین تغییر کوچکی در  $V_{ER}$  باعث تغییر  $I_B$  و تغییرات بیشتری در  $I_C$  خواهد شد. به همین علت است که ترانزیستور می تواند تغییرات اندک در ولتاژ ورودی را در جریان خروجی تقویت نماید.

مشخصه های ترنزیستور

دریک ترانزیستور PNP با توجه به رابط بین ولتاژها و جریانها می تواند مدار را با استفاده از که ولتاژها و جریانهای ورودی و خروجی می باشد تعریف کرد.

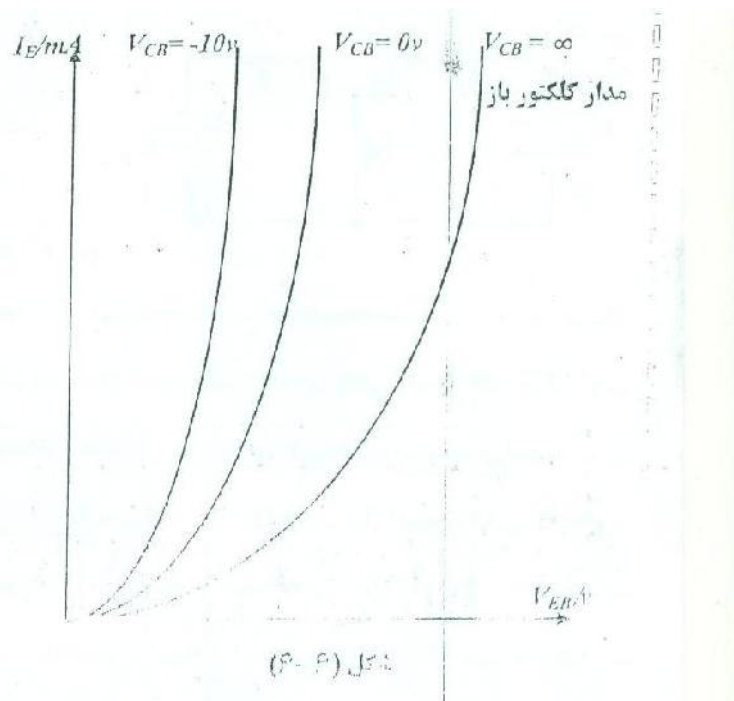


این کمیت مستقل از هم نبوده و با گرد در شکل فوق ولتاژ ورودی و جریان خروجی را تابع جریان ورودی و ولتاژ خروجی در نظر بگیریم.

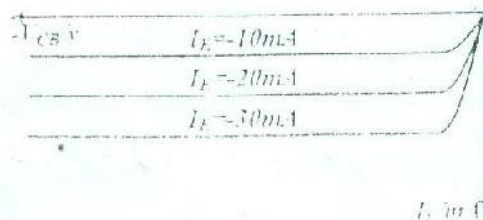
$$\begin{cases} V_{EB} = f_1(I_E, V_{CB}) \\ I_C = f_2(I_E, V_{CB}) \end{cases}$$

این معادله ها روی محورهای مختصات در فضای سه بعدی نمایشگر سطوحی هستند و برای آنکه امکان ترسیم آنها روی صفحه دو بعدی میسر باشد. محل تلاقی این سطوح را با صفحات مسطح ترسیم مقادیر ثابت  $V_{CB}$  و محل تلاقی  $I_C = f_2(I_E, V_{CB})$  با صفحات موازی محور  $I_E = Cte$  تغییرات  $I_C$  بر حسب  $V_{CB}$  را به ازای مقادیر  $I_E$  بدست می دهد. با توجه به توضیحات فوق به ازای یک مقدار ثابت  $V_{CB}$  مشخصه ترانزیستور همان دیود FB در حالت تغذیه مستقیم می باشد (ولتاژ امیتر بیس بر حسب جریان ایتر رسم می گردد)

این دسته مشخصه ها را مشخصه های ورودی ترانزیستور می نامند. همچنین به ازای یک مقدار ثابت  $I_F$  مشخصه ترانزیستور همان دیود EB در حالت تغذیه معکوس می باشد (ولتاژ بر حسب جریان کلکتور رسم می گردد)



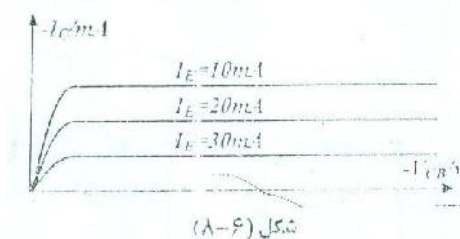
این دسته مشخصه ها را مشخصه های ورودی ترانزیستور می نامند. همچنین به ازای یک مقدار ثابت  $I_C$  مشخصه ترانزیستور همان دیود EB در حالت تغذیه معکوس می باشد (ولتاژ بر حسب جریان کلکتوریسم می گردد).



شکل (۶-۱۷)

این مشخصه ها که به منظور یادآوری مشخصه تغذیه معکوس دیود با شکل فوق نمایش داده شده در کتابهای مرجع ...

در این مشخصه ها ناحیه شکست دیود کلکتوریسم نشان داده نشده است. این مشخصه به مشخصه های خروجی ترانزیستور موسومند.



شکل (۶-۱۸)

ناحیه قطع و ناحیه اشباع

تاکنون ما فقط شرایط عادی کار یک ترانزیستور را بررسی کرده ایم. در این شرایط

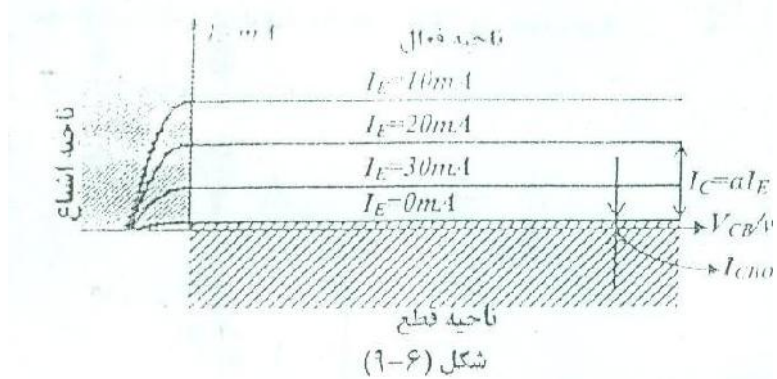
$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO} \text{ می شود.}$$

$I_{CBO}$  جریان معکوس دیود کلکتور بیس و  $\alpha$  ضریبی نزدیک به یک است. اگر رفته رفته ولتاژ تغذیه دیود FB را کاهش دهیم و تغذیه دیود CB بهمان صورت حفظ شود در لحظه ای که  $I_E = 0$  جریان کلکتور .....  
 $I_E = 0$

کاستن ولتاژ  $V_{EB}$  ادامه دهیم بطوری که دیود امیتر بیس نیز تغذیه معکوس شود ترانزیستور از کار می افتد و به ناحیه قطع وارد می شود. لذا  $I_E = 0$  را در ناحیه قطع ترانزیستور می نامند. حال اگر تغذیه دیود امیتر بیس را به حال اول برگردانیم و شرایط خروجی را تغییر دهیم. در حالتی که  $V_{CB} = 0$  میشود  $I_{CBO}$  نیز برابر صفر خواهد بود و جریان کلکتور  $I_C = \alpha I_E$  بوده و صفر نخواهد شد. اکنون اگر دیود کلکتور بیس را به طور مستقیم تغذیه کنیم ( دیود EB در تغذیه مستقیم است) یک جریان در جهت مخالف  $I_E$  در ترانزیستور جاری می گردد و باعث کاستن شدن جریان خروجی  $I_C$  می گردد تا آنجا که جریان خروجی به صفر می انجامد. لذا  $V_{CR}$  را در حد اشباع ناحیه Saturation ترانزیستور می نامند. حد منطقه اشباع از بهم پیوستن نقاط شروع خمیدگی منحنی ها نیز بدست می آید.

این نقاط مشخصه .....

وقایعی که در داخل ترانزیستور اتفاق می افتد برای آرایش های مختلف یکسان است و ربطی به اینکه کدام دو سر بعنوان ورودی و یا خروجی انتخاب گردد ندارد. بنابراین توضیحات فوق برای همه انواع اتصال ترانزیستور بقوت خود باقی است.



### پارامترهای $\alpha, \beta$

برای تعریف نسبت تغییرات جریان کلکتور به تغییرات جریان امیتر را به ازای یک مقدار

ثابت  $V_{CE}$  با  $\alpha$  نمایش می دهند.

$$\alpha = \left. \frac{I_C}{I_E} \right|_{V_{CE}=cte} = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} \right|_{V_{CE}=cte}$$

$i_B, i_E, i_C$  مقادیر زمانی (تابع زمان) و  $I_B, I_E, I_C$  مقادیر ثابت آنها در یک نقطه مشخص می

باشند. این ضریب در حدود ۹۸ است. همچنین نسبت تغییرات جریان کلکتور به تغییرات

جریان بیس را به ازای یک مقدار ثابت  $V_{CE}$  با  $\beta$  نمایش می دهند.

$$\beta = \left. \frac{I_C}{I_B} \right|_{V_{CE}=cte} = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_{V_{CE}=cte}$$

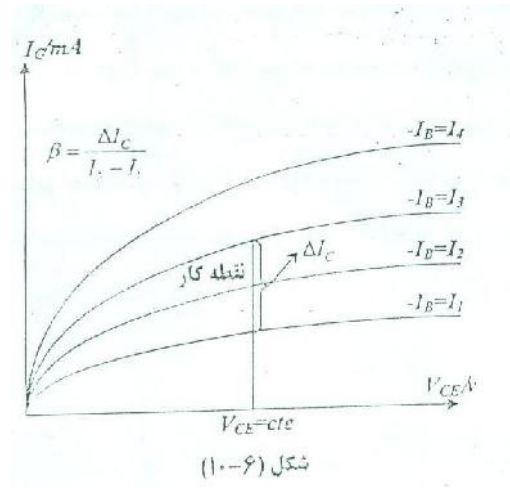
برای پیدا کردن  $\beta$  پس از رسم مشخصه های خروجی  $(I_C, V_{CE})$  و تعیین نقطه

کارترانزیستور تغییرات  $I_C$  حول آن نقطه را به تغییرات  $I_B$  تقسیم می کنیم.

پس از محاسبه  $\beta$  مقدار  $\alpha$  را از طریق زیر محاسبه می کنیم.

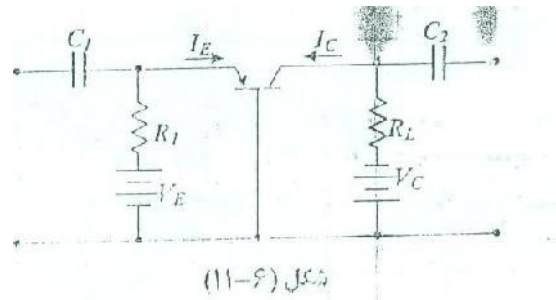
$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{\alpha \Delta I_E}{\Delta I_E - \alpha \Delta I_E} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

باید توجه داشت که با کوچکترین اشتباهی در محاسبه مقدار  $\beta$  بطور غیر قابل قبولی تغییر می کند. لذا مقادیر درست  $\alpha, \beta$  از طرف کارخانه سازنده در برگ مشخصات نوشته میشود.



نقطه کار و خط بار

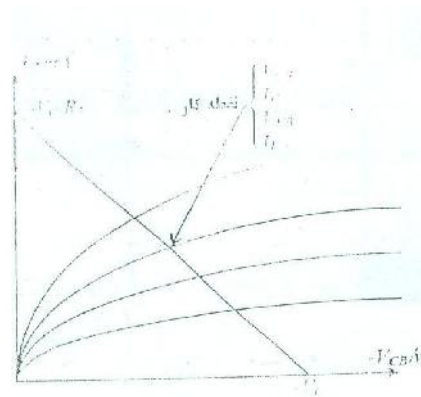
همانگونه که در مورد دیودها گفته شد ترانزیستور نیز دارای یک نقطه کار است که در آن نقطه چهار کمیت  $V_{EB}, V_{CB}, I_E, I_C$  مقادیر ثابتی هستند.



اگر در مدار فوق معادله حلقه خروجی را بنویسیم

$$V_{CS} + V_C + R_L i_c = 0$$

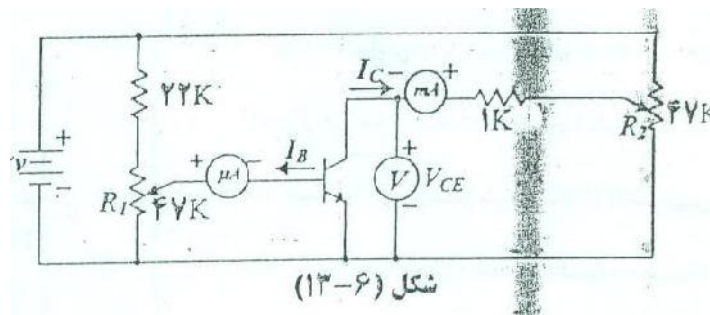
در این معادله دو متغیر  $V_{CB}, I_C$  وجود دارد و رابطه جدیدی بین آن دو را مطرح می کند. منحنی تغییرات  $I_C$  بر حسب  $V_{CB}$  یک خط مستقیم است که محور افقی را در  $V_{CR} = -V_C$  محور عمودی را در  $I_C = -V_C / R_t$  قطع می کند. این خط را خط با load line محل تلاقی را با مشخصه هایی که مربوط به جریان ....



برای اثبات نقطه کار و ممانعت از ورود و خروج جریان dc دو خازن کوپلینگ  $C_2, C_1$  در دو سر مدار اضافه می گردد. ظرفیت این دو خازن طوری انتخاب می شود که در باند فرکانسی که ترانزیستور کار می کند اتصال کوتاه باشند.

### آزمایش ۱

رسم منحنی های مشخصه خروجی  $(V_{CE} - I_C)$  ترانزیستور AC۱۲۸NPN از طریق نقطه یابی مداری مطابق شکل متصل کنید.



در این مدار اتصال سری مقاومت ۲۲ کیلو و پتانسیومتر  $R_2$  یک مقسم ولتاژ بوجود می آورد که با تغییر پتانسیومتر می توان  $V_{BE}$  و در نتیجه  $I_B$  را تغییر داد. از طرف دیگر سر متغییر پتانسیومتر  $R_1$  نیز یک مقسم ولتاژ دیگر می سازد که با تغییر آن می توان  $V_{CE}$  را تغییر داد. با تغییر پتانسیومتر  $R_2$  جریان  $I_E$  را مطابق جدول زیر روی اعداد داده شده تثبیت و سپس با تغییر پتانسیومتر  $R_1$   $V_{CE}$  را روی اعداد داده شده تنظیم کنید و هر بار  $I_C$  را اندازه گرفته و در جدول زیر یادداشت نمایید. توجه داشته باشید که با تغییر  $V_{CE}$  جریان بیس را تنظیم خارج شده و لازم است مجدداً آن را روی عدد مزبور تثبیت نمایید.

$I_B = 0$		$I_B = 10\mu A$		$I_B = 20\mu A$		$I_B = 30\mu A$		$I_B = 40\mu A$	
$V_{CE}$	$I_C$	$V_{CE}$	$I_C$	$V_{CE}$	$I_C$	$V_{CE}$	$I_C$	$V_{CE}$	$I_C$
۶									
۵									
۴									
۳									
۲									
۱									
۰/۵									
۰/۲۵									
۰									

۱- روی کاغذ میلیمتری منحنیهای  $(V_{CE} - I_C)$  را بر حسب مقادیر مختلف  $I_B = Cte$

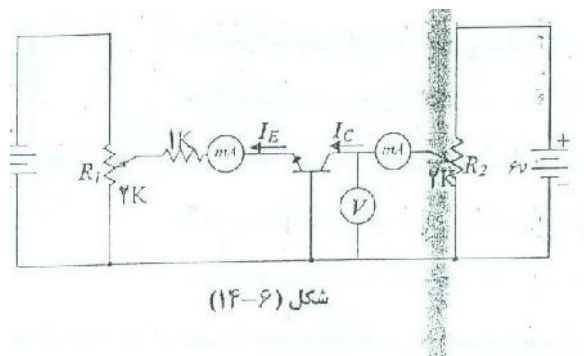
رسم نمایید. ( $I_B$  بر حسب .....)



## آزمایش ۲

رسم منحنیهای مشخصه خروجی ( $V_{CB} - I_C$ ) ترانزیستور NPN AC۱۲۸ از طریق نقطه یابی

مدار این آزمایش مطابق شکل زیر است.



