دستور کار

آزمایشگاه الکترونیک ۱

تهیه و تدوین:

گروه مهندسی الکترونیک

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

دانشگاه تبریز



نکات مهم پیش از شروع کار در آزمایشگاه

هدف از آزمایشگاه الکترونیک، تنها بستن مدار و ثبت چند عدد نیست؛ بلکه انتظار می‌رود دانشجو بتواند **رفتار مدار را پیش‌بینی کند، آن را به‌درستی اندازه‌گیری نماید، نتایج تجربی را با تحلیل تئوری مقایسه کند و علت اختلاف‌ها را توضیح دهد.**

رعایت نکات زیر برای استفاده صحیح از تجهیزات، افزایش دقت اندازه‌گیری‌ها و حفظ ایمنی الزامی است.

۱. آمادگی قبل از حضور در آزمایشگاه

- ✓ **نسخه چاپی دستور کار آزمایشگاه الزامی است.**

دانشجویان باید در هر جلسه، نسخه چاپ‌شده دستور کار آزمایش مربوطه را همراه داشته باشند و از آن برای دنبال‌کردن مراحل آزمایش، ثبت داده‌ها، یادداشت نتایج و درج نکات لازم استفاده کنند. استفاده صرف از نسخه الکترونیکی در تلفن همراه یا لپ‌تاپ، جایگزین نسخه چاپی دستور کار نخواهد بود.

پیش از هر جلسه، دستور کار آزمایش را به‌طور کامل مطالعه کنید و هدف آزمایش، مدارها، روابط مورد نیاز و کمیت‌هایی را که باید اندازه‌گیری شوند مشخص نمایید. محاسبات تئوری، طراحی‌های لازم و در صورت نیاز شبیه‌سازی مدار را پیش از ورود به آزمایشگاه انجام دهید. دیتاشیت قطعات مهم را بررسی کرده و پایه‌ها، پلاریته، حدود مجاز ولتاژ، جریان و توان آن‌ها را بشناسید.

در آزمایشگاه، پیش از انجام هر اندازه‌گیری، نتیجه مورد انتظار را بر اساس تحلیل تئوری پیش‌بینی کرده و سپس مقدار اندازه‌گیری‌شده را با آن مقایسه نمایید. این کار به شناسایی خطاهای احتمالی در مدار، اندازه‌گیری یا تحلیل کمک می‌کند.

برای آشنایی با قطعات الکترونیکی موجود در بازار، مشخصات فنی و دسته‌بندی آن‌ها می‌توانید به وب‌سایت‌های زیر مراجعه کنید:

1. www.ickala.com
2. www.partjoo.ir
3. eshop.eca.ir
4. www.jahankitshop.com
5. payacomplex.com
6. javanelec.com

۲. ایمنی و حفاظت از تجهیزات

پیش از روشن‌کردن مدار، اتصالات، مقدار و نوع قطعات، پلاریته المان‌ها و نحوه اتصال منبع تغذیه را به‌دقت کنترل کنید. هرگونه تغییر در سیم‌بندی مدار باید پس از خاموش‌کردن منبع تغذیه انجام شود.

- ✓ پیش از اتصال منبع تغذیه به مدار، مقدار ولتاژ خروجی را تنظیم کرده و در صورت امکان، محدودکننده جریان را متناسب با مدار انتخاب کنید.
- ✓ از اعمال ولتاژ، جریان یا توان بیش از حدود مجاز قطعات خودداری کنید. پیش از استفاده از قطعات، در صورت نیاز مشخصات آن‌ها را از دیتاشیت بررسی نمایید.
- ✓ در استفاده از قطعات پلاریته‌دار مانند خازن‌های الکترولیتی، دیودها و ترانزیستورها، جهت صحیح اتصال پایه‌ها را با دقت بررسی کنید. اتصال نادرست خازن‌های پلاریته‌دار می‌تواند موجب آسیب یا ترکیدن آن‌ها شود.
- ✓ هنگام استفاده از اسیلوسکوپ و سیگنال‌ژنراتور، به نحوه اتصال زمین دستگاه‌ها توجه ویژه داشته باشید. اتصال نادرست زمین می‌تواند موجب اتصال کوتاه مدار یا آسیب به تجهیزات شود.
- ✓ قبل از اتصال پروب اسیلوسکوپ، مولتی‌متر یا سایر تجهیزات اندازه‌گیری، محدوده مناسب اندازه‌گیری، نوع کوپلاژ، ضریب پروب و محل صحیح اتصال را بررسی کنید.
- ✓ برای اندازه‌گیری جریان، آمپرمتر باید به‌صورت سری در مسیر جریان قرار گیرد. از اتصال مستقیم آمپرمتر به دو سر منبع ولتاژ یا یک المان خودداری کنید.
- ✓ از ایجاد اتصال کوتاه در خروجی منبع تغذیه یا سیگنال‌ژنراتور جلوگیری کنید.
- ✓ در صورت مشاهده گرم‌شدن غیرعادی قطعات، بوی سوختگی، صدای غیرطبیعی یا هرگونه عملکرد نامتعارف مدار، بلافاصله منبع تغذیه را خاموش کرده و موضوع را به مدرس یا مسئول آزمایشگاه اطلاع دهید.
- ✓ از جابه‌جایی، بازکردن یا تغییر تنظیمات داخلی تجهیزات آزمایشگاه بدون هماهنگی با مسئول آزمایشگاه خودداری کنید.
- ✓ در صورت عدم اطمینان از نحوه اتصال مدار یا تنظیم یک دستگاه، پیش از روشن‌کردن مدار از مدرس یا مسئول آزمایشگاه سؤال کنید.

نکته مهم:

ابتدا مدار را بررسی کنید، سپس آن را روشن کنید. هرگونه تغییر در مدار را فقط در حالت خاموش انجام دهید. پیش از اتصال پروب اسیلوسکوپ یا مولتی‌متر، محدوده مناسب ولتاژ/جریان و ضریب پروب را انتخاب کنید و در صورت تردید، مدار را روشن نکنید و از مدرس یا مسئول آزمایشگاه سؤال کنید.

۳. نظم و روش صحیح انجام آزمایش

مدار را مرحله‌به‌مرحله و تا حد امکان منظم ببندید؛ سیم‌های تغذیه، زمین، ورودی و خروجی را مشخص و کوتاه نگه دارید. پیش از روشن کردن مدار، اتصالات را یک بار از روی نقشه و یک بار به‌صورت فیزیکی کنترل کنید. از تغییر هم‌زمان چند پارامتر خودداری نمایید؛ در هر مرحله فقط **یک متغیر** را تغییر دهید تا اثر آن قابل تحلیل باشد. مقادیر اندازه‌گیری‌شده را همان لحظه همراه با **واحد، شرایط آزمایش و تنظیمات دستگاه** ثبت کنید. شکل موج‌ها باید با محور زمان، ولتاژ، مقیاس‌ها و نقاط مهم مشخص شوند. پس از پایان آزمایش، منابع را خاموش کرده، سیم‌ها و تجهیزات را مرتب نموده و میز کار را در وضعیت مناسب تحویل دهید.

۴. **دقت در اندازه‌گیری و تحلیل نتایج**

عددی که دستگاه نمایش می‌دهد لزوماً «جواب صحیح» نیست. پیش از پذیرش هر نتیجه، مرتبه بزرگی، علامت، واحد و سازگاری آن با پیش‌بینی تئوری را بررسی کنید. اثر مقاومت داخلی منبع، امپدانس ورودی ابزار اندازه‌گیری، بارگذاری اسیلوسکوپ و مولتی‌متر، تلرانس قطعات و محدودیت پهنای‌باند تجهیزات را در نظر بگیرید. در صورت مشاهده نتیجه غیرمنتظره، ابتدا سیم‌بندی، مقدار قطعات، پلاریته، زمین مشترک و تنظیمات دستگاه را کنترل کنید و سپس به تغییر مدار اقدام نمایید.

۵. **راهنمای تهیه گزارش کار**

گزارش کار باید نشان دهد که دانشجو **آزمایش را فهمیده و نتایج را تحلیل کرده است**، نه اینکه صرفاً مراحل دستور کار را بازنویسی کرده باشد. گزارش هر آزمایش بهتر است شامل:

- ✓ عنوان و هدف آزمایش
- ✓ مدار و مقادیر قطعات
- ✓ محاسبات تئوری
- ✓ روش انجام آزمایش
- ✓ جدول داده‌های اندازه‌گیری‌شده
- ✓ شکل موج‌ها و نمودارها
- ✓ محاسبات مبتنی بر داده‌های تجربی
- ✓ مقایسه نتایج تئوری و عملی
- ✓ تحلیل علت اختلاف‌ها
- ✓ جمع‌بندی نهایی

باشد.

همه نمودارها باید دارای عنوان، نام محور و واحد باشند و نتایج با تعداد رقم معنادار مناسب ارائه شوند. تصاویر اسیلوسکوپ یا شبیه‌سازی می‌توانند به گزارش اضافه شوند، اما **جایگزین تحلیل و توضیح دانشجو نیستند.** در بخش نتیجه‌گیری مشخص کنید از آزمایش چه آموخته‌اید، آیا نتیجه با تئوری سازگار بوده است و مهم‌ترین منبع خطا یا محدودیت آزمایش چه بوده است.

اصل مهم: پیش از اتصال مدار بدانید چه انتظاری دارید؛ هنگام اندازه‌گیری بدانید دستگاه چه چیزی را اندازه می‌گیرد؛ و پس از اندازه‌گیری بتوانید توضیح دهید که چرا نتیجه به‌دست‌آمده منطقی است.