مشابه آزمایش ۱ با تغییر پتانسیومتر  $R_1$  جریان آمپتر را روی اعداد داده شده در جدول

زیر تثبیت کنید سپس با تغییر پتانسیومتر  $R_2$  ولتاژ کلکتور بیس را روی اعداد داده شده

تنظیم نموده و جریان کلکتور را در مقابل آن یادداشت کنید.

$I_E = 0$		$I_E = 1mA$		$I_E = 2mA$		$I_E = 4mA$		$I_E = 60mA$	
$V_{CB}$	$I_C$	$V_{CB}$	$I_C$	$V_{CB}$	$I_C$	$V_{CB}$	$I_C$	$V_{CB}$	$I_C$
۰									
۰									
۴									
۳									
۲									
۱									
۰/۵									
۰/۲۵									
۰									

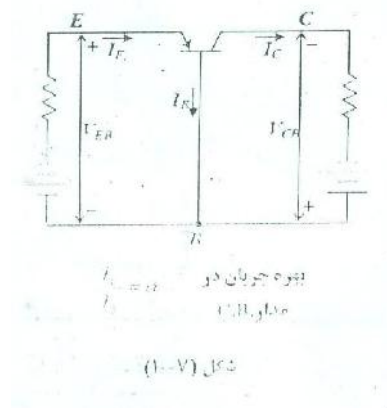
۱- روی کاغذ میلیمتری منحنیهای مشخصه  $(V_{CB} - I_C)$  را بر حسب مقادیر مختلف  $I_E = Cte$  رسم نمایید. ۲- با استفاده از نمودار رسم شده  $\alpha$  را برای نقطه کار  $(V_{CE} = 5(V)), I_C = 1(mA)$  بدست آورید و با استفاده از رابطه  $\beta = \alpha / (1 - \alpha)$  بدقت محاسبه خود را آزمایش کنید. ۳- ناحیه قطع و ناحیه اشباع ترانزیستور را روی صفحه ترسیم کنید. ۴- خط بار را برای مقاومت بار  $R_L = 1\pi$  رسم کنید. ۵- اکنون با استفاده از مشخصه های ترانزیستور را روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده و با توجه به مقیاس محورهای افقی و عمودی روی کاغذ میلیمتری ترسیم کنید. پرسش و تمرین : ۱- با توجه به تصور ترانزیستور به عنوان دو دیود متصل به هم چگونه با استفاده از اهم متر می توان الف - الکترودهای ترانزیستور را تشخیص داد. ب - نوع ترانزیستور را تشخیص داد. ج - از سلامت ترانزیستور اطمینان پیدا کرد.

## آزمایش ۷

تقویت کننده های ترانزیستوری یک طبقه

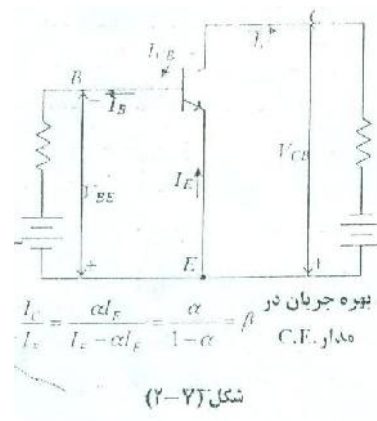
از آنجا که ترانزیستور یک عنصر سر است بسته به اینکه کدام دو سر به عنوان ورودی و کدام دو سر بعنوان خروجی انتخاب گردد سه حالت قابل پیش بینی است.

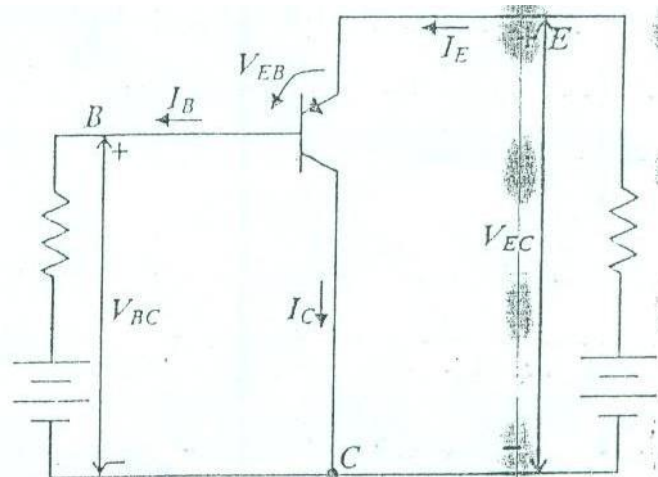
الف - ورودی به بیس و امیتر اعمال و خروجی از بیس و کلکتور گرفته می شود. یعنی بیس بین ورودی و خروجی مشترک است. این مدار را بیس مشترک (Common base) می نامند.



ب - ورودی به ایمر و بیس اعمال و خروجی از امیتر و کلکتور گرفته می شود. یعنی امیتر بین ورودی و خروجی مشترک است. این مدار امیتر مشترک (common emitter) می گویند.

ج - ورودی به کلکتور و بیس اعمال و خروجی از امیتر و کلکتور گرفته می شود، یعنی کلکتور بیس ورودی و خروجی مشترک است. این مدار کلکتور مشترک (common collector) می نامند.





$$\frac{I_E}{I_B} = \frac{I_E}{I_E - \alpha I_E} = \frac{1}{1 - \alpha} = 1 + \beta$$

بهره جریان در مدار C.C

شکل (۷-۳)

مدارهای فوق که برای ترانزیستور PNP ترسیم شده است با تغییر پلاریته باتریها و جهت جریانها ولتاژها برای ترانزیستور NPN قابل ترسیم است. با یادآوری اینکه مقدار  $\alpha$  نزدیک به یک است در می یابیم که بهره جریان در مدار CB کمی کمتر از یک و در مدار C.E , C.C زیاد می باشد. مدار CC و چون  $V_{bf}$  در مقایسه با  $I_L B_L$  اندک است  $G_V$  عددی نزدیک به یک خواهد شد و بنابراین مدار C,B به جهت بهره پایین و C,C به جهت بهره ولتاژ

.....

$$Z_m - \frac{V_m}{L_m} - \frac{V_{BF} + I_E R_E}{I_B} = \frac{V_{BE}}{I_P} + (1 + \beta) R_E$$

همان امپدانس ورودی C.E است و چون  $\beta$  عدد بزرگی است بنابراین امپدانس ورودی  $\frac{V_{BE}}{I_B}$

عدد بزرگی خواهد بود که به مقاومت بار  $R_E$  بستگی دارد. بنابراین در مواردی که به یک

تقویت کننده با امپدانس ورودی زیاد نیاز داریم از C,C استفاده می کنیم. برای هر تقویت کننده سه نوع بهره تعریف می گردد.

بهره شدت جریان      شدت جریان ورودی/شدت جریان خروجی  $G_I =$

بهره ولتاژ      ولتاژ ورودی/ولتاژ خروجی  $G_V =$

بهره قدرت      قدرت ورودی / قدرت خروجی  $G_F = G_I \times G_V =$

مطالب فوق در جدول زیر خلاصه شده است.

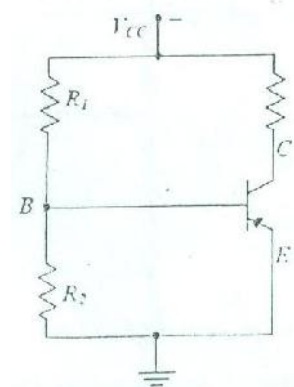
نوع تقویت کننده	بهره ولتاژ	بهره جریان	مقاومت ورودی	مقاومت خروجی	اختلاف فاز ورودی یا خروجی
C.B	زیاد	کمتر از یک	بسیار کم	بسیار زیاد	صفر درجه
C.E.	زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	۱۸۰ درجه
C.C.	کمتر از یک	زیاد	زیاد	کم	صفر درجه

رابطه پارامترهای تقویت کننده با پارامترهای  $h$  ترانزیستور و مقاومت بار بصورت زیر است.

$$G_I = \frac{-h_f}{1 + h_o R_L}$$

$$G_V = \frac{-h_f R_L}{\Delta h R_L + h_i} \quad \Delta h = h_o h_1 - h_f h_2$$

$$Z_m = \frac{G_I \times R_L}{G_V}$$



شکل (۷-۵)

اکنون به بررسی دقیق تر تقویت کننده امیتر مشترک می پردازیم. برای آن که بتوان از یک ترانزیستور تقویت کننده جریان یا ولتاژ با قدرت استفاده کرد. لازم است بر حسب مشخصات و نوع ترانزیستور ولتاژهای DC لازم را برای امیتر بیس و کلکتور آن با توجه به نقطه کار مورد نظر تامین نمود. این کار را اصطلاحاً تغذیه ترانزیستور می گویند. مهمترین نقش را در طراحی یک تقویت کننده دارا می باشد. در مدارهای پیش برای بایاس ترانزیستور در هر حالت از دو منع ولتاژ DC استفاده شده ....

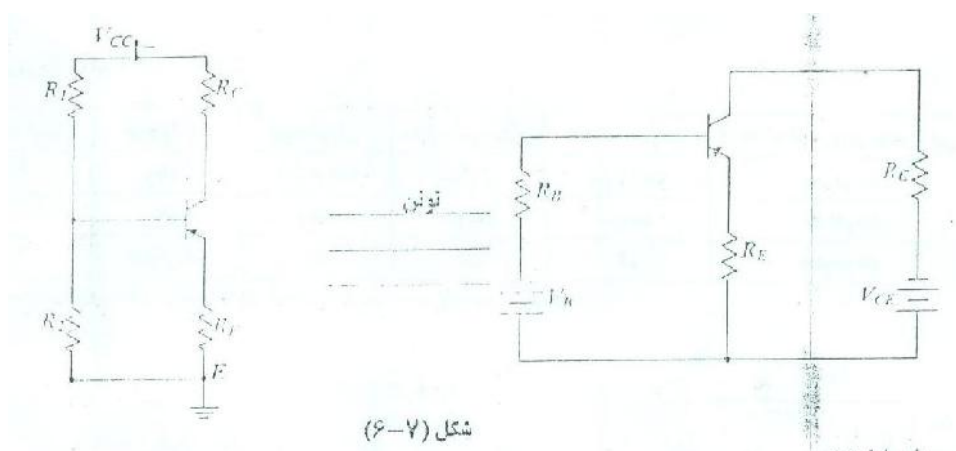
ولتاژ که از دو مقاومت  $R_1, R_2$  تشکیل گردیده کمک گرفته می شود. در این مدار  $R_C$  تغییرات جریان کلکتور بشکل تغییر ولتاژ متناسب با آن بدست می دهد.

این مدار در مقابل تغییر درجه پایدار نیست. می دانیم که رابطه بین جریان کلکتور و جریان بصورت زیر است :

$$I_C = \beta I_B + (1 + \beta) I_{CBO}$$

وقتی ترانزیستور در اثر عبور جریان و یا بالا رفتن دمای محیط گرم می شود. جریان اشباع معکوس  $I_{CBO}$  افزایش می یابد و باعث افزایش جریان کلکتور می گردد. ( $I_B = Cte$ ).

افزایش  $I_C$  از طرفی موجب گرم تر شدن ترانزیستور و نهایتاً خراب شدن آن می شود و از طرف دیگر باعث افزایش بهره جریان ولتاژ مدار می گردد. برعکس با کم شدن درجه حرارت بهره کاهش می یابد یعنی تقویت کننده ثبات و پایداری ندارد. یکی از راههای پایدار کردن تقویت کننده این است که به جای اتصال مستقیم امیتر به زمین از یک مقاومت  $R_E$  استفاده شود.



شکل (۶-۷)

در مدار معادل تونن

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

$$R_B = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

مشاهده می شود که افزایش جریان کلکتور باعث افزایش افت ولتاژ روی مقاومت  $R_E$  و کاهش  $V_{BE}$  می گردد. این مطلب از محاسبه  $V_{BE}$  مطابق روش زیر قابل استنباط است.

$$V_{BF} = V_B - V_E$$

$$V_E = I_E R_E = (I_C + I_B) R_E = (\beta + 1)(I_B + I_{CBO}) R_E$$

.....

افزایش  $I_{CBO}$  سبب کاهش  $V_{BE}$  می گردد و چون  $V_{BE}$  با  $I_B$  نسبت مستقیم دارد کاهش  $V_{BE}$  سبب کاهش  $I_R$  می شود بطوریکه افزایش  $I_{CBO}$  را خنثی می کند و در نتیجه  $V_E$  ثابت خواهد ماند. ضریب پایداری حرارتی بر طبق تعریف نسبت تغییرات جریان کلکتور به ازای تغییرات جریان  $I_{CBO}$  بعلت تغییرات درجه حرارت است.

$$S = \frac{\partial I_C}{\partial I_{CBO}} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CBO}}$$

$$I_C = \beta I_B + (1 + \beta) I_{CBO}$$

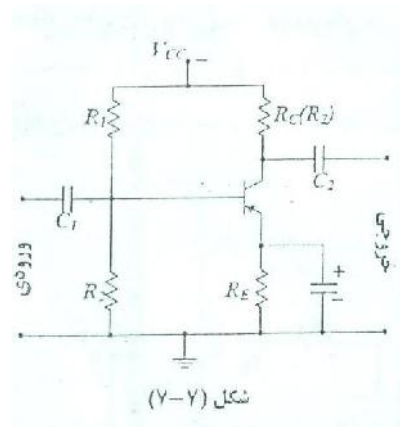
$$\Delta I_C = \beta \Delta I_B + (1 + \beta) \Delta I_{CBO}$$

$$S = \frac{1 + \beta}{1 - \beta \frac{dI_B}{dI_C}}$$

با توجه به مدار تونن :

$$\frac{dI_B}{dI_C} = - \frac{R_E}{R_E + R_B}$$

$$S = (1 + \beta) \frac{1 + \frac{R_B}{R_E}}{1 + \beta \frac{R_B}{R_E}}$$





در این محاسبات از اثر حرارت روی  $\beta$  صرفنظر شده است. مشاهده می شود که هرچه

$\frac{R_B}{R_E}$  کمتر باشد ضریب S به واحد نزدیکتر است (شرایط ایده آل) افزودن  $R_E$  گرچه باعث

پایداری حرارتی ترانزیستور می گردد ولی باعث افت ولتاژ بیشتر (برای سیگنال AC) و در

نتیجه کاهش بهره ولتاژ می گردد. برای جلوگیری از این امر یک خازن الکترونیکی  $C_E$  که

ظرفیت نسبتاً زیادی دارد موازی با  $R_E$  بسته می شود. در فرکانس کارترانزیستور (چند

کیلو هرتز) امپدانس این خازن  $\frac{1}{C\omega}$  در مقابل  $R_E$  کوچک بوده و در نتیجه دو سر  $R_E$  از

نظر سیگنال AC اتصال کوتاه شده است. در نتیجه ولتاژ خروجی تضعیف نخواهد شد. این

خازن را خازن راه ده می گویند. بنابراین مدار کامل یک تقویت کننده C.E مطابق شکل (۷)-

(۷)

منحنی تقویت

همچنانکه گفته شده بهره ولتاژ تقویت کننده با رابطه زیر بیان می شود.

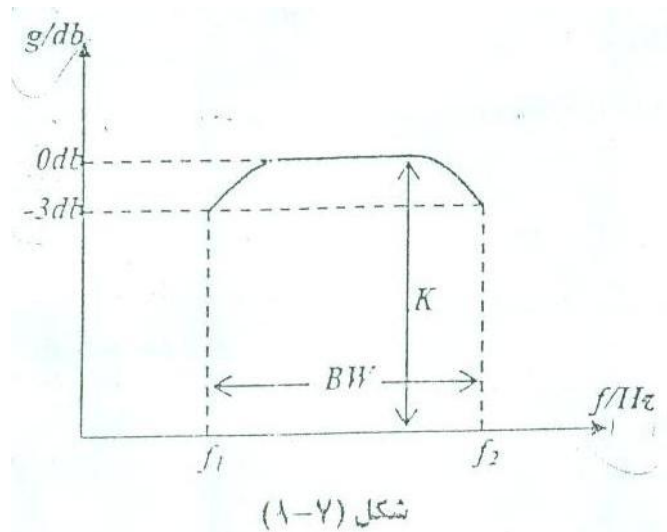
$$G_V = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-h_{fe} R_L}{\Delta h R_L + h_{le}}$$

$G_V$  با تغییر فرکانس ورودی تغییر می کند. برای نشان دادن تغییرات  $G_V$  بر حسب

فرکانس معمولاً تغییرات را بر حسب دسی بل از رابطه زیر حساب می کنند :

$$g(db) = 20 \log_{10} G_V$$

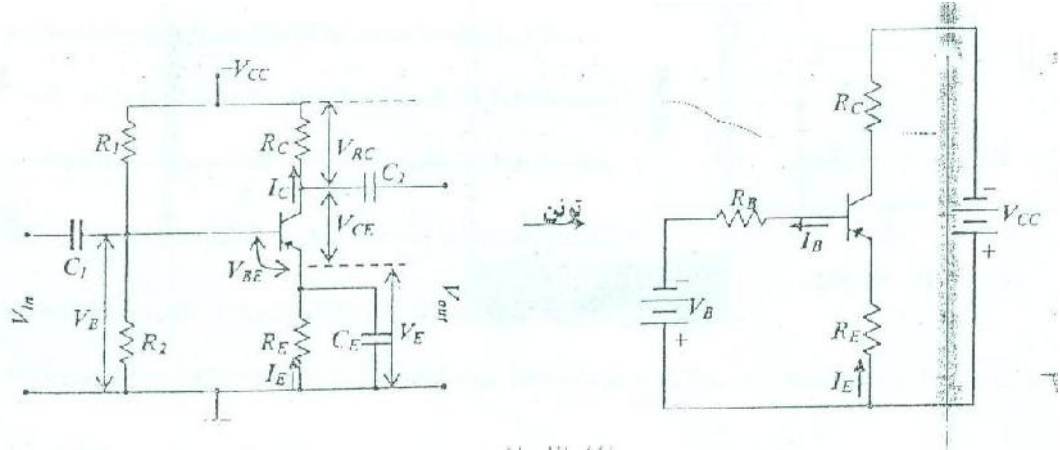
در این صورت منحنی تقویت مطابق زیر بدست می آید.



مشاهده می شود که در یک باند فرکانس  $g$  مقداری ثابت است که آن را به  $k$  نشان داده ایم. خارج از این باند (به ازای فرکانسهای کمتر یا زیادتر)  $g$  کمتر از  $k$  است. به ازای ۳ دسی بل افت نسبت به  $k$  دو فرکانس  $f_2, f_1$  وجود دارد که  $f_1$  را حد پایین منحنی تقویت و  $f_2$  را حد بالای منحنی تقویت می نامند. فاصله بین  $f_2, f_1$  را که در آن  $g$  با تقریب ۳ دسی بل ثابت است باند تقویت (Band width) می گویند.

راهنمایی های لازم برای محاسبه مدارهای تقویت کننده ترانزیستوری

در محاسبه مدارهای ترانزیستوری مقادیر مقاومتها بگونه ای باید انتخاب شود که نقطه کار ثابتی داشته باشیم یعنی نقطه کار مستقل از پارامترهای ترانزیستور باشد تا با تعویض آن نقطه کار ناپایدار نگردد. با در نظر گرفتن مدار C.E و معادل تونن آن .



قانون ولتاژ کیرشهف برای حلقه سمت چپ مدار تونن به صورت زیر نوشته می شود :

$$V_B = I_B R_E + V_{BE} + I_B R_B$$

می دانیم که  $I_E = (1 + \beta)I_B$  و چون  $\beta$  عدد بزرگی است می توانیم بنویسیم :

$$I_E = \beta I_B$$

$$V_B - \beta I_B R_E + V_{BE} + I_B R_B \Rightarrow I_B = \frac{V_B - V_{BE}}{R_B + \beta R_E}$$

اگر  $V_B \gg V_{BE}$  (تقریباً به اندازه ۱۰ برابر) و  $R_B \ll \beta R_E$  (تقریباً به اندازه ۱۰ برابر) می

توان از  $R_B$  و  $V_{BE}$  صرفنظر کرد.

$$I_B = \frac{V_B}{\beta R_E} \Rightarrow I_E = \frac{V_B}{R_E}$$

این رابطه نشان می دهد که مقدار  $I_E$  در این شرایط مستقل از پارامترهای ترانزیستور

است. و چون  $I_C \approx I_E$  است بنابراین نقطه کار را می توان ثابت نگه داشت. محاسبات فوق

در مورد ترانزیستورهای ژرمانیوم انجام گرفته است. رعایت شرط  $V_B = 10V_{BE}$  در مورد

ترانزیستورهای سیاسیم که نسبتاً بزرگی دارند مقادیر بزرگی برای مقاومت

$R_E$  بدست می دهد. در مورد ترانزیستورهای سیلیسیم برای ثبات نقطه کار می توان از

شرایط زیر استفاده کرد :

$$I_E R_E = 1v$$
$$R_2 = 6to10R_E$$

اکنون می خواهیم نقطه کار ترانزیستور PNP ژرمانیوم AC۱۳۲ را در

مشخصات ترانزیستور و مشخصه های این ترانزیستور مقادیر زیر را به دست می آوریم:

$$v_{BE} = 105v$$
$$\beta_{min} = 70$$

۱- محاسبه مقدار  $R_E$

چون جریان بیس در مقیاس میکروآمپر است. بنابراین می توان از آن در مقابل جریان

کلکتور صرف نظر کرد.

$$I_E \approx I_C = 2mA$$

دیدیم که در شرایط  $V_B = 10V_{BE}$  داریم  $I_E = V_B / R_E$  پس

$$V_B = 10V_{BE} = 10 \times 105 \approx 1v$$

$$R_F = \frac{V_B}{I_F} = \frac{1}{2} = 500\Omega$$

چون این مقاومت استاندارد نیست و بزرگترین مقاومت استاندارد نزدیک به آن را انتخاب

می کند. ...

۲- محاسبه  $R_C$

ولتاژ دو سر مقاومت  $R_C$  از رابطه زیر بدست می آید .

$$\begin{aligned}
V_{RC} &= V_{cc} - (V_{CE} + V_{RE}) \\
I_C R_C &= V_{CC} - (V_{CE} + I_E R_E) \\
I_C R_C &= 9 - (4 + .94) = 4.06 \\
R_C &= \frac{4.06}{2 \times 10^{-3}} = 2K \\
R_C &= 2.2K \Omega
\end{aligned}$$

۳- محاسبه  $R_2, R_1$

با توجه به مدار تونن

$$\begin{cases} R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \\ V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_1 = \frac{V_{CC} \times R_B}{V_B} \\ R_2 = \frac{V_{CC} \times R_B}{V_{CC} - V_B} \end{cases}$$

$$V_B = V_{BF} + I_F R_E = .105 + .94 = 1.045$$

از شرایط ثبات نقطه کار

$$\beta R_r - 10R_B \Rightarrow R_B = \frac{70}{10} \times 470 = 3.29K$$

$$R_1 = \frac{9 \times 3.20}{1.015} = 28K \quad \text{نزدیکترین مقاومت استاندارد} \rightarrow R_1 = 27K \Omega$$

$$R_2 = \frac{9 \times 3.29}{9 - 1.05} = 3.7A \quad \text{نزدیکترین مقاومت استاندارد} \rightarrow R_2 = 3.9K \Omega$$

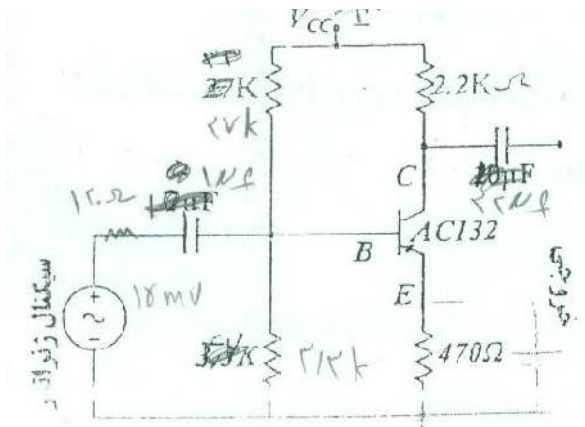
چون مقادیر مقاومت‌های انتخاب شده با مقادیر محاسبه شده تفاوت دارد. جریان کلکتور

اندکی با مقدار تعیین شده تفاوت خواهد داشت.

آزمایش ۱

مدار تقویت کننده امیتر مشترک را برای ترانزیستور AC۱۳۲ با مقاومت‌های محاسبه

شده سوار کنید و سپس اندازه گیری های زیر را انجام دهید.



۱- مقدار قله به قله موج ورودی را حدود ۱۵ میلی ولت انتخاب کنید و موج خروجی را

روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده کنید و بهره ولتاژ را محاسبه کنید.

۲- با استفاده از اسیلوسکوپ دو کاناله اختلاف فاز ورودی و خروجی را بدست آورید.

۳- با اندازه گیری جریانهای ورودی و خروجی بهره جریان این تقویت کننده را

محاسبه کنید.

راهنمایی برای اندازه گیری جریان ورودی یک مقاومت ۱۰۰ اهمی را به طور سری با مولد

سینوسی قرار دهید و مقدار افت ولتاژ روی آن را اندازه بگیرید. برای اندازه گیری جریان

خروجی را بر مقاومت  $R_C$  تقسیم کنید.

۴- بهره قدرت را از رابطه  $G_p = G_t \times G_v$  محاسبه کنید.

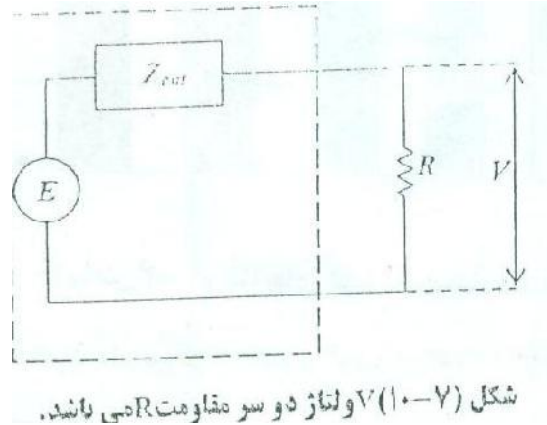
۵- با استفاده از رابطه  $Z_m = \frac{V_m}{I_m} = \frac{V_{BE}}{I_C}$  امپدانس ورودی مدار را محاسبه کنید.

۶- برای محاسبه امپدانس خروجی یک مقاومت ۱ کیلو اهمی در خروجی مدار قرار

دهید و با تصور تقویت کننده بصورت منبع ولتاژ E با امپدانس داخلی  $V_{OUT}$

مقدار امپدانس خروجی را از رابطه زیر محاسبه کنید.

$$z_{out} = \frac{E - V}{\frac{V}{R}}$$



توجه داشته باشید که اندازه گیری ها باید با ولت متر AC انجام شود تا مقادیر موثر ولتاژ و جریان بدست آید.

## آزمایش ۲- بررسی اثر خازن bypass

اکنون مقدار قله به قله ولتاژ ورودی را در حدود ۳۰ میلی ولت انتخاب کنید و خازن الکترولیتی با ظرفیت ۵ میکرو آمپر را موازی با مقاومت  $R_E$  قرار دهید هنگام اتصال خازن الکترولیتی به پلارایته به سرهای آن توجه کنید. همچنین چون در این حالت ولتاژ خروجی چندین برابر بزرگتر از آزمایش ۱ خواهد بود. دستگاه های اندازه گیری را متناسب با آن تغییر دهید.

۱- مقدار قله به قله ولتاژ خروجی را با استفاده از اسیلوسکوپ اندازه بگیرید و این بار نیز بهره ولتاژ را محاسبه و با آزمایش ۱ مقایسه کنید.

۲- بهره جریان را به همان روش آزمایش ۱ محاسبه و با آزمایش ۱ مقایسه کنید.

۳- بهره قدرت را از حاصلضرب بهره ولتاژ و جریان محاسبه کنید.

۴- با استفاده از شکل مدار چگونگی اثر خازن  $C_E$  را در ازدیاد بهره تقویت کننده

توضیح دهید.

آزمایش ۳- تعیین باند تقویت

ولتاژ ورودی را در حدود انتخاب کنید و فرکانس موج ورودی را مطابق جدول زیر تغییر

داده و در حالت  $V_{out}$  را اندازه گیری کرده و بهره ولتاژ را محاسبه نمایید ، سپس منحنی

تقویت ( $g$  بر حسب  $f$ ) را رسم و فرکانسهای  $f_2, f_1$  را که در آن بهره از مقدار ماکزیمم خود

۳ دسی بل افت می کند را مشخص نموده و پهنای تقویت را محاسبه کنید. فرکانسها بر

حسب هرتز هستند ولتاژهای بدست آمده بر حسب ولت است.

$fHz$	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۱K	۲	۳	۵	۱۰	۳۰	۵	۱۰۰	۴	۵۰۰
$v_{out/v}$																
$G_V = \frac{V_{out}}{V_m}$																
$g (db) = 20 \log_{10}^{gr}$																

آزمایش ۴- اثر خازنهای کوپلینگ و مقاومت بار

اکنون برای بررسی اثر خازنهای کوپلینگ  $c_2, c_1$  این خازنها را با خازن ۰.۱ میکرو

فاراد تعویض کنید و مجدداً فرکانس موج ورودی را تغییر داده و منحنی تقویت را رسم

و پهنای باند تقویت را محاسبه کنید. اثر این خازنها را روی  $BW, F_2, F_1$  توضیح دهید.



در هر آزمایش از محاسبه  $G_V$  مقدار بدست آمده را با آنچه از رابطه

$$G = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{hR_L}{AhR + h_r}$$

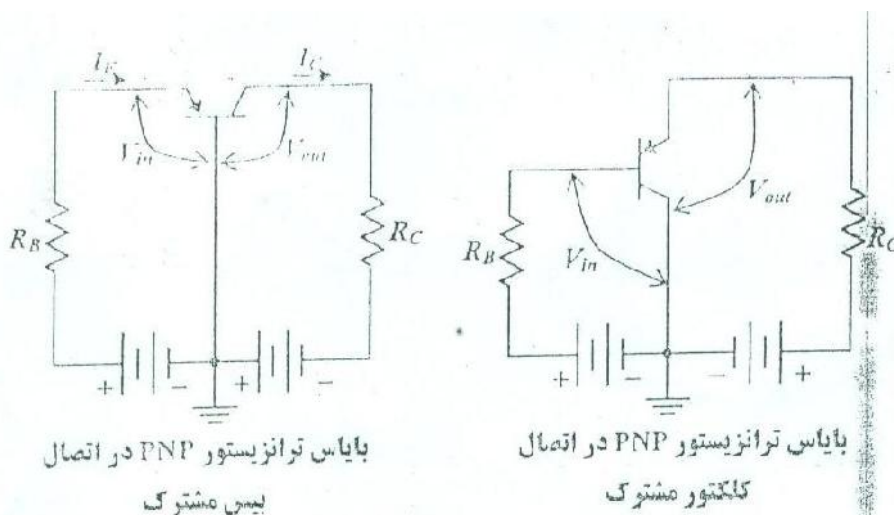
بدست می آید مقایسه کنید.

تغییر مقاومت بار  $R_E$  چه اثری روی  $G_V$  خواهد داشت؟ درستی حدس خود را با اجرای آزمایش امتحان کنید.

## آزمایش ۸

تقویت کننده ترانزیستوری یک طبقه کلکتور مشترک و بیس مشترک

در بخش قبل با سه نوع اتصال ترانزیستور در مدار تقویت کننده آشنا شدیم و امیتر مشترک را در تئوری و آزمایش مورد بررسی قرار دادیم. بررسیهای ما نشان داد که امیتر مشترک نسبت به دو حالت دیگر از نظر بهره ولتاژ یا بهره جریان و در نتیجه از نظر بهره قدرت مزیت داشت.



بایاس ترانزیستور PNP در اتصال  
بیس مشترک

بایاس ترانزیستور PNP در اتصال  
کلکتور مشترک

شکل (۸-۱)

با توجه به شکل براحتی قابل محاسبه است که بهره جریان در بیس مشترک و بهره ولتاژ در کلکتور مشترک عددی نزدیک به یک است. چون جریان بسیار ناچیز است، پس

در C.B.  $G_\lambda = \frac{I_C}{I_F} \approx 1$  و چون دیود آمتریسیس در جهت مستقیم بایاس شده  $V_{BE}$  خیلی

کم است پس  $G_V = \frac{V_{CE}}{V_{CB}} \approx 1$  در C.C اما در مورد بهره ولتاژ بیس مشترک و بهره

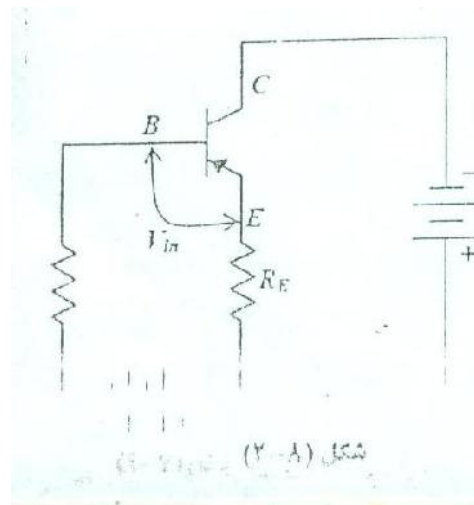
جریان کلکتور مشترک  $G_V = \frac{V_{CB}}{V_{BE}}$  در C.B  $G_\lambda = \frac{I_E}{I_B} = \frac{(1+\beta)I_B}{I_B} = (1+\beta)$  در C.C هر

دو عدد بزرگی است. چون بهره قدرت از حاصلضرب بهره جریان و بهره ولتاژ بدست

می آید بهره قدرت این دو تقویت کننده در مقایسه با C.E کم خواهد بود. تقویت کننده

کلکتور مشترک بصورتی که در شکل نشان داده شده کاربرد ندارد و معمولاً به صورت

مدار زیر مورد استفاده قرار می گیرد.