فهرست آزمایش‌ها و زمان پیش‌بینی شده برای انجام آنها

آزمایش اول: آشنایی با دستگاه‌های اندازه‌گیری (یک جلسه)
آزمایش دوم: آشنایی با دیود و کاربرد دیود زنر به عنوان تنظیم کننده ولتاژ (یک جلسه)
آزمایش سوم: کاربردهای دیود یکسوساز (دو جلسه)
آزمایش چهارم: کاربرد دیود در مدارهای شکل دهنده و چند برابر کننده‌های ولتاژ (یک جلسه)
آزمایش پنجم: آشنایی با ترانزیستورهای BJT سیلیکونی و ژرمانیمی (یک جلسه)
آزمایش ششم: منحنی مشخصه ترانزیستور و منحنی‌نگار ترانزیستور (Curve Tracer) (یک جلسه)
آزمایش هفتم: تقویت‌کننده امتیر مشترک (یک جلسه)
آزمایش هشتم: تقویت‌کننده‌های کلکتور مشترک و بیس مشترک (دو جلسه)
آزمایش نهم: تقویت‌کننده‌های زوج دارلینگتون و بوت‌استرپ (دو جلسه)

آزمایش شماره ۱

آشنایی با دستگاه‌های اندازه‌گیری

هدف از این آزمایش آشنایی با دستگاه‌های اندازه‌گیری موجود در آزمایشگاه است. لذا نیاز است ابتدا مشخصات سیگنال‌های الکتریکی را یاد بگیرید. در نتیجه بهتر است قبل از شروع آزمایش به سوال زیر جواب داده شود سپس به آزمایش کردن پرداخته شود.

سوال ۱: ابتدا مشخصه‌های یک سیگنال الکتریکی را بیان کنید. سپس مواردی را که حتماً باید قبل از وصل سیگنال الکتریکی به دستگاه اندازه‌گیری مشاهده و رعایت شوند را توضیح دهید.

۱. با سیگنال ژنراتور یک موج سینوسی با دامنه ۲ولت و با فرکانس $f = 1kHz$ ساخته و مقدار پیک‌تاپیک (V_{P-P}) آن را با اسیلوسکوپ اندازه بگیرید. همچنین با اعمال آن سیگنال به ولتمتر مقدار موثر (V_{rms}) آن را بخوانید. سپس در رابطه زیر مقدار α را بدست آورید.

$$V_{rms}=\alpha \cdot V_{p-p}$$

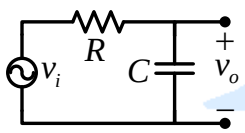
بدون تغییر دامنه (با اسیلوسکوپ ببینید)، فرکانس را از $1kHz$ به $1MHz$ تغییر داده، دوباره با ولتمتر مقدار موثر آن را بخوانید.

سوال ۲: با فرض سینوسی بودن ورودی، در هر دو حالت فوق مقدار تئوری α را محاسبه و با مقدار اندازه‌گیری شده مقایسه کنید.

۲. با اعمال یک ولت آفست DC به سیگنال فوق (توسط سیگنال ژنراتور یا از طریق سری کردن آن با منبع تغذیه DC) دوباره شکل موج خروجی را روی اسیلوسکوپ مشاهده و آن را ترسیم نمائید. مقادیر ولتاژ پیک‌تاپیک (V_{P-P}) و موثر (V_{rms}) آن را به ترتیب با اسیلوسکوپ و ولتمتر اندازه بگیرید. (نکته: در سری کردن سیگنال ژنراتور با منبع تغذیه DC، همواره می‌بایست زمین سیگنال ژنراتور به زمین مدار متصل گردد.)

سوال ۳: مقدار موثر اندازه‌گیری شده را با مقدار تئوری آن مقایسه کنید.

۳. مدار زیر را با $R = 1k\Omega$ ، $C = 0.1\mu F$ ، $v_i = 5Sin\omega t$ و $f = 1kHz$ روی بردبرد ببندید. سپس با استفاده از اسیلوسکوپ مقادیر بهره ولتاژ (گین ولتاژی v_o/v_i) و اختلاف فاز خروجی نسبت به ورودی را در حالت‌های زیر اندازه‌گیری کنید. (در انتخاب کلید Source اسیلوسکوپ دقت نمائید.)



الف: رسم شکل موج خروجی نسبت به ورودی با حفظ رابطه زمانی.

ب: رسم شکل موج خروجی نسبت به ورودی (در مد X-Y و کلید Source اسیلوسکوپ روی کانال X)

سوال ۴: مقدار اختلاف فاز را به صورت تئوری محاسبه و با مقادیر اندازه‌گیری شده از روش‌های فوق مقایسه کنید.

سوال ۵: پیش فاز یا پس‌فاز بودن موج خروجی نسبت به موج ورودی چگونه تعیین می‌شود؟

۴. معمولا مقادیر و خطای مقاومت‌های معمولی با استفاده از کمان‌های رنگی مطابق شکل‌های زیر بیان می‌شوند. ابتدا طرز تعیین مقدار نامی و خطای مقاومت را از روی کمان‌های رنگی بیان نمائید. سپس مقاومت‌های زیر را توسط اهم‌متر اندازه‌گیری کرده و با مقادیر نامی آنها مقایسه کنید.

$R = 56\Omega,\ 470\Omega,\ 2.7k\Omega,\ 39k\Omega,\ 220k\Omega$



نکته: مقاومت‌ها در استانداردهای خاصی از جمله S12 ساخته می‌شوند. مقاومت‌های غیر استاندارد نسبت به مقاومت‌های استاندارد دارای قیمت بالاتری می‌باشند. مقادیر مقاومت‌های استاندارد E12 به صورت زیر می‌باشند.

$$S12 \triangleq (1,\ 1.2,\ 1.5,\ 1.8,\ 2.2,\ 2.7,\ 3.3,\ 3.9,\ 4.7,\ 5.6,\ 6.8,\ 8.2)\times 10^{n}\ ;n=-1,\ 0,\ 1,\ ...,\ 6$$

علاوه بر استاندارد E12 استانداردهای E24، E48، E96 و E192 نیز وجود دارند.

سوال ۶: توان تحملی مقاومت‌های معمولی و مقاومت‌های آجری چگونه تعیین می‌شوند؟

سوال ۷: مقادیر نامی خازنها و سلفها چگونه تعیین می‌شوند؟

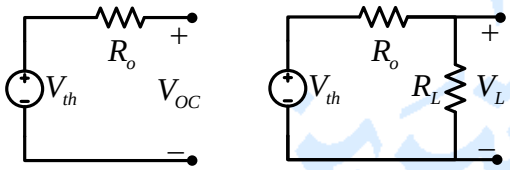
سوال ۸: دلیل متفاوت بودن حجم خازنهای AC و DC با ولتاژ تحملی یکسان چیست؟

سوال ۹: طرز قرار گرفتن خازنهای پلاریته‌دار در بین دو گره از مدار چگونه است؟

نکته: برای جلوگیری از ترکیدن خازنهای پلاریته‌دار باید به محل اتصال پلاریته‌های آنها توجه داشته باشیم.

۵. اندازه‌گیری امپدانس خروجی

برای اندازه‌گیری امپدانس خروجی مدارها، ابتدا با اعمال یک موج سینوسی به مدار، مقدار ولتاژ خروجی را در حالت بی‌باری ($V_{th} = V_{OC}$) اندازه می‌گیرند. سپس با قرار دادن بار R_L در بین خروجی و زمین مدار دوباره مقدار ولتاژ خروجی (V_L) را اندازه گرفته و از رابطه $V_L = V_{th}\dfrac{R_L}{R_o + R_L}$ مقدار مقاومت خروجی را به دست می‌آورند. (نکته: در مدارهایی با عناصر غیرخطی بایستی با اضافه نمودن بار، خروجی در حالت خطی خود باقی بماند.)



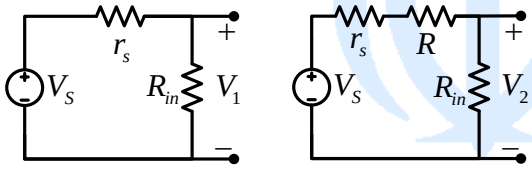
الف- مقاومت خروجی سیگنال ژنراتور را به ازای $V_{th} = 2\,Sin(2\times 10^{3}\pi t)$ و $R_L = 56\Omega (or = 560\Omega)$ اندازه‌گیری کنید.

ب- مقاومت خروجی سیگنال ژنراتور را به ازای $V_{th} = 2\,Sin(2\times 10^{5}\pi t)$ و $R_L = 56\Omega (or = 560\Omega)$ اندازه‌گیری کنید.

۶. اندازه‌گیری امپدانس ورودی

برای اندازه‌گیری امپدانس ورودی مدارها، ابتدا با اعمال یک موج سینوسی به مدار مقدار ولتاژ ورودی (V_1) را اندازه می‌گیرند. سپس با قرار دادن مقاومت R در بین ورودی مدار و سیگنال ژنراتور دوباره مقدار ولتاژ ورودی(V_2) را اندازه گرفته و از رابطه زیر مقدار مقاومت ورودی را به دست می‌آورند. (r_s مقاومت داخلی منبع سیگنال است.)

$$V_2 = V_1 \frac{R_{in}+r_s}{R+R_{in}+r_s} \simeq V_1 \frac{R_{in}}{R+R_{in}}$$



الف- مقاومت ورودی اسیلوسکوپ را به ازای $V_S = 5\,Sin(2\times10^3\pi t)$ و $R = 1M\Omega$ اندازه‌گیری نمائید. (از کوپلاژ DC اسیلوسکوپ استفاده شود.) کوپلاژ را به حالت AC برگردانده و اثر آن را در اسیلوسکوپ مشاهده کنید.

ب- دوباره با تغییرضریب پروب از $1\times$ به $10\times$ مقاومت ورودی اسیلوسکوپ را اندازه‌گیری نمائید. در این حالت نیز اثر تغییر کوپلاژ از DC به AC را در اسیلوسکوپ مشاهده کنید.