در این شکل هنوز بیس ورودی و آمیتر خروجی است.

محاسبه بهره این تقویت کننده بصورت زیر خواهد بود.

الف) بهره ولتاژ

$$V_{in} = V_{BE} + I_E R_E$$

$$V_{out} = I_E R_E$$

$$G_V = \frac{V_{out}}{v_{in}} = \frac{I_E R_E}{V_{BE} + I_E R_E}$$

برای مقادیر  $V_{BE} \ll I_E R_E$  می توان از  $V_{BE}$  صرفنظر کرد و در نتیجه  $G_V \approx 1$  چون

ولتاژ امیتراژ ولتاژ بیس پیروی می کند. بهمین جهت Emitter Follower گویند.

(ب) بهره جریان با صرف نظر از  $I_{CBO}$

$$G_1 = \frac{I_{out}}{I_{in}} = \frac{I_E}{I_B} = 1 + \beta$$

(ج) بهره قدرت

$$G_P = G_2 \times G_V = 1 + \beta$$

اکنون به محاسبه دو پارامتر دیگر C.C که اهمیت بیشتری دارند می پردازیم.

(د) مقاومت ورودی

$$R_m = \frac{V_m}{I_m} = \frac{V_{BE} + I_E R_E}{I_R} = \frac{V_{BE}}{I_B} + (1 + \beta) R_E$$

همان مقاومت ورودی C.E. است که برای مقادیر  $R_E, \beta$  می توان از آن صرف

نظر کرد.

$R_m = \beta R_E$  که نشان می دهد . مقاومت ورودی متناسب با مقاومت بار است و این

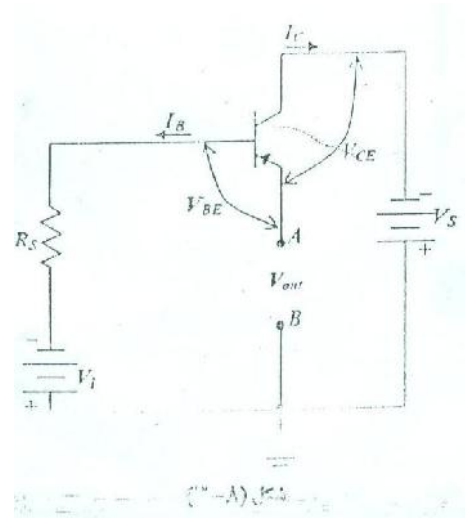
خاصیت مهم C.C می باشد.

(ه) مقاومت خروجی

برای محاسبه مقاومت خروجی مدار را مطابق شکل زیر بعنوان یک منبع ولتاژ با دو سر خروجی فرض می کنیم.

رابطه ولتاژها

$$V = I_R R_S + V_{BE} + I_E R_E$$



که در آن  $I_S R_S + V_{BE}, I_E R_E = V_{out}$  ولتاژ دو سر مقاومت داخلی منبع ولتاژ است. یادآوری این نکته از مبحث الکترونیک ضروری است که در چنین مداری ماکزیمم قدرت هنگامی منتقل می شود که مقاومت بار با مقاومت داخلی منبع مساوی باشد. یعنی ولتاژ دو سر مقاومت بار و مقاومت داخلی با یکدیگر برابر باشند.

$$I_B R_S + V_{BE} = I_E R_E$$

$$\frac{I_E}{1 + \beta} R_S + V_{BE} = I_E R_E$$

با تقسیم طرفین بر  $I_E$  و توجه به اینکه در حالت تطبیق  $R_E$  همان  $R_{out}$  است.

$$R_{out} = \frac{R_S}{1 + \beta} + \frac{V_{BE}}{I_E}$$

مقامت دیود EB در حالت C.B. است که مقدار آن خیلی کم و در کاربردهای DC  $\frac{V_{BE}}{I_E}$

قابل صرفنظر است. در نتیجه مقدار  $R_{out}$  بر  $R_S$  مقاومت داخلی منبع مدار ورودی

$\beta$  بستگی دارد و این خصوصیت مهم دیگر C.C. است.  $R_{out} = \frac{R_S}{1+\beta}$  کمترین مقدار

ممکن برای  $R_{out}$  هنگامی است که  $R_S = 0$  باشد.

$$R_{out \min} = \frac{V_{BE}}{I_F}$$

پس مزایای C.C عبارتست از مقاومت ورودی زیاد و مقاومت خروجی کم بنابراین C.C

وسیله مناسبی برای انجام عمل تطبیق امپدانس بین یک تقویت کننده با مقاومت خروجی

نسبتا زیاد و یک بار با امپدانس کم است. به همین جهت به این مدار Impedance

trans former می گویند در مقایسه با ترانسفور ماتور معمولی C,C این مزیت را دارد

که دارای تقویت ولتاژ واحد و تقویت قدرت برابر  $\beta$  است. هنگام بکار بردن C.C باید

دقت داشت که در مدار خروجی اتصال کوتاه اتفاق نیفتد زیرا بعلت کم بودن مقاومت

خروجی این عمل باعث خراب شدن ترانزیستور خواهد شد.

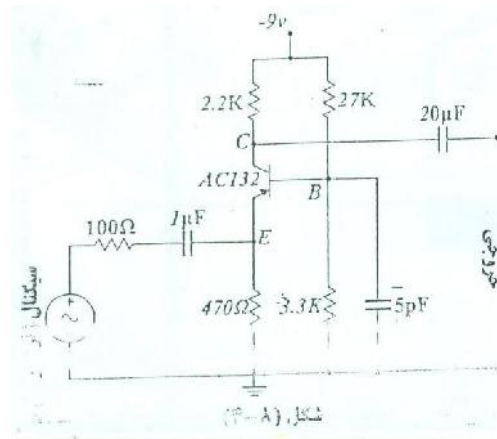
حال به انجام آزمایش های زیر می پردازیم :

الف - مدار تقویت کننده CB را مطابق شکل زیر سوار کنید.

۱- فرکانس موج ورودی را ۱ کیلو هرتز ولتاژ قله به قله آن را ۴۰ میلی ولت انتخاب

کنید. اکنون باید استفاده از یک اسیلوسکوپ دوکاناله ورودی و خروجی را با هم

مشاهده کرده ...



۲- با اتصال یک مقاومت ۱۰۰ اهمی بطور سری با سیگنال ژنراتور و اندازه گیری افت

ولتاژ روی آن جریان ورودی را محاسبه و سپس بهره جریان را بدست آورید.

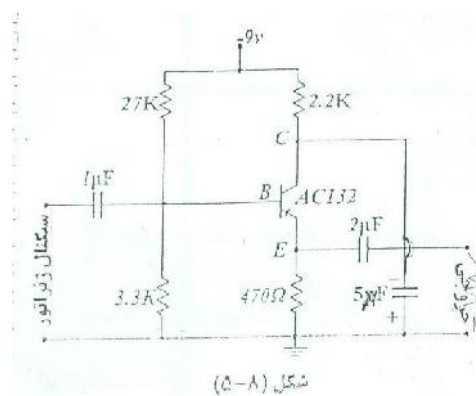
۳- مقاومت ورودی و مقاومت خروجی این تقویت کننده را به همان روشی که در مورد

C.E توضیح داده شد بدست آورید.

۴- با تغییر فرکانس موج ورودی و محاسبه  $20 \log GV$  منحنی تقویت کننده را رسم و

باند تقویت آن را بدست آورده و با C.E مقایسه کنید.

ب- مدار تقویت کننده C.C را مطابق شکل زیر سوار کنید.



فرکانس موج ورودی را ۱ کیلو هرتز و ولتاژ قله به قله آن را ۵۰ میلی ولت انتخاب

کنید.

۱- با استفاده از اسیلوسکوپ دوکاناله ورودی و خروجی را با هم مشاهده کرده و بهره ولتاژ و اختلاف فاز خروجی را با ورودی بدست آورید.

۲- با اتصال یک مقاومت ۱ کیلو اهم بطور سری با سیگنال ژنراتور و اندازه گیری افت ولتاژ روی آن جریان ورودی را محاسبه و سپس بهره جریان را بدست آورید.

۳- مقاومت ورودی و مقاومت خروجی این تقویت کننده را به همان روشی که در C.F گفته شده بدست آورید.

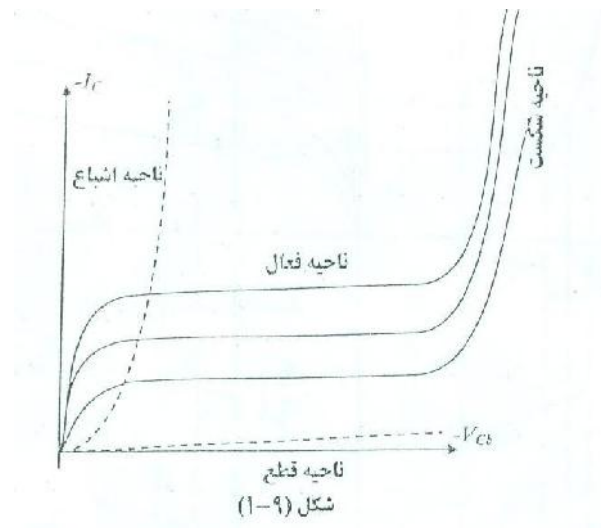
۴- چه رابطه ای بین بهره ولتاژ، بهره جریان مقاومت ورودی و مقاومت خروجی وجود دارد؟

۵- اکنون سه نوع تقویت کننده آزمایش شده را از جهات مختلف با هم مقایسه نموده و امتیازهای هریک را مشخص کنید.

آزمایش ۹

کلاس های ترانزیستور

همانطور که قبلا گفته شد بر روی مشخصه خروجی ترانزیستور سه ناحیه قابل تفکیک می باشد.



ناحیه اشباع : که از بهم پیوستن شروع خمیدگی منحنیها بدست می آید و در این ناحیه هر دیود EB , CB در حالت تغذیه مستقیم قرار می گیرند و تا زمانی که جریان هدایت دیود CB به اندازه جریان هدایت دیود EB نرسیده است ، جریانی را از خود عبور می دهد.

ناحیه قطع : که در این ناحیه هر دو دیود EB , CB در حالت تغذیه معکوس قرار می گیرند و در این ناحیه ترانزیستور از عبور جریان ممانعت می کند.

ناحیه فعال : قسمت بین این دو ناحیه که بخش خطی منحنیها در آن واقع است ناحیه فعال کار ترانزیستور را تشکیل می دهد و در آن ناحیه دیود E,B در حالت تغذیه مستقیم و دیود C,B در حالت تغذیه معکوس قرار می گیرد.

اگر به افزودن  $V_{CB}$  ادامه دهیم ناحیه چهارمی نیز پیدا خواهد شد که همان ناحیه شکست دیود است. بسته به اینکه نقطه کار ترانزیستور در کدامیک از ناحیه های فوق



قرار گیرد تقویت کننده ترانزیستوری در کلاس خاصی قرار خواهد گرفت که به توضیح

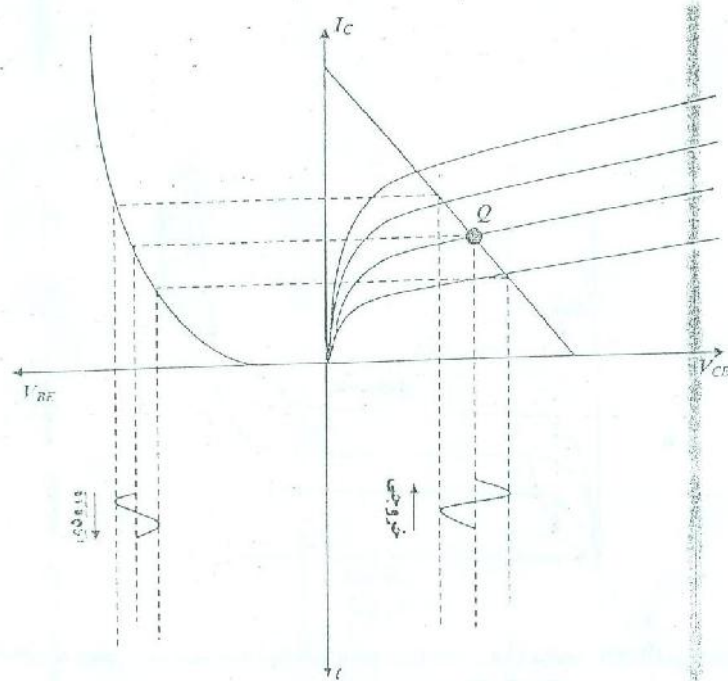
آن

تقویت کننده کلاس A

اگر نقطه کار ترانزیستور در قسمت خطی مشخصه ورودی  $(V_{BE}, I_C)$  انتخاب شود

شکل موج خروجی مشابه شکل موج ورودی خواهد بود و تقویت کننده در کلاس A کار

می کند.



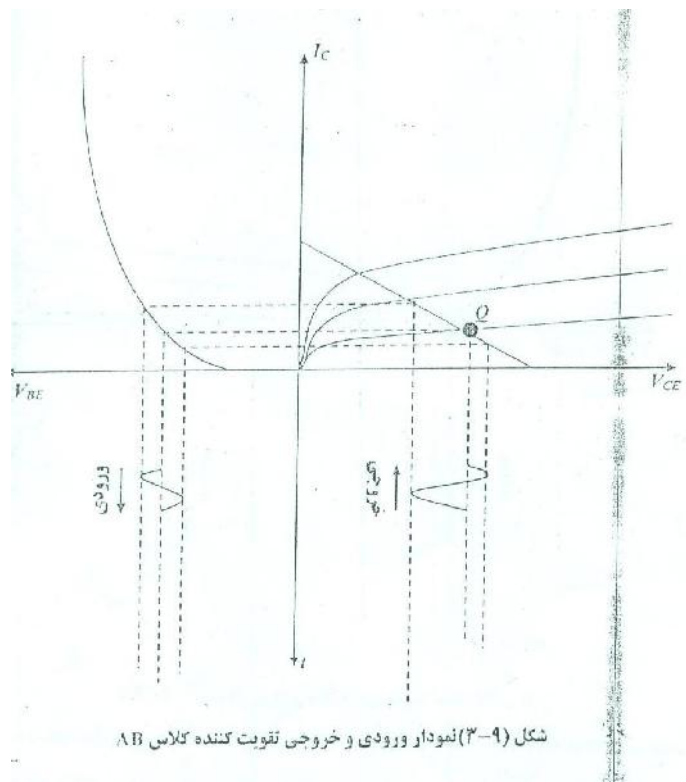
شکل (۲-۹) نمودار ورودی و خروجی تقویت کننده کلاس A

در این حالت نقطه کار ترانزیستور در منطقه فعال بوده و سیگنال خروجی در تمام

طول پریود سیگنال ورودی وجود دارد.

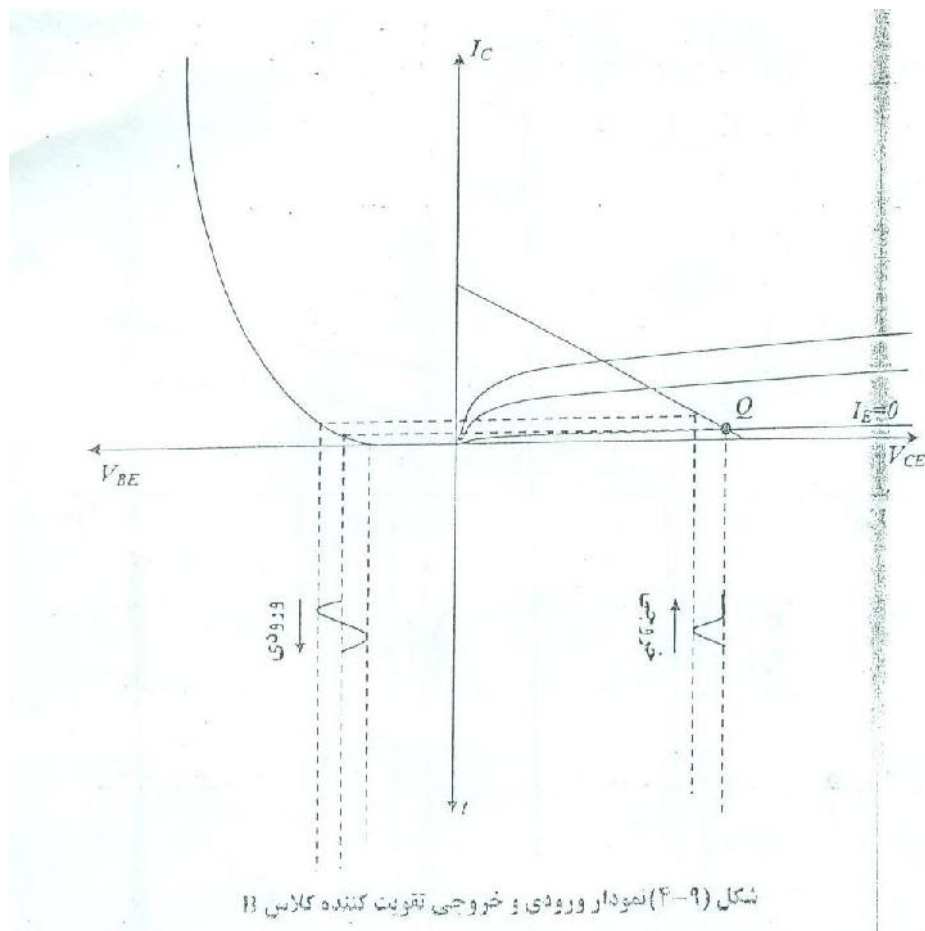
تقویت کننده کلاس AB

اگر نقطه کار ترانزیستور در حوالی قسمت غیر خطی مشخصه ورودی  $(V_{BE}, I_C)$  انتخاب شود نیم سیکل مثبت سیگنال ورودی بیشتر از نیم سیکل منفی آن تقویت می شود و باید ترتیب شکل موج ورودی در خروجی حفظ نخواهد شد ولی سیگنال خروجی در تمام طول پریود سیگنال ورودی وجود دارد.



### تقویت کننده کلاس B

در این نوع تقویت کننده نقطه کار در ناحیه قطع ترانزیستور انتخاب می شود بطوریکه فقط نیم سیکل مثبت ورودی تقویت شود به ازای نیم سیکل منفی آن خروجی صفر باشد یعنی سیگنال خروجی فقط در نیمی از پریود سیگنال ورودی وجود خواهد داشت.



در کلاس B در مدت قطع سیگنال ورودی جریان منبع تغذیه DC صفر بوده با ازدیاد دامنه سیگنال ورودی افزایش می یابد در حالی که در کلاس A در مدت قطع سیگنال ورودی جریان منبع تغذیه با حالت وجود سیگنال ورودی یکسان است . بنابراین در کلاس A در حالت قطع سیگنال تلف توان ماکزیمم و در کلاس B مینیمم است.

تقویت کننده کلاس C

اگر نقطه کار ترانزیستور طوری انتخاب شود که به ازای بیس از نیم سیکل سیگنال ورودی ، خروجی صفر باشد فقط قسمتی از قله مثبت ولتاژ ورودی تقویت خواهد شد

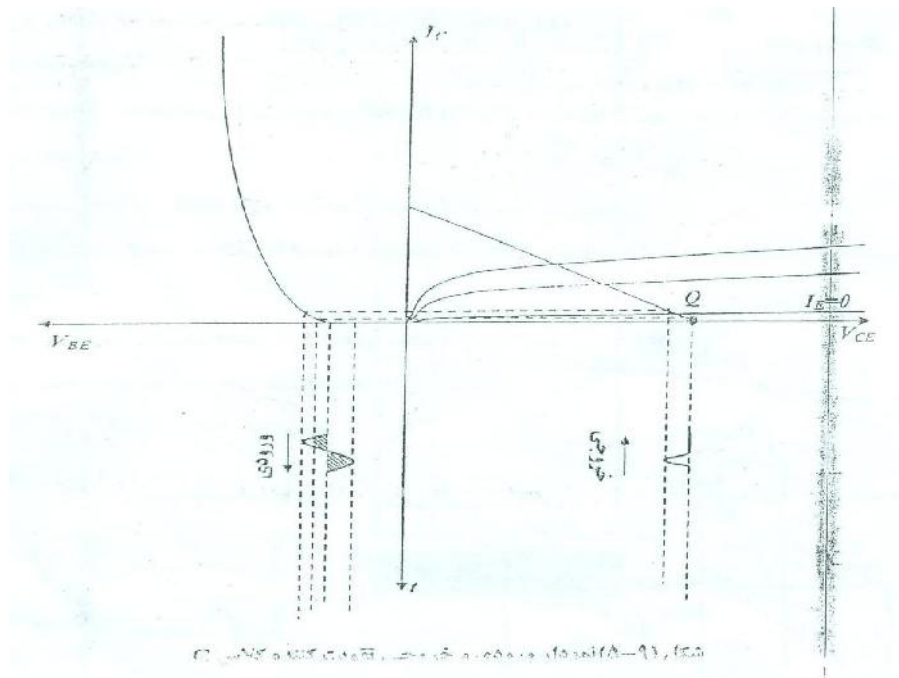
و تقویت کننده در کلاس C کار می کند. بطور خلاصه اگر  $\tau$  مدت زمانی باشد که ترانزیستور عمل تقویت را انجام می دهد.

در کلاس A  $2\pi\tau = 360^\circ$

در کلاس AB  $180^\circ < 2\pi\tau < 360^\circ$

در کلاس B  $2\pi\tau \approx 180^\circ$

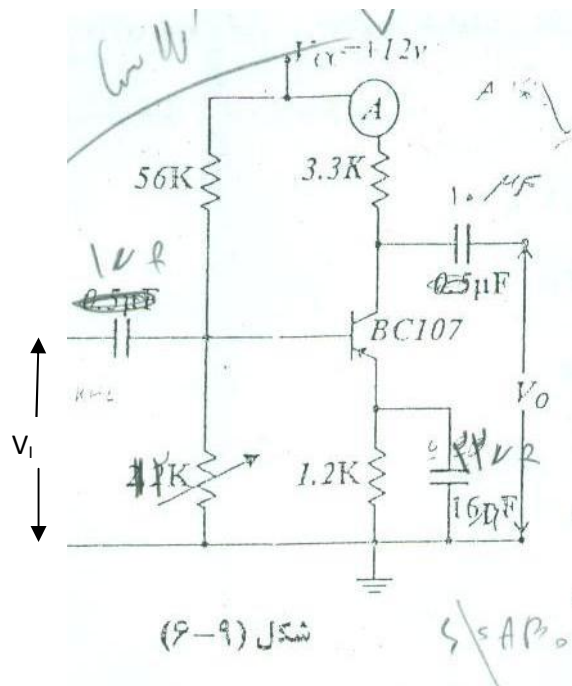
در کلاس C  $2\pi\tau < 180^\circ$



شکل (۵-۹) نمودار ورودی و خروجی تقویت کننده کلاس C

اجرای آزمایش ها

مداری مطابق شکل زیر سوار کنید و دامنه موج سینوسی ورودی را به اندازه مناسب اختیار کنید بطوریکه در شکل موج خروجی اعوجاجی حاصل نشود. فرکانس سیگنال ورودی را ۱ کیلو هرتز انتخاب کنید.



الف - با تغییر پتانسیومتر تقویت کننده را در کلاس A قرار دهید.

۱- شکل موج ولتاژ خروجی را در مقایسه با ورودی در کاغذ میلیمتری رسم کنید.

۲- جریان آمپر متر را در دو حالت وجود سیگنال ورودی و قطع سیگنال ورودی یادداشت کنید.

۳- بهره ولتاژ را محاسبه کنید.

ب - با تغییر پتانسیومتر ، تقویت کننده را در کلاس AB قرار دهید. مجدداً دامنه سیگنال ورودی را تنظیم کنید بطوریکه اعوجاج حاصل نشود. مانند آزمایش الف بندهای ۱ و ۲ و ۳ را اجرا کنید.

ج- با حذف مقاومت ۵۶ کیلو اهمی تقویت کننده در کلاس B قرار می گیرد. پس از تنظیم دامنه سیگنال ورودی بندهای ۱ و ۲ و ۳ و آزمایش الف را تکرار کنید.

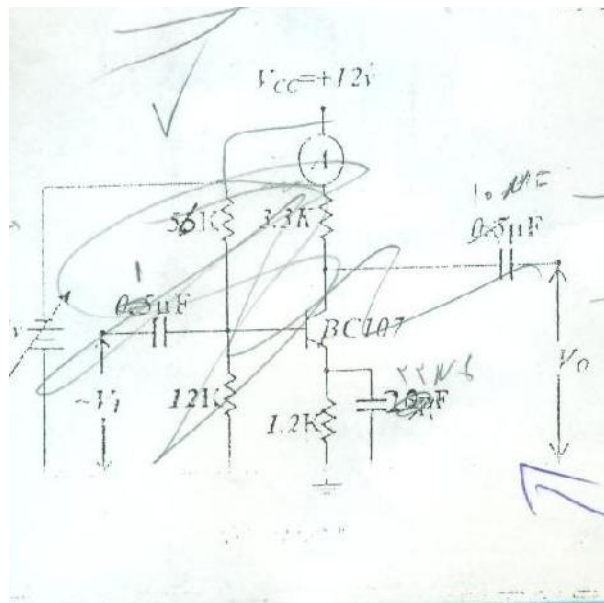
د- برای بررسی نحوه کار ترانزیستور در کلاس C مدار زیر را سوار کنید.

با تغییر ولتاژ بایاس تقویت کننده را در کلاس C قرار دهید و بندهای ۱ و ۲ و ۳

آزمایش الف را تکرار کنید. پس از انجام آزمایش به پرسشهای زیر پاسخ دهید.

۱- شکل موج خروجی و جریان کلکتور را در کلاسهای مختلف مقایسه کنید.

۲- موارد استعمال تقویت کننده های کلاس A, AB, B, C را بنویسید.



آزمایش ۱۰

تقویت کننده های ترانزیستوری چند طبقه (Multi stage transistor amplifier)

در آزمایشهای قبل دیدیم که از تقویت کننده های ترانزیستوری به منظور تقویت ولتاژ با

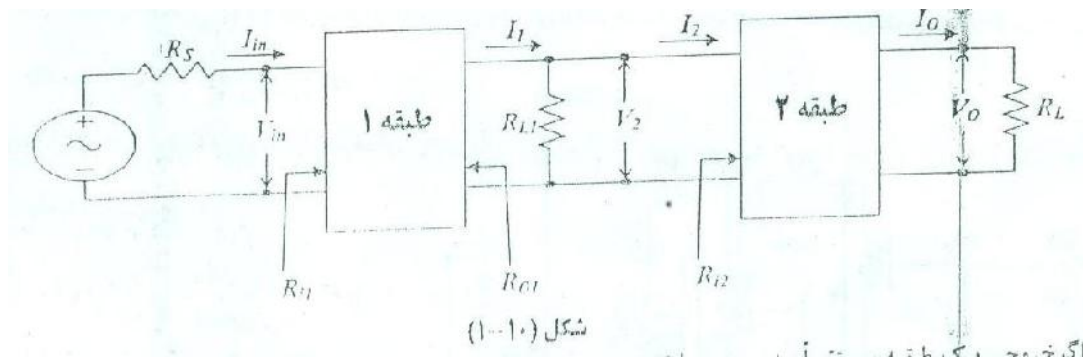
جریان و نیز بدست آوردن امپدانس ورودی یا خروجی مورد نیاز در یک مدار استفاده می

شود. چون معمولاً این خواسته ها بوسیله یک طبقه تقویت کننده برآورد نمی شود. اتصال

دو یا چند طبقه تقویت کننده پیشنهاد گردیده است. اگر هر تقویت کننده را بصورت یک

چهار قطبی فرض کنیم در این کاربرد قطبهای خروجی یک تقویت کننده به قطبهای ورودی

تقویت کننده طبقه بعد متصل می گردد.



اگر خروجی یک طبقه مستقیماً به ورودی طبقه بعدی اتصال یابد نوع اتصال را کوپلاژ مستقیم و نوع تقویت کننده را دائمی می نامند. اگر این اتصال با ترانسفورمر انجام پذیرد کوپلاژ ترانسفورمر و اگر با خازن باشد کوپلاژ خازنی می گویند. کوپلاژ خازنی فقط برای تقویت کننده a.c بوده و در آن از خازنهای کوپلینگ که اثر آنها در تقویت کننده یک طبقه بررسی شد استفاده می شود.

محاسبه ضرایب تقویت کننده دو طبقه

$$\text{الف - ضریب تقویت ولتاژ} \quad G_V = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{V_o}{V_v} \times \frac{V_v}{V_{in}} = G_{v_v} \times G_{v_1}$$

$$\text{ب - ضریب تقویت جریان} \quad G_I = \frac{I_o}{I_{in}} = \frac{I_o}{I_v} \times \frac{I_v}{I_1} \times \frac{I_1}{I_{in}} = G_n \times \frac{R_{L_1}}{R_{v_1} + R_{v_2}} \times G_{i_2}$$

ج - مقاومت ورودی

برای محاسبه مقاومت ورودی محاسبه را از آخرین طبقه تقویت کننده شروع می کنیم . به داشتن مقاومت بار و ضرایب تقویت جریان ولتاژمقاومت ورودی طبقه آخر را از رابطه

$$R_n = \frac{G_1}{G_V} R_L \quad \text{بدست می آوریم. در مورد تقویت کننده دو طبقه} \quad R_{i_2} = \frac{G_{i_2}}{G_{v_2}} \times R_{L_2} \quad \text{مقاومت بار}$$

طبقه اول از موازی شدن  $R_{L1}, R_{12}$  بوجود می آید. پس مقاومت ورودی

$$R_n = \frac{G_n}{G_{V1}} \times (R_{12} \parallel R_n) \text{ خواهد شد.}$$

د - مقاومت خروجی

برای محاسبه مقاومت خروجی محاسبه را از اولین طبقه تقویت کننده شروع می کنیم و

نخست  $R_{O1}$  را تعیین می نماییم. مقامت داخلی منبع سیگنال برای طبقه دوم از موازی شدن

$R_{L1}, R_{O1}$  نتیجه می شود که با در دست داشتن آن می توان  $R_{O2}$  را تعیین نمود و اگر طبقات

بعدی هم وجود داشته باشند محاسبه را به همین روش ادامه داد.

ه - ضریب تقویت توان

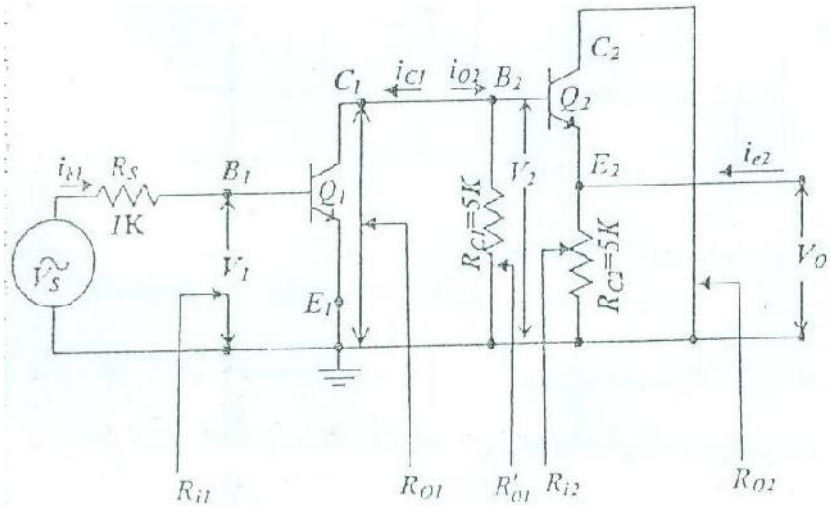
$$G_p = \frac{P_o}{P_{in}} = \frac{v_o I_o}{V_{in} I_{IN}} = G_V \times G_I$$

این محاسبات عمومی بوده و به نوع اتصال ترانزیستور مربوط نمی شود. به عنوان مثال

تقویت کننده دو طبقه زیر را در نظر می گیریم: طبقه اول  $C.E.$  و طبقه دوم  $C.C.$  است.

ترانزیستورها مشابه بوده و پارامترهای آنها داده شده است.