ج- مقاومت ورودی اسیلوسکوپ را به ازای $V_S = 5\,Sin(2\times10^5\pi t)$ و $R = 10k\Omega$ اندازه‌گیری نمائید. (از کوپلاژ DC اسیلوسکوپ استفاده شود.) کوپلاژ را به حالت AC برگردانده و اثر آن را در اسیلوسکوپ مشاهده کنید.

د- دوباره با تغییرضریب پروب از $1\times$ به $10\times$ مقاومت ورودی اسیلوسکوپ را اندازه‌گیری نمائید. در این حالت نیز اثر تغییر کوپلاژ از DC به AC را در اسیلوسکوپ مشاهده کنید.

سوال ۱۰: دلیل متفاوت بودن امپدانس ورودی اسیلوسکوپ در دو فرکانس فوق چیست؟

سوال ۱۱: عملکرد کلیدهایSource و Level را در اسیلوسکوپ توضیح دهید.

سوال ۱۲: روش‌های اندازه‌گیری ولتاژ یک المان شناور و جریان یک المان غیرخطی (مثلاً دیود) را با استفاده از اسیلوسکوپ توضیح دهید.

سوال ۱۳: کاربرد دو نوع درجه بندی .Time Div در اسیلوسکوپ را بیان کنید.

سوال ۱۴: آیا عملکرد یک مدار تونن (منبع ولتاژ سری با مقاومت) و نورتن معادل آن (منبع جریان موازی با مقاومت) که به یک خازن یا سلف متصل است یکسان می‌باشد؟ چرا؟

سوال ۱۵: هدف از حافظه‌دار بودن اسیلوسکوپ چیست؟

سول ۱۶: چگونه می‌توان با اسیلوسکوپ دیجیتال از یک سیگنال FFT گرفت؟

سوال ۱۷: چگونه می‌توان در موقع FFT گرفتن با اسیلوسکوپ دقت را افزایش داد؟

سوال ۱۸: فیلتر EMI (Electromagnetic Interference) چیست و به چه دلیل استفاده می‌شود.

سوال ۱۹: استانداردهای کابل‌های تغذیه مدارهای الکترونیکی از جمله J30J-9TJL cable (5–17V DC) را بررسی کرده و خلاصه آن را بیان کنید.

سوال ۲۰: مفاهیم پارامترهای جدول زیر (تفاوت سیگنال ژنراتور و فانکشن ژنراتور) را توضیح دهید.

جدول ۱: تفاوت سیگنال ژنراتور و فانکشن ژنراتور

Feature	Function Generator	Signal Generator
Definition	General-purpose generator for basic test waveforms	Broad category; includes RF, microwave, arbitrary waveform generators
Common Waveforms	Sine, square, triangle, sawtooth, pulse	Typically, sine (RF/microwave), or arbitrary (AWG)
Frequency Range	Hz - few MHz (some go up to tens of MHz)	Hz - GHz (RF/microwave can exceed 40 GHz)
Accuracy & Stability	Moderate	Very high (low phase noise, precise frequency control)
Output Power	Limited (a few volts, ~10–20 Vpp)	Wide range, often calibrated in dBm for RF work
Applications	Basic lab experiments - Testing amplifiers, filters, ADC/DACs - Education	RF/microwave system design - Communication links (transmitter/receiver tests) - Radar, satellite, standards compliance
Cost	Relatively low	Higher, depending on frequency & precision
Flexibility	Versatile in waveform shapes	Versatile in frequency precision and stability

آزمایش شماره ۲

آشنایی با انواع دیودها و کاربرد دیود زنر به عنوان تنظیم کننده ولتاژ

دیودها دارای انواع گوناگونی از جمله دیودهای یکسوساز، شیشه‌ای، زنر، نوری، فرستنده- گیرنده مادون قرمز، تونلی، دیود گان و دیود ورکتور می‌باشند که هر کدام از آنها دارای کاربردهای متفاوتی می‌باشند. در این آزمایش مشخصه‌های استاتیکی و دینامیکی چند دیود و کاربرد دیود زنر به عنوان تثبیت کننده ولتاژ بررسی می‌شوند.

سوال ۱: اصول انتخاب یک دیود برای استفاده در یک مدار را توضیح دهید.

۱. آزمایش دیود با مالتی‌متر

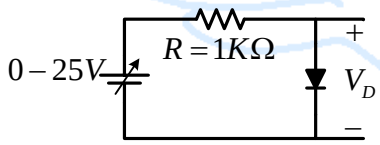
با استفاده از حالت دیودسنجی مالتی‌متر، دیودهای در اختیار را تست و پایه‌های آند و کاتد آنها را تعیین نمائید.

سوال ۲: در شناسایی پایه‌های دیود، عدد نمایش داده شده در مالتی‌متر بیانگر چیست؟ آیا از این اعداد می‌توان جنس دیود را تشخیص داد؟

سوال ۳: آیا می‌توان با اهم‌متر پایه‌های آند، کاتد و جنس دیودها را مشخص نمود. چرا اعداد نشان داده شده در محدوده‌های مختلف اهم‌متر متفاوت است؟

۲. منحنی مشخصه دیود در گرایش موافق به روش نقطه‌یابی

بدست آوردن معادله مشخصه هر المانی، مانند رسم نمودار توابع صورت می‌گیرد. برای بدست آوردن منحنی مشخصه دیود، با تنظیم ولتاژ دو سر آن بر روی اعداد مشخص، مقدار جریان آن را اندازه می‌گیرند. نمودار حاصل از رسم جریان دیود بر حسب ولتاژ آن را منحنی مشخصه دیود می‌نامند. مدار زیر را بسته و با تنظیم ولتاژ دو سر دیود برروی اعداد جدول زیر منحنی مشخصه آن را بدست آورید.



V_D (mV)	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۵۵۰	۵۷۵	۶۰۰	۶۲۵	۶۵۰	۶۷۵	۷۰۰	۷۲۵
I_D (mA)													

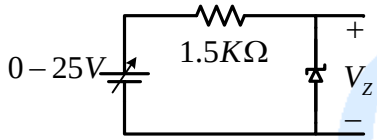
سوال ۴: چگونه می‌توان از روی منحنی مشخصه دیود، مقاومت دینامکی و مقاومت استاتیکی آن را به دست آورد؟

سوال ۵: با استفاده از اعداد جدول فوق مقدار η را در رابطه زیر بدست آورید. (از رابطه ΔV_D استفاده کنید.)

$$V_D = \eta V_T Ln\frac{I_D}{I_S} \Rightarrow \Delta V_D = V_{D2} - V_{D1} = \eta V_T Ln\frac{I_{D2}}{I_{D1}}$$

۳. منحنی مشخصه دیود در گرایش معکوس به روش نقطه‌یابی

در مدار زیر با تنظیم ولتاژ V_D بر روی اعداد جدول زیر و اندازه‌گیری جریان آن، منحنی مشخصه بایاس معکوس دیود زنر ۵.۶ ولتی را ترسیم نمائید.



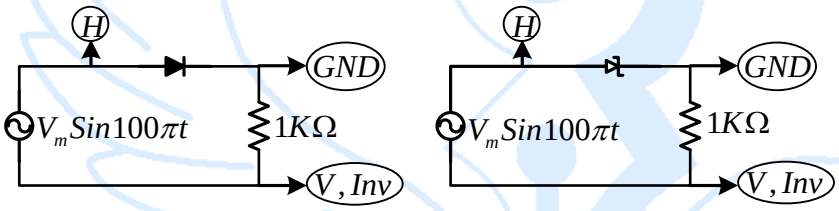
V_Z (V)	۰.۱	۰.۲	۱	۲	۳	۴	۵	۵.۴	۵.۵	۵.۶	۵.۷	۵.۷۵
I_D (mA)												

سوال ۶: انواع شکست در دیودها را بیان نمائید.

سوال ۷: در مدار فوق مقدار مقاومت قرار گرفته در مسیر بر حسب چه معیارهایی انتخاب می‌شود.

۴. به دست آوردن منحنی مشخصه دیودهای یکسوساز و زنر با استفاده از اسیلوسکوپ

برای به دست آوردن منحنی مشخصه دیودها در مدارهای زیر ولتاژ و جریان آن را به ترتیب به محورهای افقی و عمودی اسیلوسکوپ اعمال کرده و در مد X-Y شکل موج را مشاهده می‌کنند. برای اینکه منحنی مشخصه روی صفحهٔ اسیلوسکوپ پیوسته دیده شود باید فرکانس سیگنال ورودی از ۵۰ هرتز بیشتر باشد. شکل سیگنال ورودی می‌تواند سینوسی، دندان‌اره‌ای و یا مثلثی باشد.



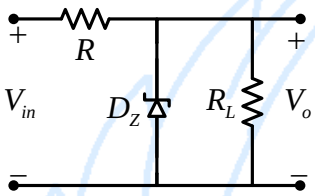
مدارهای فوق را بسته و منحنی مشخصه دیودهای یکسوساز و زنر را بدست آورید. اگر دیود در بایاس مستقیم با منبع ولتاژ V_γ و مقاومت R_f و در بایاس معکوس با منبع ولتاژ V_z و مقاومت R_z معادل‌سازی شود؛ مقادیر V_γ و R_f را برای دیود یکسوساز و مقادیر V_γ، R_f، V_z و R_z را برای دیود زنر به دست آورید.

۵. کاربرد دیود زنر در مدارهای تنظیم کننده ولتاژ

یکی از کاربردهای مهم دیود زنر، تنظیم کردن ولتاژ ریپل‌دار است. مدار زیر یک رگولاتور ولتاژ ساده را نشان می‌دهد. رگولاتور ولتاژ برای تنظیم ولتاژ خروجی (نسبت به تغییرات ولتاژ ورودی با تغییر مقاومت بار در محدوده مشخص) و کاهش ضریب ضربان خروجی بکار می‌رود. برای عمل تنظیم باید دیود در ناحیه زنری قرار گیرد یا به عبارتی $I_{z,\min} \le I_z \le I_{z,\max}$ باشد. $I_{z,\min}$ و $I_{z,\max}$ به ترتیب جریان زانو (جریان به ازای ولتاژ شکست) و حداکثر جریان قابل تحمل در بایاس معکوس می‌باشند. اگر ولتاژ ورودی بین E_1 تا E_2 ($E_2 \succ E_1$) تغییر کند محدوده تغییرات مقاومت بار به ازای مقاومت R مشخص جهت تثبیت ولتاژ در خروجی به صورت زیر تعیین می‌شود.

$$\frac{E_2 - V_{zo}}{R} - \frac{V_{zo}}{R_{L,\max}} \le I_{z,\max} \qquad \text{و} \qquad I_{z,\min} \le \frac{E_1 - V_{zo}}{R} - \frac{V_{zo}}{R_{L,\min}}$$

که در آن V_{zo}، $R_{L,\max}$ و $R_{L,\min}$ به ترتیب ولتاژ شکست زانو، حداکثر و حداقل مقدار مقاومت بار می‌باشند. در معادلات فوق از مقاومت دیود زنر در ناحیه شکست، r_z، صرفنظر شده است. ($V_z = V_{zo} + r_z I_z$)



پارامترهای مربوط به رگولاتورهای ولتاژ را به شرح زیر می‌توان تعریف کرد.

۱) ضریب تثبیت مطلق (Absolute Stabilizing Factor)

$$G = \left.\frac{\Delta V_{PP,in}}{\Delta V_{PP,o}}\right|_{\Delta T=0\,,\ \Delta I_L=0}$$

۲) ضریب تثبیت نسبی (Relative Stabilizing Factor)

$$S = \frac{\Delta V_{PP,in}}{\Delta V_{PP,o}}\frac{V_{o,DC}}{V_{in,DC}} = G\frac{V_{o,DC}}{V_{in,DC}}$$

۳) درصد تنظیم خط یا درصد تنظیم ولتاژ (Line Regulation) یا ضریب تنظیم ورودی (Input Regulation Factor)

$$Line\ regulation\ \ or\ \ S_V = 100 \times \left.\frac{\Delta V_{o,PP}}{\Delta V_{in,PP}}\right|_{\Delta T=0\,,\ \Delta I_L=0}$$

۴) درصد تنظیم بار (Load Regulation)

درصد تغییرات ولتاژ خروجی به ازاء تغییرات جریان بار به شرط ثابت بودن ولتاژ ورودی

$$Load\ regulation = \frac{V_{o,DC,NL} - V_{o,DC,FL}}{V_{o,DC,FL}} \times 100$$

۵) ضریب ضربان (Ripple Factor)

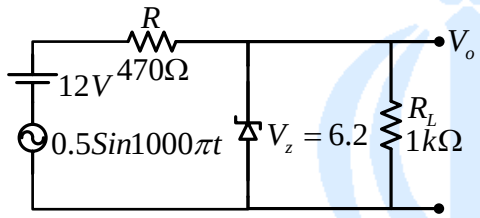
$$R.F. = V_{o,rms-ac} / V_{o,DC} = v_{o,rms} / V_{o,DC}$$

۶) ضریب حذف ضربان (Ripple Rejection Ratio)

$$R.R.R. = v_{r,in} / v_{r,out} \qquad or \qquad R.R.R. = 20\log\left(v_{r,in} / v_{r,out}\right)\ dB$$

در رابطه فوق $v_{r,in}$ و $v_{r,out}$ به ترتیب بیانگر ولتاژ ریپل ورودی و ولتاژ ریپل خروجی است.

الف- در مدار زیر ابتدا محدوده R_L را برای تنظیم شدن ولتاژ خروجی بدست آورید سپس مدار را به ازای $R_L = 1k\Omega$ بسته و ضریب حذف ضربان را اندازه‌گیری نمائید.



سوال ۸: در مدار فوق، با استفاده از مدار معادل دیود زنر، پارامترهای فوق را بر حسب المان‌های مدار محاسبه کرده و با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه کنید.

ب- با اعمال موج مثلثی با سیکل کاری ۳۰٪ و با دامنه قله به قله یک ولت، به جای موج سینوسی آزمایش را تکرار کنید.

ج- فرکانس سیگنال سینوسی ورودی را به $50\,kHz$ افزایش داده و آزمایش اخیر را تکرار کنید.

سوال ۹: حداکثر توان DC و توان AC تلف شده در دیود زنر و مقاومت R چقدر است؟

سوال ۱۰: آیا می‌توان در صورت داشتن ورودی بزرگتر، با سری کردن دو یا چند دیود زنر با ولتاژ شکست نامی یکسان به ولتاژ رگوله شده بزرگتری دست یافت؟ چرا؟

سوال ۱۱: تفاوت تثبیت کننده ولتاژ (Stabilizer) با تنظیم کننده ولتاژ (Regulator) چیست؟

سوال ۱۲: ابتدا کاتالوگ یک تنظیم کننده ولتاژ از جمله LM78xx یا LM317 را دانلود کرده و سپس مفهوم هر یک از مشخصات الکتریکی آن را بیان کنید.

آزمایش شماره ۳

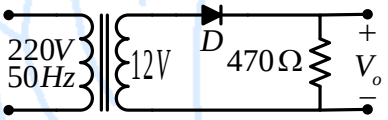
کاربردهای دیود یکسوساز

تبدیل ولتاژ AC به ولتاژ DC خیلی ساده به نظر می‌رسد. اما در توان‌های نسبتاً بالا استفاده از مدارهای یکسوساز معمولی، جریان‌های شدید لحظه‌ای در ورودی ایجاد می‌کند که می‌تواند به عناصر مدار آسیب جدی بزند. همچنین در یکسوسازهایی با توان‌های نسبتاً بالا، اختلاف فاز به وجود آمده در بین جریان و ولتاژ ورودی باعث چشمگیر شدن توان راکتیو می‌گردد. علاوه بر اینها افت ولتاژ ورودی، برای بار ثابت، باعث افزایش جریان ورودی می‌شود که این نیز می‌تواند به عناصر مدار آسیب برساند. از طرفی یکسوسازها باید بتوانند با دو سیستم انتقال قدرت الکتریکی پذیرفته شده جهانی ($220V/50Hz$ و $110V/60Hz$) کار کنند. به همین دلایل باید در یکسوسازهای توان متوسط و توان بالا از مدارهای محافظ جریان ورودی، کنترل ولتاژ ورودی، کنترل ضریب کیفیت ورودی و فیلتر حذف نویز (در صورت تغذیه مدارهای فرکانس بالا با ولتاژ یکسو شده) استفاده شود.

۱. یکسو ساز نیم‌موج (Half wave rectifier)

الف: مدار شکل زیر را بسته و شکل موج ولتاژهای دو سر دیود (V_D) و خروجی (V_o) را با حفظ رابطه زمانی رسم کنید. پارامترهای جدول زیر را اندازه‌گیری و ثبت نمائید. ولتاژ DC از رابطه $V_{o,DC} \simeq V_m - V_r/2 = V_m - I_{DC}/(4fC)$ بدست می‌آید. (توجه: در رسم شکل موج‌ها، بایستی کلید کوپلاژ اسیلوسکوپ در حالت DC باشد.)

ضریب ضربان به صورت زیر تعریف می‌شود. $\gamma = V_{ac}(rms)/V_{dc}$



بازده $\eta = 100\,P_{o,DC}/P_{in,av}$	حداکثر ولتاژ اوج معکوس (PIV) دو سر دیود	ضریب ضربان (RF)	ولتاژ DC خروجی

در مدار فوق به جای ترانس یک سیگنال با دامنه ۷ ولت با فرکانس $40\,kHz$ و به جای مقاومت $470\,\Omega$ یک مقاومت $2.2\,k\Omega$ قرار داده و شکل موج خروجی را مشاهده و درستی/نادرستی عملکرد مدار را با ذکر دلیل بیان کنید.

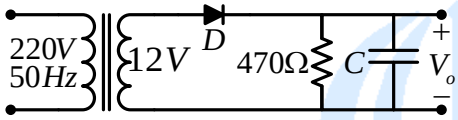
سوال ۱: مقادیر تئوری پارامترهای جدول فوق را محاسبه و با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه کنید.

سوال ۲: در مدار فوق هارمونیک‌های جریان بار را بدست آورده و اثر مولفه DC آن را بر روی اندازه ترانس بیان کنید.

سوال ۳: بیشینه اختلاف بین ولتاژهای ورودی و خروجی در چه زمانی از دوره تناوب رخ می‌دهد. چرا؟

ب: با انتخاب کوپلاژ AC اسیلوسکوپ، شکل موج خروجی مدار را در حالت بی‌باری رسم و توصیف کنید.

ج: مطابق شکل زیر خازن $C = 220\mu F$ را به صورت موازی در خروجی قرار داده و پارامترهای جدول زیر را اندازه‌گیری کنید. شکل موج ولتاژهای دو سر خروجی و دیود را با حفظ رابطه زمانی رسم کنید. (برای جلوگیری از ترکیدن خازنها بایستی به ولتاژ تحملی و محل اتصال پلاریته‌های آنها توجه داشته باشید.)



درصد تنظیم بار	حداکثر ولتاژ اوج معکوس (PIV) دو سر دیود	ضریب ضربان (RF)	ولتاژ ریپل خروجی	ولتاژ DC خروجی

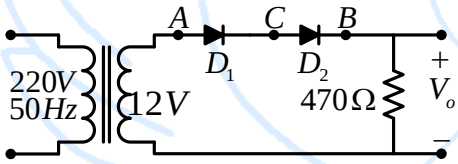
نکته: برای تعیین درصد تنظیم بار ولتاژ بی‌باری و بار کامل ($470\,\Omega$) خروجی را اندازه بگیرید.