شکل (۲-۱۰)

$$h_{oe} = 25 \times 10^{-6} \text{ V}$$

$$h_{rc} = 6 \times 10^{-4}$$

$$h_{re} = 1$$

$$h_{fe} = -51$$

$$h_{ic} = 2k$$

$$h_{ie} = 2k$$

اکنون به بررسی مشخصات هر طبقه و ویژگیهای جدیدی که از اتصال آنها بوجود آمده

است می پردازیم. محاسبات را از طبقه دوم شروع می کنیم.

$$G_{V_2} = \frac{h_{fe}}{1 + h_{oc} R_{r_2}} = \frac{+51}{1 + 25 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^3} = \frac{51}{1.125} = 45.2$$

$$G_{V_2} = \frac{h_k R_C}{\Delta h_k R + h_{ic}} = \frac{51 \times 5 \times 10^3}{(51 + 50 \times 10^{-3}) 5 \times 10^3 + 2000} = 0.99$$

$$R_{r_2} = \frac{G_{V_2}}{G_{r_2}} R_{r_2} = \frac{45.2}{0.99} \times 5 = 228.5K$$

مقاومت بار طبقه اول برابر است با :

$$R_{L_1} = R_{r_2} \parallel R_{C_1} = \frac{5 \times 228.5}{5 + 228.5} = 4.9K$$

$$G_{ii} = \frac{-h_{fe}}{1+h_{oe}R_{L1}} = \frac{-50}{1+25 \times 10^{-6} \times 4.9 \times 10^3} = -44.5$$

$$G_{VV} = \frac{-h_{fe}R_{L1}}{\Delta h_e : R_{L1} + h_{ic}} = \frac{-50 \times 54.9 \times 10^3}{(20 \times 10^{-3})4.9 \times 10^3 + 2000} = -112$$

$$R_n = \frac{G_i}{G_{r1}} R_{L1} = \frac{44.5}{112} \times 4.99 = 1.86K$$

برای محاسبه مقاومت خروجی از طبقه اول آغاز می کنیم .

$$R_{on} = \frac{h_{ie} + R_s}{\Delta h_e + h_{oe}R_s} = \frac{2+1}{20 \times 10^{-3} + 25 \times 10^{-6} \times 10^3} = \frac{3}{3} = 66.7K$$

$$R'_{on} = R_{ev} \parallel R_{C1} = \frac{66.7 \times 5}{66.7 + 5} = 4.65K$$

$R'_{on}$  مقاومت داخلی منبع سیگنال برای طبقه دوم محسوب می شود. پس :

$$R = \frac{h_{ic} + R'_{on}}{\Delta h_r + h_e R'_{out}} = \frac{(2+4.65)10^3}{51+25 \times 10^{-6} \times 4.65 \times 10^3} = 130k$$

اکنون به محاسبه ضرایب مربوط به ترکیب دو تقویت کننده می پردازیم .

.....

$$G_r = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{V_r} \times \frac{V_r}{V_i} = G_{r2} \times G_{r1} = 0.99(-112) = -110$$

مشخصات این تقویت کننده در جدول زیر خلاصه شده است

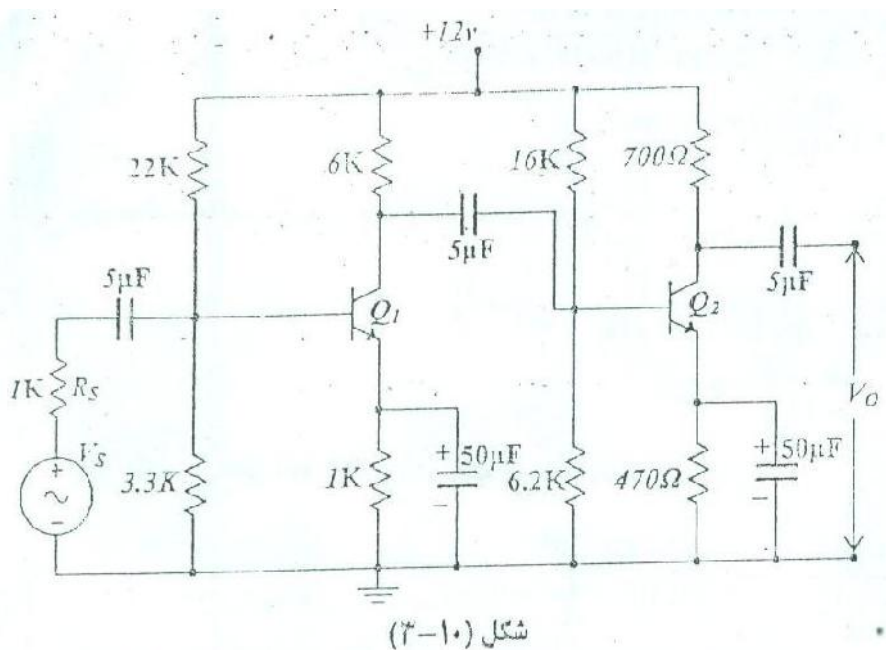
	C.C طبقه دوم	C.E. طبقه اول	C.E.+C.C
$G_I$	45/3	-44/5	42/2
$G_V$	0/99	-112	-110
$R_i$	228/5 K	1/87 K	1/87 K
$R_o$	130 Ω	4/65 K	130 Ω

مشاهده می شود که این ترکیب دارای ضریب تقویت ولتاژ و جریان نسبتاً بالا مقاومت ورودی متوسط و مقاومت خروجی بسیار کم می باشد.

به عنوان تمرین محاسبات فوق را در بازه تقویت کننده صوتی دو طبقه شکل زیر انجام دهید و نتیجه را بصورت جدولی مشابه مثال ....

با توجه به ویژگیهای خاص هر یک از سه اتصال C.B , C.C, C.E نتیجه می شود که :  
الف - اگر منظور از ترکیب طبقات تقویت سیگنال ورودی باشد از C.E استفاده می شود.

ب - اگر منظور از ترکیب طبقات بدست آوردن امپدانس ورودی زیاد باشد از C.C استفاده می شود. از C.B دلیل داشتن امپدانس ورودی بسیار کم بعنوان طبقه اول استفاده نمی شود. بنابراین خواص ۶ ترکیب زیر قابل بررسی می باشد.



۱-امیتر مشترک + امیتر مشترک

امپدانس ورودی و خروجی ترکیب دو طبقه برابر امپدانس ورودی و خروجی هریک از طبقات بتنهایی می باشد بهره کل ولتاژ در صورتیکه نقطه کارترانزیستورها یکسان

$$G_V = B^2 \frac{R^2}{h_v(h_v + R)} \quad R = R_{C_1} = R_{C_2} \text{ می آید.}$$

۲- امیتر مشترک - بیس مشترک

چون امپدانس ورودی بیس مشترک بسیار کوچک است . عملاً خروجی طبقه اول را اتصال کوتاه می کند و این ترکیب خصوصیت جالبی نخواهد داشت.

۳- امیتر مشترک + کلکتور مشترک

چون بهره ولتاژ کلکتور مشترک نزدیک ۱ است . بنابراین بهره ولتاژ کل مدار برابر با بهره امیتر مشترک خواهد بود ولی امپدانس خروجی کاهش می یابد.

۴- کلکتور مشترک + امیتر مشترک

بهره ولتاژ کل مدار برابر با بهره ولتاژ طبقه امیتر مشترک بوده ولی امپدانس ورودی زیاد

$$\text{می شود. } Z_n \approx \beta h$$

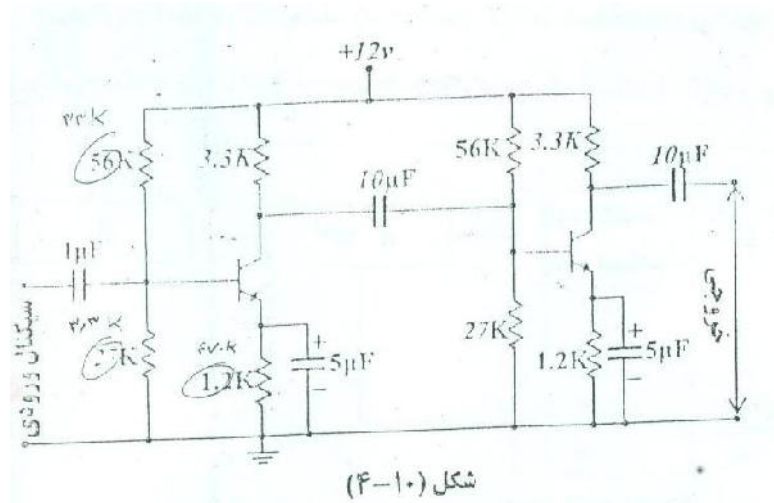
۵- کلکتور مشترک + بیس مشترک

۶- کلکتور مشترک + کلکتور مشترک

بهره کلی ولتاژ نزدیک ۱ بوده و امپدانس ورودی زیاد می باشد. انتخاب ورودی تقویت کننده به مشخصات منبع سیگنال ورودی و انتخاب طبقه خروجی به مشخصات بار مربوط می باشد.

اجرای آزمایشها

الف - تقویت کننده دو طبقه C.E+C.F را با ترانزیستور BC108NPN مطابق شکل سوار کنید و سپس اندازه گیری های زیر را انجام دهید.



مقدار قله به قله موج ورودی را ۱۰ میلی ولت انتخاب کنید و موج خروجی را روی صفحه

اسیلوسکوپ مشاهده کرده و بهره ولتاژ را محاسبه و با آنچه از روابط  $G_{V1} = \frac{-h_{fe}R_L}{\Delta hR_C + h_{ie}}$

برای هر طبقه و  $G_V = G_{V1} \times G_{V2}$  بدست می آید مقایسه کنید.

۲- بهره جریان را با موازی قرار دادن یک مقاومت ۱۰۰ اهمی با مولد موج ورودی بدست

آورده و با آنچه از روابط  $G_n = \frac{-h_{fe}}{1+h_{oe}R_L}$  برای هر طبقه و  $G_i = G \times \frac{R_{cl}}{R_{cl}+R_{i2}}$

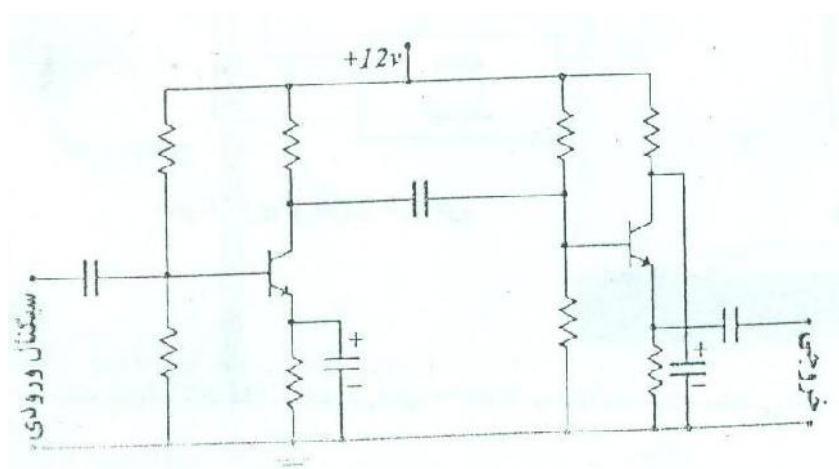
بدست می آید مقایسه کنید.

۳- امپدانس ورودی و خروجی مدار را یک بار از راه اندازه گیری و یک بار از طریقی که در

مقدمه همین جزوه آمده است بدست آورید.

۴- با تغییر فرکانس از ۵۰ هرتز تا ۱ مگاهرتز منحنی تقویت کننده را روی کاغذ نیمه لگاریتمی رسم کنید و پهنای باند تقویت را بدست آورده با تقویت کننده یک طبقه C.E مقایسه کنید.

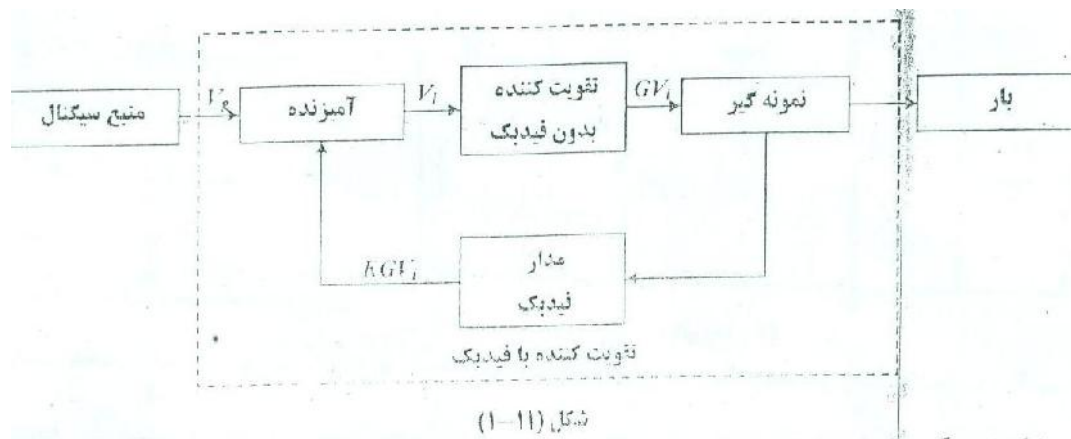
ب- تقویت کننده دو طبقه را بصورت C.C+C.E در آورید و آزمایشهای قسمت الف را تکرار کنید.



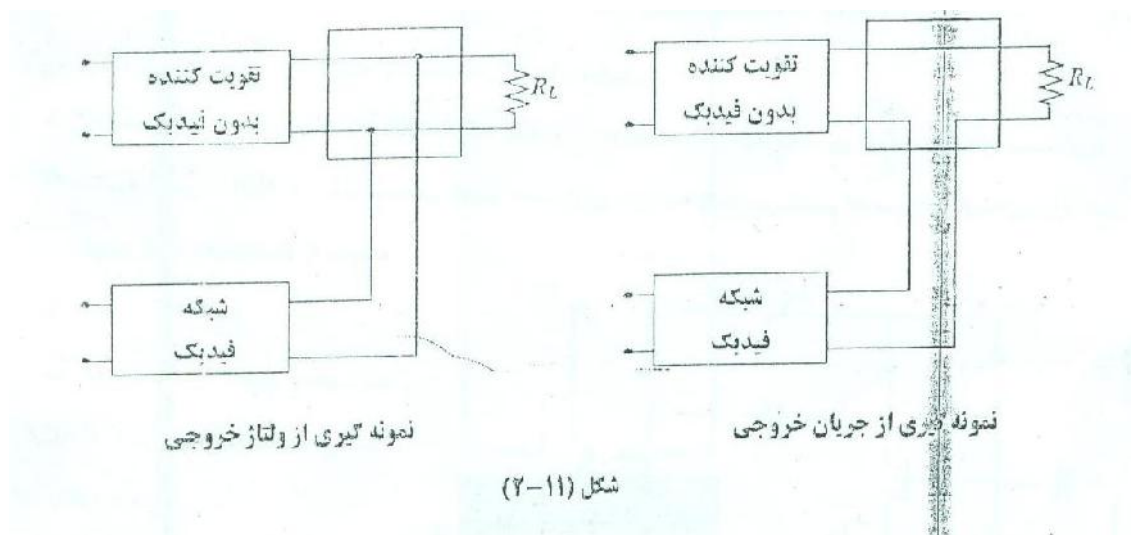
آزمایش ۱۱

تقویت کننده با فیدبک (Feedback amplifier)

در هر تقویت کننده می توان بوسیله یک مدار نمونه گیر از جریان یا ولتاژ خروجی نمونه گیری کرد و این نمونه را از طریق یک شبکه دو قطبی فیدبک به ورودی اعمال نمود. سیگنال فیدبک بوسیله یک آمیزنده با سیگنال منبع ترکیب شده به تقویت کننده تحویل می گردد.



شبکه نمونه گیر ممکن است از ولتاژ یا جریان خروجی نمونه گیری کند که مقدار برگشت داده شده به ترتیب تابعی از ولتاژ یا جریان خروجی خواهد بود.



شبکه فیدبک فقط شامل عناصر غیر فعال (passive) و معمولاً یک شبکه مقاومتی است. اگر ولتاژ برگشت داده شد و ولتاژ ورودی از منبع ..... .

با ولتاژ ورودی از منبع سیگنال باشد فیدبک منجر به کاهش ولتاژ خروجی خواهد شد و آن را منفی می نامند. در تقویت کننده با فیدبک ایده آل فرض می شود که اولاً مسیر از ورودی به خروجی در تقویت کننده بدون فیدبک یک طرفه باشد و ثانیاً در شبکه فیدبک نیز مسیر از خروجی به ورودی یک طرفه باشد و هیچ کدام در جهت معکوس

سیگنالی از خود عبور ندهند. اگر بهره یک تقویت کننده بدون فیدبک  $G$  باشد.  $\frac{V_o}{V_i} = G$

سیگنال  $V_i$  هنگام گذشتن از آن در  $G$  ضرب می شود و اگر ضریب انتقال برگشت  $K$

بصورت  $V_f \equiv kv$  تعریف شود مقدار نمونه گیری شده پس از عبور از شبکه فیدبک

در  $k$  ضرب می گردد ( $k$  عددی مثبت یا منفی است).

$$V_g = V_i + V_f = V_i + KGV_i = (1 + KG)V_i$$

بهره تقویت کننده با فیدبک

$$G_f = \frac{V_o}{V_g} = \frac{V_o}{(1 + KG)V_i} = \frac{G}{1 + KG}$$

۱- اگر  $|1 + K_G| > 1$  باشد در این صورت  $|G_f| < |G|$  بوده و تقویت کننده با فیدبک منفی

خواهد بود.

۲- اگر  $|1 + K_G| < 1$  باشد در این صورت  $|G_f| > |G|$  بوده و تقویت کننده با فیدبک

مثبت خواهد بود.

۳- اگر  $1 + K_G = 0$  باشد در این صورت  $G_f = \infty$  بوده و تقویت کننده به نوسان ساز

تبدیل می گردد که موضوع آزمایش بعد خواهد بود. حاصل ضرب  $KG$  را بهره حلقه

فیدبک می گویند.

فیدبک مثبت اگرچه باعث افزایش بهره مدار می گردد ولی بعلت معایبی که دارد و تقویت

کننده ها کمتر بکار می رود. لذا در آزمایشها تنها به بررسی فیدبک منفی خواهیم

پرداخت. اثرات فیدبک منفی را می توان بصورت زیر خلاصه کرد.



۱- پایداری مدار را در برابر تغییرات پارامترهای  $h$  ناشی از تعویض یا فرسودگی

ترانزیستور و یا تغییر دما افزایش می دهد تغییر جزئی  $G_f$  با تغییر جزئی  $G$  با

رابطه زیر مربوط می شود :

$$\left| \frac{\partial G_f}{G_f} \right| = \frac{1}{|1+KG|} \left| \frac{\partial G}{G} \right|$$

مشاهده می شود که درحالت  $|1+KG| < 1$  (فیدبک منفی) تغییرات  $\left| \frac{\partial G_f}{G_f} \right|$  کمتر از تغییرات

$\left| \frac{\partial G}{G} \right|$  خواهد بود. بخصوص اگر  $|K| \gg 1$  باشد

$$G_f = \frac{G}{1+KG} \approx \frac{G}{KG} = \frac{1}{K}$$

در این حالت بهره کاملا وابسته به شبکه فیدبک بوده و پایداری مدار بهبود قابل ملاحظه ای خواهد داشت.

۲- می توان ثابت کرد که در یک تقویت کننده حاصلضرب بهره در پهنای باند و در دو

حالت با فیدبک و بدون فیدبک یکسان است. بنابراین با کاهش بهره در حالت با

فیدبک پهنای باند تقویت افزایش خواهد یافت.

۳- اعوجاج غیر خطی که ناشی از اعمال سیگنال بزرگ در ورودی تقویت کننده است را

کاهش می دهد.

۴- اغتشاش (نویز) بوجود آمده در سیگنال خروجی را کاهش می دهد. این محاسن به

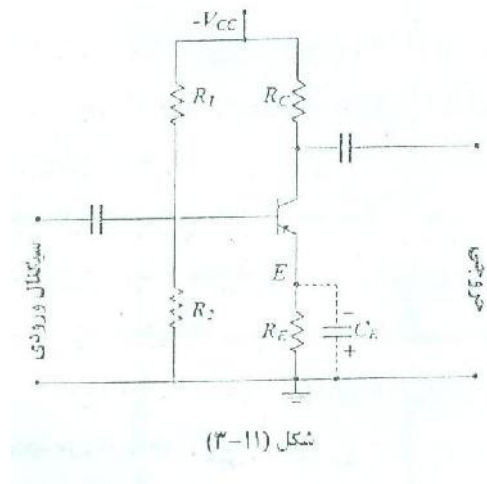
بهای کاهش بهره بدست می آید کلیه محاسن فیدبک منفی را می توان بعنوان معایب

فیدبک مثبت در نظر گرفت. در آزمایشهای مربوط به تقویت کننده امیتر مشترک

دیدیم که با قرار دادن خازن راه ده (bypass) در دو سر مقاومت امیتر  $R_E$  ولتاژ خروجی چندین برابر افزایش می یافت. اکنون متذکر می گردیم که مدار تقویت کننده با خازن راه ده بدون فیدبک و مدار بدون خازن راه ده با فیدبک منفی جریان می باشد.

در حالتی که خازن  $C_E$  در مدار قرار می گیرد چون در فرکانسهای بالا خازن نقطه E را از نظر پتانسیل a.c. به زمین اتصال کوتاه میکند. در نتیجه بهره ولتاژ تقویت کننده برابر است با :

$$C_V = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{I_C R_C}{V_{BE}} \Rightarrow \frac{G_V}{R_C} = \frac{I_C}{V_{BE}} \approx \frac{I_E}{V_{BE}}$$



با خارج کردن خازن  $C_E$  نقطه E دارای ولتاژ a.c.  $V_E = V_{BE} + I_E R_E$  بوده و در نتیجه بهره ولتاژ در این حالت برابر است با :

$$G_r = \frac{I_C R_C}{V_{BE} + I_E R_E} = \frac{\frac{I_C R_C}{V_{BE}}}{1 + \frac{I_C R_C}{V_{BE}}} = \frac{G_V}{1 + G_V \frac{R_E}{R_C}}$$

در این مدار  $K = \frac{R_E}{R_C}$  همان ضریب فیدبک می باشد. اگر  $\frac{R_E}{R_C} \gg 1$

$$G_V = \frac{I_C R_C}{V_{BE} + I_E R_E} = \frac{\frac{I_C R_C}{V_{BE}}}{1 + \frac{I_C R_C}{V_{BE}}} = \frac{R_C}{R_E}$$

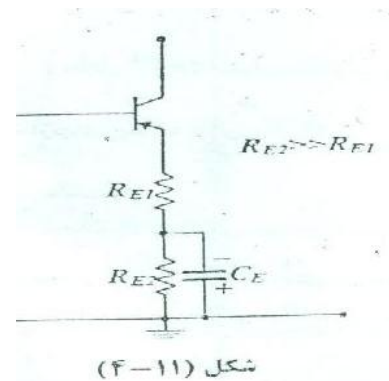
در این حالت بهره ولتاژ مدار به پارامترهای ترانزیستور بستگی ندارد. برای اینکه هم از تقویت نسبتا خوبی برخوردار باشیم و هم خطی بودن خروجی را بهبود بخشیده باشیم. مقاومت امیتر را به دقت تقسیم و خازن راه ده را به محل اتصال دو مقاومت .....

مقدار  $C_E$  باید طوری انتخاب شود که راکتانس خازن  $W X_C = \frac{1}{C_E \omega}$  در کمترین فرکانس

کار تقویت کننده تقریبا برابر صفر باشد.

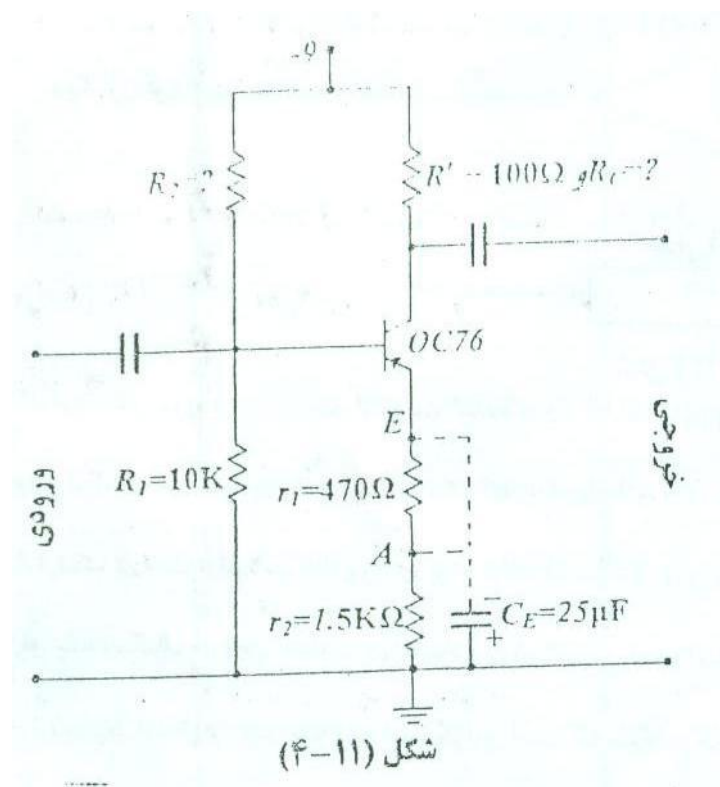
اجرای آزمایشها

نخست با استفاده از روشی که در مقدمه آزمایش تقویت کننده امیتر مشترک گفته شد ، با دانستن نقطه کار  $-V_{CC} = 3V, -I_C = 1mA$  و ولتاژ تغذیه  $V_{CC} = -9V$  برای ترانزیستور PNP ژرمانیوم OC۶ با  $\beta = 40$  مقاومت های  $R_C, R_E$  را محاسبه و مدار را با مقادیر محاسبه شده سوار کنید.



## آزمایش

الف - نخست خازن راه ده  $C_E$  را به نقطه E وصل نمایید. در این حال که تقویت کننده بدون فیدبک است یک ولتاژ سینوسی با مقدار قله به قله ۵۰ میلی ولت را به ورودی تقویت کننده وصل کنید و با تغییر فرکانس مطابق جدول بهره ولتاژ را محاسبه و یادداشت کنید. (توجه داشته باشید که ولتاژ ورودی همان ۵۰ میلی ولت باقی بماند.)



ب - اکنون خازن  $C_E$  را به نقطه A وصل کنید. در این حال تقویت کننده دارای فیدبک منفی جریان می باشد به همان روش قسمت الف بهره ولتاژ را در فرکانسهای داده شده محاسبه و یادداشت کنید.

ج - روی کاغذ نیمه لگاریتمی تغییرات بهره را بر حسب فرکانس برای دو حالت تقویت کننده (بدون فیدبک و با فیدبک) رسم و پهنای باند را برای هر کدام حساب نمایید.

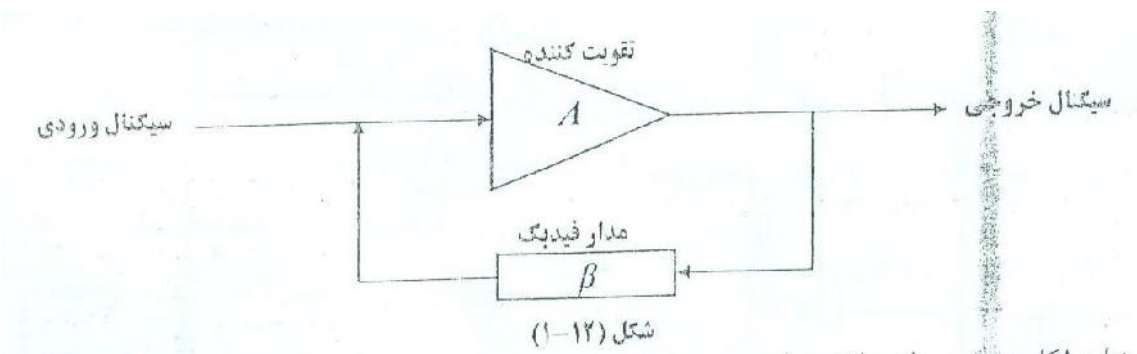
د - با توجه به ضریب فیدبک  $K$  بهره تقویت کننده فیدبک را در فرکانس  $f=5k$  از روی بهره تقویت کننده بدون تقویت کننده بدون فیدبک محاسبه و با آنچه در آزمایش بدست آورده اید مقایسه کنید.

آزمایش ۱۲ نوسان سازها (۱)

وسایل لازم : اسیلوسکوپ ، منبع تغذیه ، dc ، مولتی متر ، فرکانس متر، ترانزیستور BC۱۰۷  
یامعادل آن مقاومتها و خازنها در اندازه های مختلف

مقدمه

نوسانگر الکترونیکی مداری است که بدون نیاز به سیگنال ورودی و فقط با اعمال یک ولتاژ مستقیم نوسان می کند و ولتاژ متناوبی بوجود می آورد. در این آزمایش بررسی ما به نوسانگر سینوسی (Sinusoidal oscillator) محدود می شود اصول کار نوسانگر با یادآوری فیدبک مثبت قابل درک است.

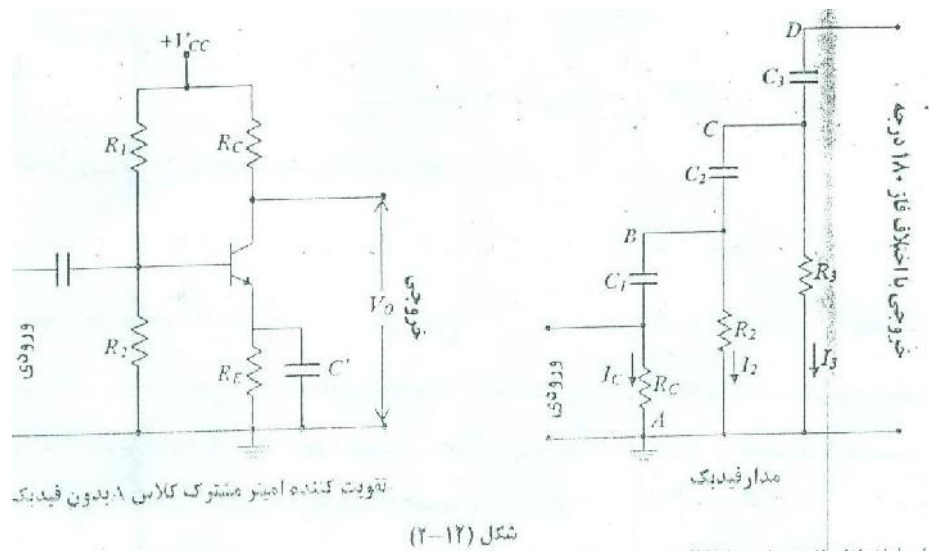


در این شکل ورودی پس از عبور از تقویت کننده بدون فیدبک با ضریب  $A$  تقویت شود. مدار فیدبک سیگنال خروجی را با ضریب  $\beta$  به ورودی برگشت می دهد. بنابراین ولتاژ فیدبک  $A\beta$  برابر ولتاژ ورودی خواهد بود که اگر  $A\beta=1$  و فیدبک از نوع مثبت باشد.

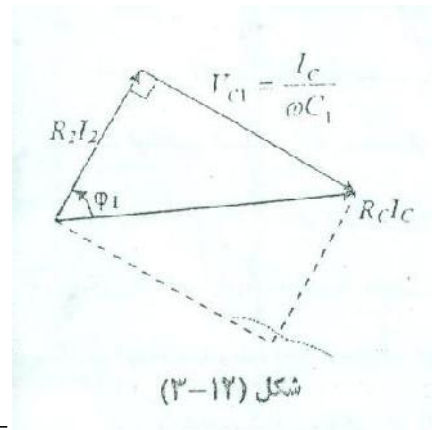
خروجی مدار فیدبک درست برابر با سیگنال ورودی بوده و با حذف سیگنال ورودی می تواند جایگزین آن گردد و مدار بدون نیاز به سیگنال ورودی دارای یک سیگنال خروجی متناوب خواهد بود. در یک تقویت کننده امیتر مشترک سیگنال خروجی با سیگنال ورودی ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارد و شرط تبدیل تقویت کننده به نوسانگر این است که سیگنال خروجی پس از عبور از مدار فیدبک هم فاز هم دامنه سیگنال ورودی شود تا بتواند جایگزین آن گردد. بنابراین مدار فیدبک باید بتواند اختلاف فاز ۱۸۰ درجه را جبران نماید. بنابراین فرکانس نوسانات یک نوسانگر با شرط اینکه تغییر فاز حلقه فیدبک صفر (یا مضربی از  $2\pi$ ) باشد تقویت کننده قابل تبدیل به نوسانگر است.

نوسانگر سینوسی با مدار جابه جایی فاز

در این نوسانگر برای تامین اختلاف فاز ۱۸۰ درجه از سه مدار مشابه RC که هر کدام اختلاف فاز ۶۰ درجه ایجاد می کنند استفاده شده است.