د: در مدار فوق مقاومتی برابر 10Ω با کاتد دیود سری کنید. شکل موج جریان دیود (I_D) را مشاهده و بر حسب شکل موج خروجی با حفظ رابطه زمانی ترسیم کنید.

سوال ۴: در مدار فوق حداکثر مقدار جریان دیود را محاسبه و با مقدار اندازه‌گیری شده مقایسه کنید.

سوال ۵: در مدار فوق اثر افزایش مقدار خازن و مقاومت را بر روی حداکثر جریان دیود و ضریب ضربان بیان کنید.

ه: مدار شکل زیر را بسته و شکل موج‌های V_o، V_{AB}، V_{AC} و V_{CB} را با اسیلوسکوپ مشاهده و رسم کنید. همچنین حداکثر ولتاژ اوج معکوس دیودها را اندازه‌گیری کنید.



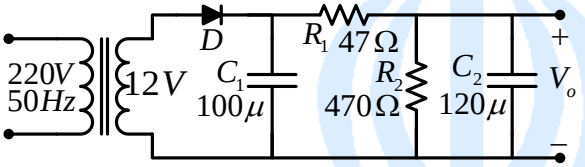
سوال ۶: آیا $V_{AB} = V_{AC} + V_{CB}$ است؟ با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده چگونه این مساله را توصیف می‌کنید؟

سوال ۷: سری یا موازی کردن دیودها در مدارهای یکسوساز به چه منظورهایی به کار می‌روند؟

سوال ۸: چگونه می‌توان حداکثر ولتاژ اوج معکوس دیودها را یکسان نمود؟

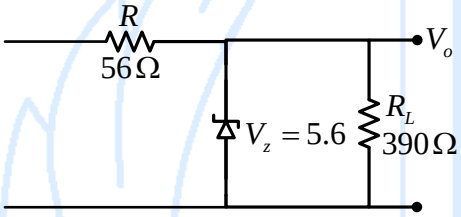
۲. استفاده از صافی π مقاومتی به جای صافی خازنی

برای افزایش در صد تنظیم بار، می‌توان به جای صافی خازنی از صافی π شکلی مطابق زیر استفاده کرد. برای تست این مطلب مدار زیر را بسته و با مشاهده شکل موج خروجی جدول زیر را پر کنید.



درصد تنظیم بار	PIV دیود	ضریب ضربان (RF)	ولتاژ ریپل خروجی	ولتاژ DC خروجی

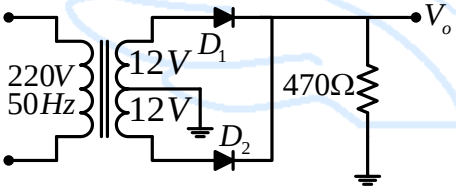
- به جای مقاومت 470Ω مدار زیر را قرار داده، دوباره ضریب ضربان و درصد تنظیم بار را تعیین کنید.



۳. یکسوساز تمام موج

۳-۱. یکسوساز تمام موج با استفاده از ترانسفورماتور سر وسط

الف: مدار زیر را بسته و شکل موج‌های V_{D1} و V_{D2} را با حفظ رابطه زمانی بر حسب V_o مشاهده و رسم کنید.



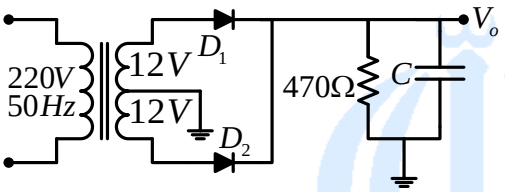
همچنین پارامترهای جدول زیر را اندازه‌گیری و ثبت نمائید.

بازده	D_2 دیود PIV	D_1 دیود PIV	ضریب ضربان (RF)	ولتاژ DC خروجی

سوال ۹: در مدار فوق حداکثر ولتاژ اوج معکوس دیودها را محاسبه و با مقدار اندازه‌گیری شده مقایسه کنید.

سوال ۱۰: در مدار فوق هارمونیک‌های جریان بار را بدست آورده و اثر مولفه DC آن را بر روی اندازه ترانس بیان کنید.

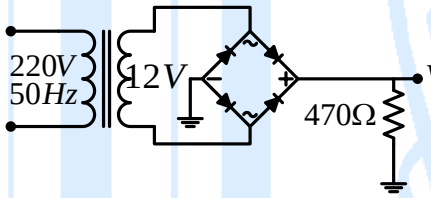
ب: مطابق شکل زیر خازن $C = 220\mu F$ را به صورت موازی در خروجی قرار داده و شکل موج‌های V_{D1} و V_{D2} را با حفظ رابطه زمانی بر حسب V_o مشاهده و رسم کنید. همچنین پارامترهای جدول زیر را اندازه‌گیری کنید.



در صد تنظیم بار	PIV دیود D_2	PIV دیود D_1	ضریب ضربان (RF)	ولتاژ DC خروجی

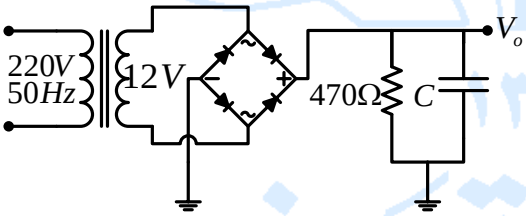
۳-۲. یکسوساز تمام موج پل

الف: مدار شکل زیر را بسته و شکل موج‌های ولتاژ خروجی و ولتاژ دو سر دیود D_1 را مشاهده و ترسیم نمائید. با استفاده از شکل موج دیود، مقدار PIV آن را مشخص کنید.



سوال ۱۱: در مدار فوق حداکثر ولتاژ اوج معکوس دیودها را محاسبه و با مقدار اندازه‌گیری شده مقایسه کنید.

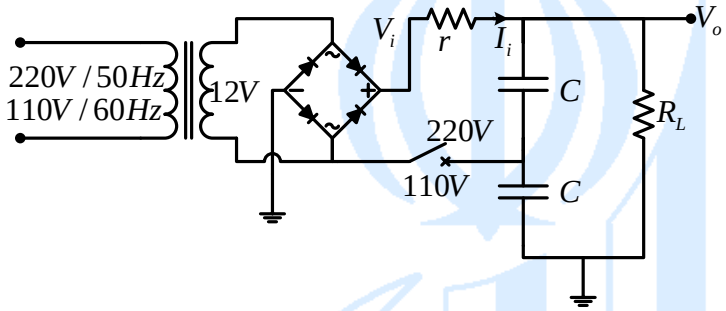
ب: خازن $C = 220\mu F$ را به صورت موازی در خروجی قرار دهید. دوباره شکل موج‌های ولتاژ خروجی و ولتاژ دو سر دیود D_1 را مشاهده و ترسیم نمائید. همچنین پارامترهای جدول زیر را اندازه‌گیری و ثبت نمائید.



بازده	در صد تنظیم بار	PIV دیود D	ضریب ضربان (RF)	ولتاژ DC خروجی

۴. عملکرد یکسوساز با تغییر سیستم انتقال قدرت الکتریکی

همانطوری که بیان شد باید یکسوسازها بتوانند با دو سیستم انتقال قدرت الکتریکی پذیرفته شده جهانی کار کنند. برای ایجاد این توانایی در یکسوسازها، مطابق شکل زیر از مدار دلن (Delon) استفاده می‌کنیم. در این مدار مقاومت r برای نمونه-گیری جریان ورودی استفاده می‌شود.

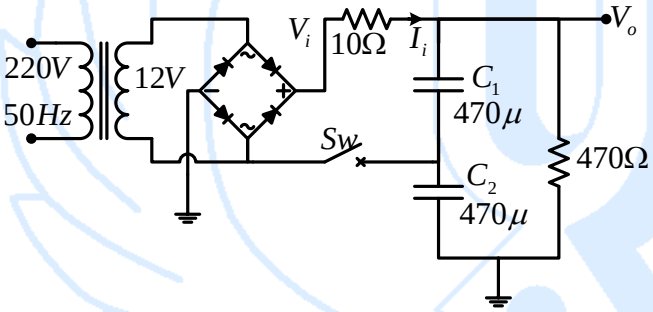


سوال ۱۲: عملکرد مدار فوق را بیان نمائید.

برای تست مطلب فوق مدار زیر را بسته و در دو حالت زیر شکل موج‌های ولتاژ خروجی، ولتاژ ورودی، جریان ورودی را رسم کنید. همچنین مقادیر ولتاژ DC و ریپل خروجی را اندازه‌گیری نمائید.

الف: باز بودن کلید

ب: بسته بودن کلید (به جای کلید از یک سیم استفاده کنید.)

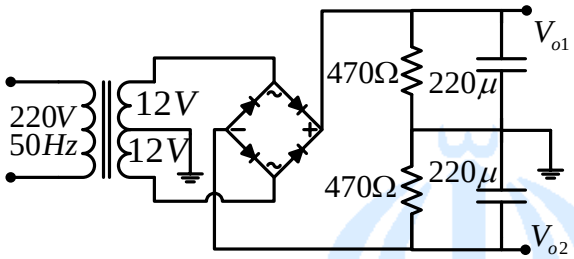


نکته: معمولاً در مدار راه‌انداز لامپ‌های LED برای کاهش حجم ترانس (کاهش هزینه و وزن) یک مقاومت به صورت سری در مسیر ورودی آن قرار می‌دهند تا سیگنال افت داده شده را به ترانس اعمال کنند. البته در راه‌اندازی لامپ‌های LED از منابع تغذیه سوئیچینگ، که کارایی بهتری نسبت به مدارهای فوق دارند، نیز استفاده می‌کنند.

سوال ۱۳: مفهوم thermal runaway در LED چیست؟

۵. ایجاد ولتاژ مثبت و منفی

در خیلی از مدارها علاوه بر ولتاژ مثبت، ولتاژ منفی نیز لازم است. با ترکیب دو مدار یکسوساز تمام موج می‌توان به طور همزمان ولتاژ مثبت ومنفی ایجاد کرد. برای تست این مطلب مدار زیر را بسته و با توصیف عملکرد مدار، شکل موج خروجی‌ها را مشاهده و ترسیم کنید. ولتاژهای V_1، V_2 و ضریب ضربان آنها را اندازه‌گیری کنید.



سوال ۱۴: ابتدا چندین کاربرد برای یکسوسازها نام ببرید. سپس روش کنترل‌دار کردن یکسوسازها را بیان نمائید.

۶. پاسخ مدار دیود و مقاومت سری به پالس مربعی

مدار شکل زیر را بسته و با اعمال موج مربعی با دامنه $\pm 4V$ و فرکانس $100Hz$ به ورودی آن، شکل موج ولتاژ خروجی (V_o) را با حفظ رابطه زمانی بر حسب موج ورودی رسم کنید.



- فرکانس را به $100\,kHz$ افزایش داده و آزمایش فوق را تکرار کنید.
- در فرکانس دامنه سیگنال ورودی را نصف کرده و آزمایش فوق را تکرار کنید.

سوال ۱۵: دلیل صفر نبودن ولتاژ خروجی در نیم سیکل‌های منفی را بیان کنید.

- در فرکانس $100\,kHz$ به جای دیود فوق یک دیود سرعت بالا (مثلاً BY339 یا FES8BT) قرار داده، دوباره آزمایش فوق را تکرار کنید.

سوال ۱۶: چگونه می توان ضریب کیفیت مدار یکسوساز را اندازه‌گیری و در صورت نیاز تصحیح نمود؟

سوال ۱۷: اگر در یکسوساز تمام موج بجای دیودها از ترانزیستور استفاده کنیم چگونه می‌توان آن را کنترل کرد؟

سوال ۱۸: در مدارهای یکسوساز انتخاب ترانس بر حسب چه معیارهایی صورت می‌گیرد؟

پروژه عملی: با استفاده از امکانات آزمایشگاهی یک منبع تغذیه DC طرح کنید که دارای مشخصات زیر باشد.

$V_{o,DC} = 15V$, $I_{L,\max} = 0.5A$, $V_{r-pp} = 0.15V$

پروژه تحقیقاتی ۱: بررسی روش‌های کنترل توان راکتیو (یا کنترل ضریب کیفیت) و کنترل حداکثر جریان ورودی در یکسوسازهای توان متوسط و توان بالا

پروژه تحقیقاتی ۲: بررسی استانداردهای IEEE Std 330 و IEC 61000

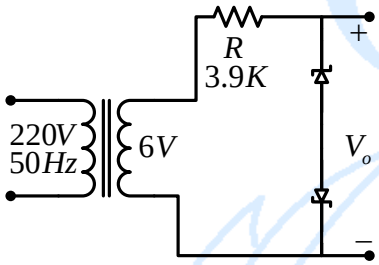
پروژه طراحی و شبیه‌سازی: یک رگولاتور ولتاژی ۱۲ ولتی با قابلیت توان دهی ۱۲ الی ۲۴ وات و حداکثر ریپل ۵٪ با بکارگیری یک ترانس ۱۲ ولتی زراحی و شبیه‌سازی کنید.

آزمایش شماره ۴

کاربرد دیود در مدارهای شکل دهنده و چند برابر کننده‌های ولتاژ

۱. مدارهای شکل دهنده سیگنال ورودی

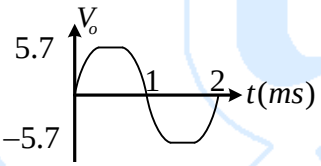
۱-۱. مدار زیر را با دیودهای زنر ۵.۶ ولتی بسته و با استفاده از اسیلوسکوپ شکل موج خروجی را بر حسب موج ورودی در مد X-Y مشاهده و رسم کنید. شکل موج خروجی بر حسب موج ورودی درمد X-Y را منحنی مشخصه یا مشخصه انتقالی مدار می‌نامند.

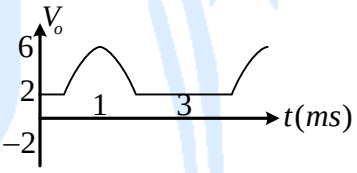


سوال ۱: عملکرد مدار فوق را توضیح دهید؟

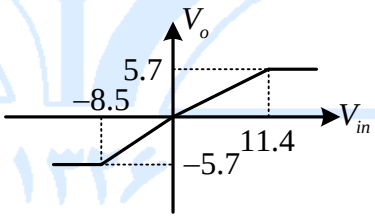
سوال ۲: روشی برای نصف کردن شیب مشخصه انتقالی مدار فوق بیان کنید.

۱-۲. مدارهایی طراحی کنید که موج خروجی آنها به ورودی سینوسی به صورت شکل‌های زیر باشند. مدارهای طراحی شده را بسته و شکل موج خروجی آنها را بر حسب شکل موج ورودی با حفظ رابطه زمانی ترسیم نمائید.





۱-۳. مداری با مشخصه انتقالی بصورت زیر طراحی کنید. مدار را بسته و مشخصه آن را مشاهده و رسم نمائید.

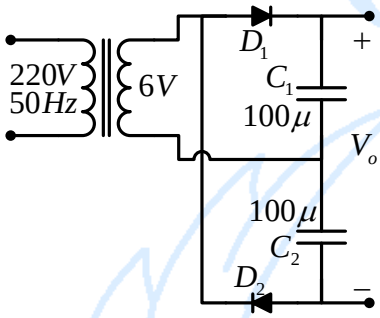


مدارهای دیودی چند برابر کننده ولتاژ

در مدارهای دیودی، چند برابر کردن ولتاژ با شارژ کردن خازن در یک نیم سیکل و دشارژ کردن آن در نیم سیکل بعدی بر روی خازن دیگر انجام می‌گیرد. برای تست این مطلب مدارهای زیر بسته و تست نمائید. برای جلوگیری از ترکیدن خازنها، قبل از بستن مدارها پلاریته آنها را تعیین کرده و به تائید برسانید.

۲. دو برابر کننده ولتاژ

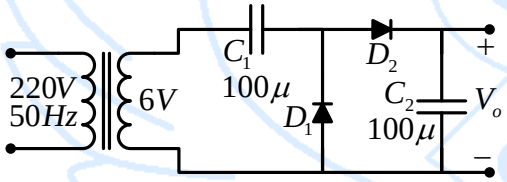
الف: مدار زیر را بسته و ولتاژ خروجی آن را مشاهده و رسم کنید. این ولتاژ چند برابر دامنه ولتاژ ورودی است؟



– مقاومت $R=3.9K\Omega$ را به عنوان بار در خروجی قرار داده، دوباره شکل موج خروجی را رسم کنید.

سوال ۳: مقدار موج ریپل خروجی را برای مقاومت $R=3.9K\Omega$ محاسبه و با مقدار اندازه‌گیری شده مقایسه کنید.

ب: مدار زیر را بسته و ولتاژ خروجی آن را مشاهده و رسم کنید. این ولتاژ چند برابر دامنه ولتاژ ورودی است؟



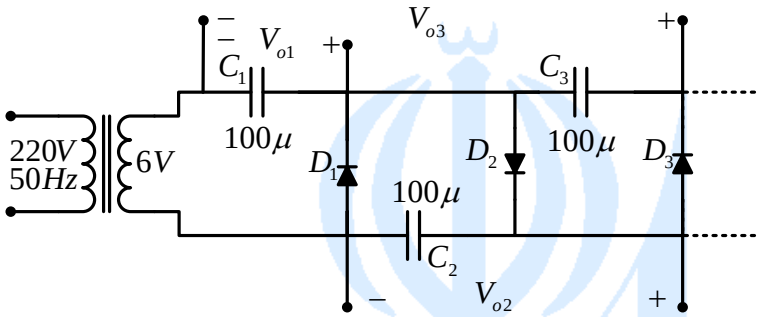
– مقاومت $R=3.9K\Omega$ را به عنوان بار در خروجی قرار داده، دوباره شکل موج خروجی را رسم کنید.

سوال ۴: عملکرد مدارهای دو برابر کننده ولتاژ را توضیح دهید.

سوال ۵: دو مدار فوق را از نظر ولتاژ ریپل خروجی، فرکانس موج ریپل، ولتاژ خازن‌ها و PIV دیودها مقایسه کنید.

۳. چند برابر کننده ولتاژ

مدار زیر را بعد از تعیین پلاریته خازن‌های آن بسته و ولتاژ دو سر خازن‌ها را اندازه‌گیری کنید.

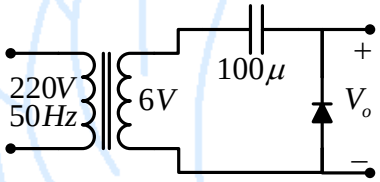


مقاومت $3.9K\Omega$ را به عنوان بار در یکی از خروجی‌ها (در V_{o2}) قرار داده و شکل موج دو سر آن را مشاهده و رسم کنید. دامنه و فرکانس موج ریپل خروجی را اندازه‌گیری کنید.

سوال ۶: چگونه می‌توان آسیب دیدن بردهای الکترونیکی را در برابر اتصال اشتباهی پلاریته‌های تغذیه حفاظت کرد.

سوال ۷: چگونه می‌توان آسیب دیدن بردهای الکترونیکی را در برابر زیاد بودن ولتاژ تغذیه حفاظت کرد.