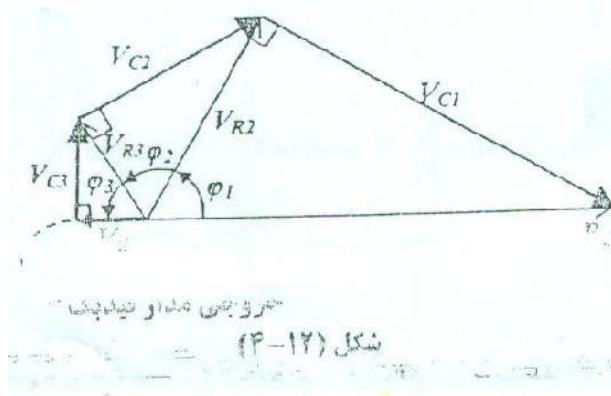


ایجاد اختلاف فاز توسط مدار RC از این حقیقت ناشی می شود که ولتاژ دو سر خازن با جریان گذرنده از آن ۹۰ درجه اختلاف فاز دارد. ولتاژ دو سر مقاومت RC با جریان آن همفاز است. اما ولتاژ دو سر خازن دو نمایش فازی عمود بر جریان می باشد ولتاژ ورودی به دومین مدار RC جمع فاز وری این دو ولتاژ می باشد.



$$\sin \phi_1 = \frac{I_c}{I_c R_c} = \frac{1}{R_c C_1 \omega}$$

این ولتاژ نیز پس از عبور از مدار RC با اختلاف فاز  $\phi_r$  به سومین مدار RC وارد می گردد. شرط ایجاد نوسان این است که  $\phi_1 + \phi_r + \phi_r = 180^\circ$  تا با اتصال نقطه D به ورودی تقویت کننده مدار نوسانگر کامل گردد. این شرط فقط در فرکانس معینی برآورده می شود که همان فرکانس نوسانات نوسانگر است. در شکل زیر نحوه ساختن اختلاف فاز  $180^\circ$  درجه با استفاده از جمع فاز وری ولتاژ نمایش داده شده است.



از آنجا که امپدانس ورودی تقویت کننده امیتر مشترک ( $R_i \approx h_{ie}$ ) باید بهنگام اتصال خروجی مدار فیدبک به ورودی تقویت کننده منظور گردد اگر  $R_C = R_1 = R_2 = R$  باشد  $R_C = R_1 = R_2 = R$  خواهد بود با فرض  $C_1 = C_2 = C_3 = C$  هر یک از مدارهای RC باید اختلاف فاز ۶۰ درجه ایجاد نمایند.

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = 60^\circ \Rightarrow \sin 60^\circ = \frac{1}{RC\omega}$$

به این ترتیب فرکانس نوسانات از رابطه زیر بدست می آید .

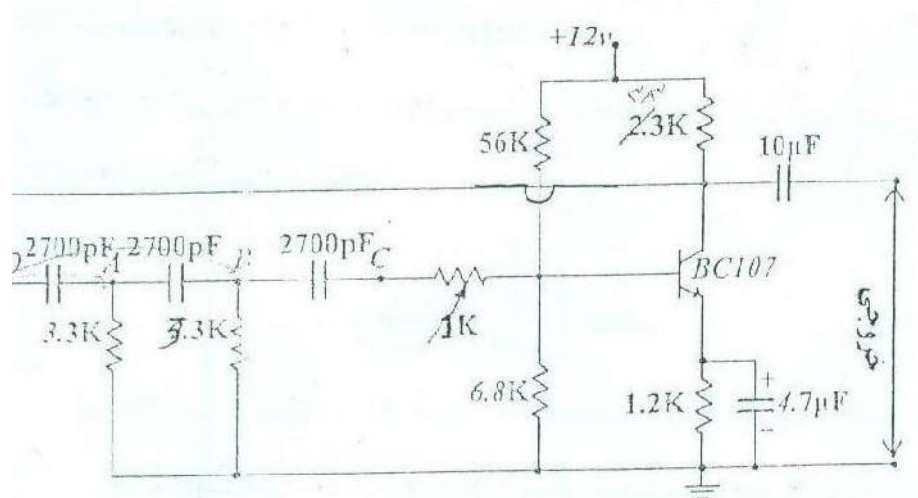
$$f = \frac{1}{\pi\sqrt{2}RC}$$

توجه : نتیجه آزمایش را با فرمول  $K = \frac{RC}{R}$  ، مقایسه کنید.  $f = \frac{1}{2\pi RC} \times \frac{1}{\sqrt{6+4K}}$

ترانزیستوری که در این نوسانات بکار می رود دارای  $h_{fe}$  بزرگ (بیشتر از ۳۰) باشد در غیر این صورت مدار نوسان نخواهد کرد. نوسانگر به جابه جایی فاز برای فرکانسهای از چند هرتز تا چند کیلو هرتز (فرکانسهای صوتی) مناسب است . فرکانس نوسانات با تغییر هر یک از مقاومتهای R بطور محدود تغییر می کند اما برای تغییرات وسیع فرکانس باید هر سه مدار RC را بطور همزمان تغییر داد.



مدار نوسانگر با جابه جایی فاز را مطابق شکل ترتیب دهید.



شکل (۱۲-۵)

الف - با تنظیم پتانسیومتر شکل موج خروجی را مشاهده و ترسیم کنید. فرکانس نوسانات را با استفاده از اسیلوسکوپ یا فرکانس متر اندازه بگیرید و با آنچه از راه محاسبه بدست می آید مقایسه و علت اختلاف را بیان کنید.

ب- با مشاهده شکل موج در نقاط A, B, C اختلاف فاز و تضعیف دامنه را در هر نقطه را بدست آورید و دو رابطه زیر را نتیجه بگیرید.

$$Q_{ma} = Q_{OA} + Q_{AB} + Q_{BC}$$

$$(\text{تضعیف در C}) \frac{V_C}{V_n} (\text{تضعیف در B}) \times \frac{V_B}{V_A} (\text{تضعیف در A}) = \frac{V_A}{V_o} (\text{تضعیف مدار فیدبک})$$

چرا ولتاژ در نقطه C سینوسی است؟

ج- ظرفیت خازنهای C را کمتر انتخاب کنید (پیکوفاراد  $C=1000$ ) و مجدداً فرکانس نوسانات را از راه دور محاسبه و اندازه گیری بدست آورید.

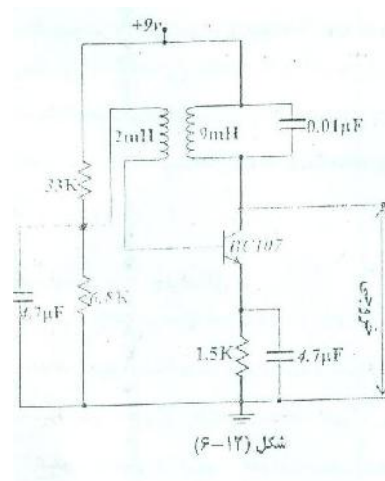
د- یکی از مقاومت‌های R را طبق جدول زیر تغییر داده و فرکانس نوسانات را به ازای هر مقاومت اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$R (K\Omega)$	۰/۴۷	۰/۶۷	۱	۲/۲	۳/۳	۴/۷	۶/۸	۱۰
F(Hz)								

آیا این نتایج با محاسبات سازگار است؟

روش آزمایش

آزمایش ۱ نوسانگر با ترویج ترانسفورمر را با عناصر مشخص شده در شکل زیر ترتیب دهید.



الف - خروجی مدار را به اسیلوسکوپ وصل کنید.  $L_1$  و  $L_2$  را هم محور کنید و فاصله آنها را آنقدر تغییر دهید تا شکل موج خروجی پایدارترین وضع را پیدا کند. در این حال فرکانس نوسانات را اندازه بگیرید نتیجه را با آنچه از محاسبه بدست می آورید مقایسه کنید در مدار اختلاف چقدر است. علت این اختلاف چیست؟

ب - در حالی که مدار نوسان می کند جای دو سر  $L_1$  را عوض کنید. مدار از نوسان می افتد. علت چیست؟

ج - هسته آهنی را دارد  $L_1$  کنید و پس از حصول پایدارترین شکل موج خروجی فرکانس نوسانات را اندازه بگیرید. آیا فرکانس اندازه گیری شده با نتیجه حاصل از محاسبه منطبق است؟ چه عاملی سبب تغییر فرکانس دامنه نوسانات نوسانگر شده است؟

د - با مشاهده شکل موج ورودی آن را از نظر دامنه و فاز با شکل موج خروجی مقایسه کنید.

ه - مقدار ظرفیت خازن C را مطابق جدول زیر تغییر دهید و فرکانس نوسانات را در هر حالت اندازه بگیرید و با نتیجه محاسبه مقایسه نمایید.

C(pf)	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۷۰۰	۱۰۰۰۰	۴۷۰۰۰	۵۶۰۰۰
F(Hz) اندازه گیری						
F(Hz) محاسبه						

آزمایش ۱۳

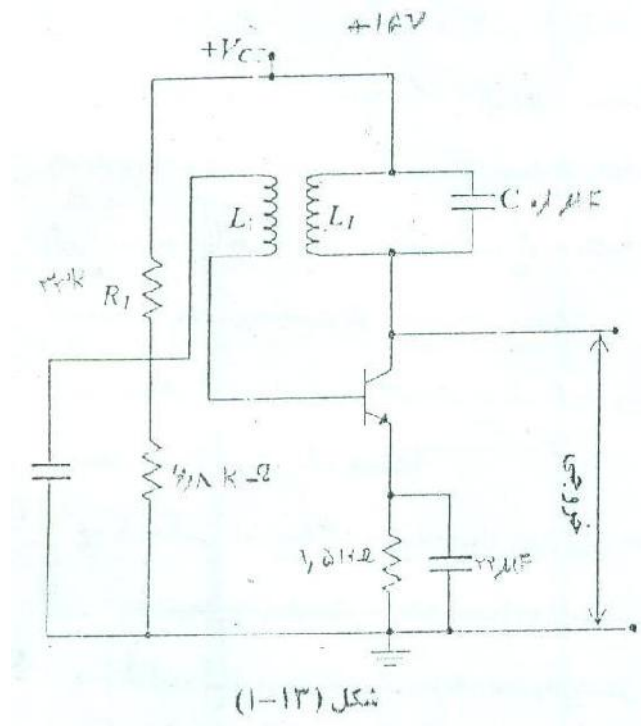
نوسان سازها (۲)

وسایل لازم : اسیلوسکوپ، منبع تغذیه ، مولتی متر، فرکانس متر، ترانزیستور BC۱۰۷ یا

معادل آن ، مقاومتها، خازنها و القاگرهای مختلف.

وسانگرسینوسی با مدار همنوایی (Resonant circuit oscillation)

در این نوع نوسانگرها برای ایجاد اختلاف فاز  $180^\circ$  درجه از یک مدار تشدید القاگر و خازن بتوان مدار فیدبک یک تقویت کننده کلاس A استفاده می شود. بنابراین این نوسانگرها و نوسانگر لا جابه جایی فاز فقط در مدار فیدبک یک تقویت کننده از این نوع نوسان سازها می توان نوسانگر با تزویج ترانسفورمر (Transformer coupled oscillation) و نوسانگر کلپتیکس (colpitts) و نوسانگر تلی (Hartley) را نام برد.



الف - نوسانگر با تزویج ترانسفورمر

در این نوسانگر برای ایجاد اختلاف فاز  $180^\circ$  درجه از یک مدار تشدید سلف و خازن و یک پیوند ترانسفورمر استفاده می شود. می دانیم که ولتاژهای اولیه و ثانویه یک ترانسفورمر با یکدیگر  $180^\circ$  درجه اختلاف فاز دارند. بنابراین کافی است که اولیه ترانسفورمر را در مدار کلکتور یک تقویت کننده امیتر مشترک و ثانویه را در مدار فیدبک قرار دهیم.

در اثر اتصال مدار به منبع تغذیه یک تغییر جریان در نتیجه یک تغییر شار مغناطیسی رد القاگر  $L$  بوجود می آید. این تغییر شار یک نیروی محرکه القایی در القاگر  $L_1$  ایجاد می کند که به ورودی تقویت کننده اعمال می شود. اگر جهت سیم پیچی القاگر  $L_1$  مناسب اختیار شود ولتاژ القایی ظاهر شده در بیس ترانزیستور با ولتاژ کلکتور  $180^\circ$  درجه اختلاف فاز خواهد داشت با توجه به اینکه در تقویت کننده امیتر مشترک ولتاژ خروجی با ولتاژ ورودی به اندازه  $180^\circ$  درجه اختلاف فاز دارد. اختلاف فاز ولتاژ برگشت داده شده به بیس  $180^\circ + 180^\circ = 360^\circ$  (یا صفر) خواهد بود. با اعمال این فیدبک مثبت به وردی چنانچه شرط  $A\beta = 1$  برقرار شود مدار می تواند نوسان کند. فرکانس نوسانات در این نوسانگر از رابطه

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C}} \quad \text{بدست می آید. در این رابطه از مقاومت اهمی القاگر } L_1 \text{ صرفنظر شده است.}$$

نوسانگر کلپتیس

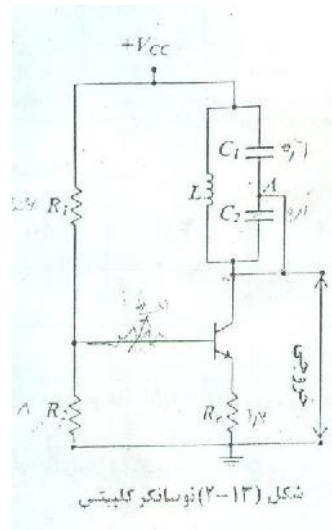
در این نوسانگر حلقه تشدید از القاگر  $L$  و دو خازن سری  $C_1, C_2$  تشکیل شده است. فرکانس نوسانات از رابطه زیر بدست می آید.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \left( 1 + \frac{r}{2R_e} \times \frac{C_1}{C_1 + C_2} \right)$$

که در آن  $C = \left( \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right)$  و  $r$  مقاومت اهمی القاگر  $L$  است. اگر  $r \ll R_e$  باشد رابطه فوق

بشکل زیر ساده می شود :

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

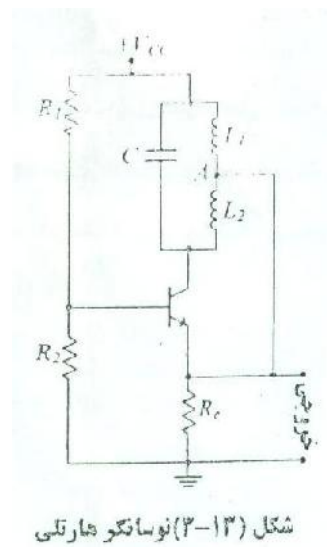


### نوسانگر هارتلی

در این نوسانگر حلقه تشدید از یک خازن و دو القاگر سری  $L_1, L_2$  تشکیل شده است. پس نوسانات از رابطه زیر بدست می آید.

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

که در آن  $L = L_1 + L_2$  است.



### روش آزمایش

نوسانگر کلپتیس را با عناصر مشخص شده در شکل (۱۳-۴) را ترتیب دهید. توجه داشته باشید که تقویت کننده این نوسانگر مدار کلکتور مشترک می باشد.

الف - خروجی مدار را به اسیلوسکوپ وصل کنید. پس از مشاهده شکل موج خروجی فرکانس نوسانات را اندازه بگیرید.

ب - آیا نتیجه با فرکانس محاسبه شده سازگار است؟ علت وجود اختلاف و درصد آن را تعیین کنید.

.....

د - ظرفیت خازن  $C_1$  را مطابق جدول زیر تغییر دهید و فرکانس نوسانات را در هر حالت اندازه بگیرید و با نتیجه بدست آمده مقایسه کنید.

$C_1(pF)$	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۷۰۰	۱۰۰۰۰	۴۷۰۰۰	۱۰۰۰۰۰
F(Hz) اندازه گیری						
F(Hz) محاسبه						

- ضریب خودالقایی القاگر را مطابق جدول زیر تغییر دهید و فرکانس نوسانات را در

هر حالت اندازه گیری و با نتیجه بدست آمده از محاسبه مقایسه کنید.

L(Mh)	۲	۴	۹	۳۵	۵۰۰
F(Hz) اندازه گیری					
F(Hz) محاسبه					

و- شکل موج نقاط C,B را مشاهده و رسم نمایید و اختلاف فاز آن دو را بدست آورید.

سپس با اندازه گیری دامنه ولتاژهای B,C تضعیف مدار فیدبک را محاسبه کنید.

$$\text{تضعیف مدار فیدبک} = \frac{V_C}{V_B}$$

پرسش ۱- نوسانگرهای مورد مطالعه را از نظر موارد استعمال مورد بررسی و مقایسه

قرار دهید.

پرسش ۲- با انتخاب مقادیر مناسب برای  $L, C_1, C_2$  یک نوسانگر کلپتیس با فرکانس ۱۰۰

کیلو هرتز طراحی کنید.

پرسش ۳- مدار یک نوسان ساز کلپتیس را با استفاده از تقویت کننده امیتر مشترک رسم

نمایید.

پرسش ۴- تقویت کننده این نوع نوسانگر در چه کلاسی باید بایاس شود.

پرسش ۵- این نوسانگر برای تولید فرکانس های صوتی مناسب است یا فرکانسهای

رادیویی، چرا؟