۴. مدار زیر (مدار کلمپ سطح صفر) را بسته و شکل موج ولتاژ خروجی و ولتاژ دو سر خازن را رسم و توصیف کنید.



سوال ۸: با تعویض جهت دیود و پلاریته خازن در مدار فوق شکل موج خروجی چه تغییری می‌کند.

سوال ۹: مدار داخلی یک آداپتور با قابلیت کنترل ولتاژ و جریان را از اینترنت دانلود کرده و عملکرد آن را تشریح کنید. (به مدار کنترل کننده ولتاژ و جریان خروجی بیشتر توجه کنید.)

سوال ۱۰: کاتالوگ آی‌سی TLC6C5712 را دانلود و کاربرد آن را بیان کنید.

سوال ۱۲: روش‌های درایو (راه اندازی) و کنترل روشنایی چراغ‌های LED چگونه صورت می‌گیرد.

راهنمایی: راه اندازی چراغ‌های LED به صورت ولتاژ ثابت (constant voltage, CV) یا جریان ثابت (constant current, CC) صورت می‌گیرد. همچنین از آنجایی که روشنایی چراغ‌های LED متناسب با I_F آنهاست، لذا می‌توان از تنظیم شدت جریان به صورت آنالوگ و یا مدولاسیون عرض پالس (PWM)، روشنایی LED را تنظیم کرد.

آزمایش شماره ۵

آشنایی با ترانزیستور

تعیین پایه‌های ترانزیستور با استفاده از مالتی‌متر

ساختار ترانزیستورهای BJT[1] به شکل سمبولیک مانند دو دیود پشت به پشت می‌باشد، در نتیجه به راحتی می‌توان با استفاده از یک مالتی‌متر وضعیت پایه‌ها و جنس آن را تشخیص داد. برای افزایش β ترانزیستورها، در هنگام ساخت همواره سطح امیتر- بیس را کوچکتر از سطح بیس- کلکتور و عمق بیس را کمتر انتخاب می‌کنند. همچنین امیتر را بیشتر از بیس و بیس را بیشتر از کلکتور نفوذ می‌دهند. در نتیجه در حالت سنجش دیود با اهم‌متر، مقاومت اهمی امیتر- بیس بزرگتر از مقاومت اهمی بیس- کلکتور خواهد بود. و در سنجش با حالت دیودی مالتی‌متر، عدد نشان داده شده برای دیود بیس- امیتر نسبت به دیود بیس- کلکتور بیشتر می‌باشد. بنابراین نمی‌توان سرهای امیتر و کلکتور را به جای هم استفاده نمود. در ترانزیستورهای BJT، کاهش عمق بیس باعث کاهش ولتاژهای شکست بیس – امیتر، کلکتور – بیس و کلکتور – امیتر می‌گردد. ترانزیستور از روی لامپ خلاء در سال ۱۹۴۷ توسط ویلیام شاتکی و دانشجویانش در آمریکا- آزمایشگاه بل اختراع شد. بعد اولین بار دو برادر ژاپنی آن را گرفتند و رادیو ساختند (شرکت سونی درست شد.). لامپ خلاء در سال ۱۹۰۷ پیشنهاد و تا سال ۱۹۱۲ کاملتر شد.



۱. تشخیص پایه‌ها، نوع و جنس ترانزیستورها به وسیله مالتی‌متر

به وسیله مالتی‌متر، پایه‌ها، نوع (NPN,PNP) و جنس (سیلیکون، ژرمانیوم) ترانزیستورهای در اختیار را تشخیص داده و اعداد نشان داده شده برای هر کدام از اتصالات دیودی آنها را بنویسید.

سوال ۱: آیا می‌توان با قرار دادن دو تا دیود به صورت پشت به پشت یک ترانزیستور ساخت؟ چرا؟

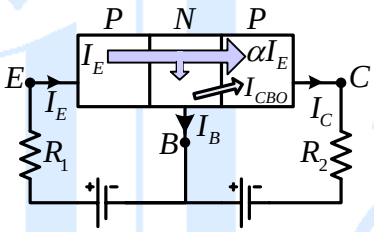
سوال ۲: چگونه می‌توان BJT، CMOS، JFET و UJT بودن یک المان ترانزیستوری را با مالتی‌متر تعیین نمود. آیا می‌توان نوع (NPN، PNP، NMOS، PMOS، NFET، PFET، N-channel یا P-channel) آنها را تشخیص داد؟

[1] Bipolar Junction Transistor (BJT)

عملکرد و پارامترهای ترانزیستور BJT

عملکرد ترانزیستور BJT: در این ترانزیستورها با بایاس مستقیم شدن دیود بیس- امیتر، حامل‌های الکتریکی از امیتر به بیس و از بیس به امیتر ریخته می‌شود. ولی به خاطر کم بودن ناخالصی بیس نسبت به امیتر می‌توان از حامل‌های ریخته شده به امیتر صرفنظر نمود. مقدار کمی از حاملهای ریخته شده به بیس در بیس جذب شده و قسمت اعظم آن توسط میدان الکتریکی حاصل از بایاس معکوس کلکتور- بیس وارد کلکتور می‌گردد. این کسر از جریان امتیر را با α (عددی نزدیک به ۱) نشان می‌دهند. بنابراین جریانی به مقدار $(1-\alpha)I_E$ وارد بیس می‌شود. نسبت این دو جریان را با β نشان داده و به آن ضریب تقویت جریانی ترانزیستور می‌گویند.

$$\beta = \frac{\alpha I_E}{(1-\alpha)I_E} \Rightarrow \beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$



با استفاده از شکل فوق می‌توان نوشت:

$$I_E = I_C + I_B \qquad \text{و} \qquad I_C = \alpha I_E + I_{CBO}$$

که I_{CBO} جریان اشباع معکوس دیودکلکتور- بیس می‌باشد. با حذف I_E از روابط اخیر، مقدار I_C به صورت زیر به دست می‌آید:

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

از رابطه فوق دیده می‌شود علاوه بر اینکه جریان کلکتور به جریان بیس بستگی دارد به پارامترهای ترانزیستور (β و I_{CBO}) نیز بستگی دارد. لازم به ذکر است که β مقدار ثابتی نبوده و به نقطه کار ترانزیستور(I_C, V_{CE}) بستگی دارد. اصولاً I_{CBO} به جنس ترانزیستور و دمای آن وابسته است. معمولاً در دمای محیط این جریان برای ترانزیستورهای ژرمانیوم در رنج µA و برای ترانزیستورهای سیلیکونی در رنج nA است. بنابراین می‌توان رابطه اخیر را برای جریان‌های کلکتور در حد mA، به صورت $I_C \simeq \beta I_B$ نوشت.

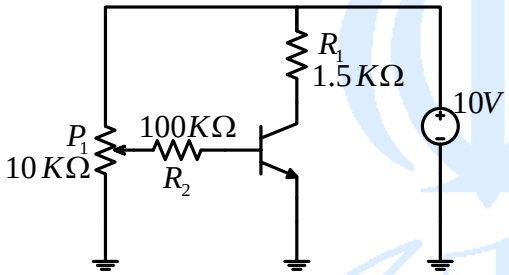
چند پارامتر مهم دیگر ترانزیستور BJT عبارتند از:

- $(V_{CBO})_{MAX}$: ماکزیمم ولتاژ قابل اعمال به کلکتور- بیس (در بایاس مخالف) در حالتی که امیتر باز است.
- $(V_{CEO})_{MAX}$: ماکزیمم ولتاژ قابل اعمال به کلکتور- امیتر (در بایاس مخالف) در حالتی که بیس باز است.
- $(V_{EBO})_{MAX}$: ماکزیمم ولتاژ قابل اعمال به بیس- امتیر (در بایاس مخالف) در حالتی که کلکتور باز است.
- $(T_J)_{MAX}$: ماکزیمم درجه حرارتی که اتصال ترانزیستور تحمل می‌کند.
- (I_{CES}): جریان کلکتور در حالتی که امتیر و بیس اتصال کوتاه شده باشند.
- (I_{BEO}): جریان بیس به امیتر در حالتی که کلکتور باز است.
- (I_{CBO}): جریان کلکتور به بیس در حالتی که امیتر باز است.
- (I_{CEO}): جریان کلکتور به امیتر در حالتی که بیس باز است. $I_{CEO} = (1+\beta) I_{CBO}$

سوال ۳: از کاتالوگ ترانزیستورهای BC107A، 2N3019 و 2N3055 مقادیر پارامترهای فوق را برای آنها بیان کنید.

۲. تغییرات β ترانزیستور با تغییر نقطه کار آن:

همانطور که بیان شد β ترانزیستور به نقطه کار (I_C, V_{CE}) آن بستگی دارد. برای مشاهده این مطلب در مدار زیر با تغییر پتانسیومتر مقدار V_{CE} را تنظیم کرده و پارامترهای جدول را کامل کنید. با تغییر پتانسیومتر R مرز اشباع و اشباع کامل را برای ترانزیستور به دست آورید. (در صورت لزوم مقاومت $100K\Omega$ را کاهش دهید.)



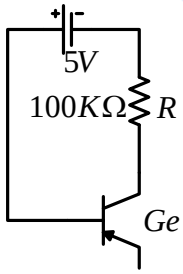
V_{CE}	حداقل مقدار	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۲	۵	۸	۱۰
I_C									
I_B									
$\beta = I_C / I_B$									
ناحیه کاری ترانزیستور									

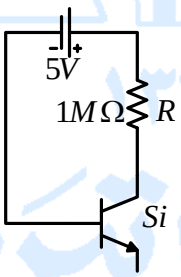
برای حالت $V_{CE} = 5V$، ترانزیستورها را با هویه گرم کرده و اثر افزایش دما را بر روی β بیان نمائید.

سوال ۴: در آزمایش فوق طرز تغییرات β را بر حسب تغییرات I_C بیان و رسم کنید؟

۳. اندازه‌گیری جریان I_{CBO} ترانزیستورها

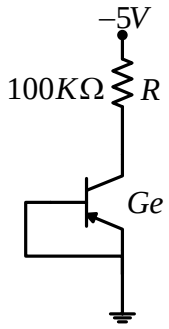
در مدارهای زیر مقادیر و جهت جریان I_{CBO} ترانزیستورها را اندازه‌گیری کنید. سپس با هویه ترانزیستورها را گرم کرده و اثر افزایش دما را بر روی جریان I_{CBO} بیان نمائید. $(I_{CBO,T_2} = I_{CBO,T_1} \times 2^{0.1(T_2 - T_1)})$

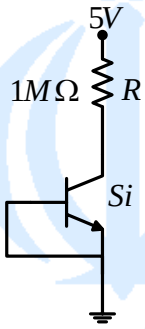




۴. اندازه‌گیری جریان I_{CES} ترانزیستورها

الف: در مدارهای زیر جریان I_{CES} ترانزیستورها را اندازه‌گیری کنید. سپس با هویه ترانزیستورها را گرم کرده و اثر افزایش دما را بر روی جریان I_{CES} بیان نمائید.





سوال ۵ : در مدارهای فوق I_C چگونه به وجود می‌آید؟

سوال۶: چگونه میتوان ترانزیستور ژرمانیومی را به قطع برد؟(Cut off)

ب: مدار بیس را باز کرده، دوباره مقادیر I_C (I_{CEO}) ترانزیستورها را اندازه‌گیری کنید.

سوال ۷: در حالت بیس- باز چه تغییری در I_C ترانزیستورها پدید آمده است؟ علت را شرح دهید.

سوال ۸: برای ترانزیستور سیلیکونی مقادیر I_{CBO}، I_{CEO} و I_{CES} را مقایسه کنید.

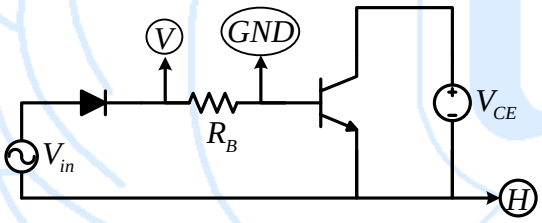
آزمایش شماره ۶

منحنی نگار ترانزیستور (Curve Tracer)

در آزمایش دوم به دو روش منحنی مشخصه دیود را بدست آوردید. اولی به طریق نقطه‌یابی (تنظیم ولتاژ دو سر دیود و اندازه-گیری جریان آن) و دومی به کمک مد X-Y اسیلوسکوپ (اعمال یک منبع ولتاژ متغییر مثلاً سینوسی به یک مدار دیود-مقاومت سری و دیدن جریان دیود بر حسب ولتاژ آن) می‌باشند. چون اسیلوسکوپ نمی‌تواند جریان را نشان دهد لذا جهت تبدیل جریان دیود (المان غیر خطی) به ولتاژ، از مقاومتی به صورت سری با آن استفاده می‌شود. برای بدست آوردن منحنی مشخصه ترانزیستور، $I_C = F(I_B, V_{CE})$، نیز می‌توان به همین روش‌ها عمل کرد. با این تفاوت که، چون جریان کلکتور، I_C، تابعی از جریان بیس، I_B، و ولتاژ کلکتور- امیتر، V_{CE}، است لذا ابتدا بایستی یکی از آنها را تثبیت نمود و سپس با تنظیم دیگری جریان کلکتور را اندازه گرفت. عموماً با استفاده از بایاس ثابت، I_B را تثبیت کرده و تغییرات I_C بر حسب تغییرات V_{CE} اندازه‌گیری می‌شود.

۱.منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور BJT ($I_B = F(V_{BE})\big|_{V_{CE}=cte}$):

نمودار جریان بیس، I_B، بر حسب تغییرات ولتاژ بیس- امیتر، V_{BE}، در حالتی که ولتاژ کلکتور امیتر، V_{CE}، ثابت است را منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور می‌نامند. بعد از بستن مدار زیر ابتدا ولتاژ دو سر R_b و V_{BE} را به طور همزمان (I_B بر حسب V_{BE} با حفظ رابطه زمانی) ببینید سپس با استفاده از مد XY اسیلوسکوپ مشخصه ورودی ترانزیستورNPN را مشاهده و رسم کنید. ($V_{in} = 10Sin100\pi t$، $V_{CE} = 6V$ و $R_B = 68k\Omega$)



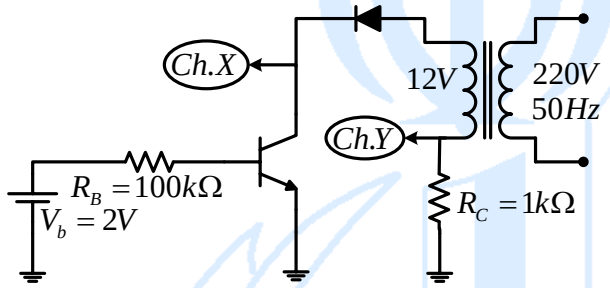
نکته: برای بدست آوردن منحنی مشخصه ورودی ترانزیستورPNP، جهت‌های باطری و دیود عوض می‌شوند.

سوال ۱: دلیل استفاده از دیود در مدار فوق (به نوعی سری با دیود بیس- امیتر) را بیان کنید.

سوال ۲: از روی منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور ولتاژ آستانه هدایت دیود بیس- امیتر را به دست آورید.

۲. منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور BJT ($I_C = F(V_{CE})\big|_{I_B=cte}$):

نمودار جریان کلکتور، I_C، برحسب تغییرات ولتاژ کلکتور- امتیر، V_{CE}، در حالتی که جریان بیس، I_B، ثابت است را منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور می‌نامند. با استفاده از مدار زیر منحنی مشخصه خروجی ترانزیستورNPN را روی اسیلوسکوپ مشاهده و رسم کنید. در این مدار دیود برای یکسوسازی، جهت ایجاد موج مثبت به کلکتور- امیتر ترانزیستور NPN استفاده شده است.

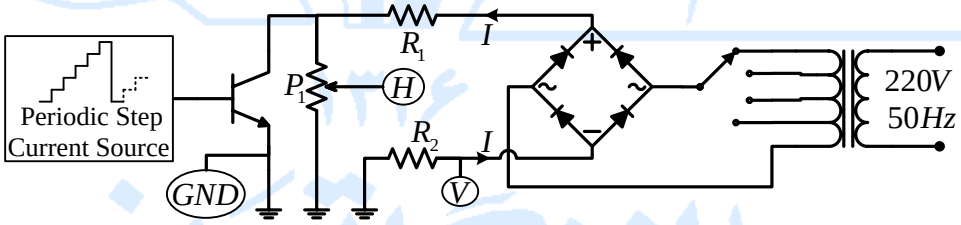


$$(I_C = I_S(e^{\frac{V_{BE}}{\eta V_T}} - 1)(1 + \frac{V_{CE}}{V_A}))$$

سوال ۳: از روی منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور مقدار β آن را به ازای $V_{CE} = 3V$ به دست آورید.

منحنی‌نگار یا Curve Tracer:

منحنی‌نگار ترانزیستور دستگاهی است که مدارات فوق به طور کاملتر در داخل آن تعبیه شده است و برای بدست آوردن منحنی مشخصه دیود یا ترانزیستور احتیاجی به بستن مدار بیرونی وجود ندارد. بلکه فقط المان (ترانزیستور و دیود) و اسیلوسکوپ را به آن وصل می‌کنند؛ بعد با انتخاب مناسب کلیدها، منحنی مشخصه ترانزیستور بر روی اسیلوسکوپ دیده می‌شود. همچنین در این دستگاه به جای یکسوساز نیم موج از یکسوساز تمام موج استفاده شده است لذا قابلیت تغییر پلاریته دارد. معمولاً اکثر پارامترهای ترانزیستور، از روی منحنی مشخصه خروجی آن، به ازای I_Bهای (V_{Gs}های) مختلف، بدست می‌آیند. دستگاه Curve Tracer قابلیت اعمال جریان پله‌ای به بیس (ولتاژ پله‌ای به گیت- سورس) ترانزیستور را دارد. در نتیجه به طور هم زمان چند منحنی بر روی اسیلوسکوپ دیده می‌شوند. می‌توان مدار داخلی دستگاه Curve Tracer را به صورت شکل زیر معادل‌سازی کرد.



در این دستگاه به جای اینکه V_{CE} را مستقیماً به انحراف افقی بدهند. این کار از طریق یک پتانسیومتر انجام می‌گیرد. لذا می‌توان با آن طول انحراف افقی را تغییر داد. دستگاه منحنی نگار LTC 905 (LEADER) دارای دکمه‌ها و اتصالاتی مطابق شکل زیر است؛ که عبارتند از:



دستگاه منحنی نگار LTC 905 (LEADER)

۱- کلید روشن و خاموش، ۲- لامپ نشان دهنده روشن بودن دستگاه،
۳- کلید پلاریته برای انتخاب پلارتیه مناسب ولتاژ، ۴- ترمینال، برای اتصال به انحراف عمودی اسیلوسکوپ،
۵- ترمینال، برای اتصال به انحراف افقی اسیلوسکوپ، ۶- ترمینال، برای اعمال بایاس از خارج به ترانزیستور،
۷- انتخاب‌گر مقدار پله جریان و اختلاف دو پله مجاور، ۸- محل اتصال المان مورد آزمایش با استفاده از سیم‌رابط،
۹- محل اتصال المان مورد آزمایشی با پایه‌های سوزنی، ۱۰- انتخاب‌گر اتصال سمت چپ یا راست،
۱۱- انتخاب‌گر نوع المان (NPN یا PNP، NMOS یا PMOS، NFET یا PFET، دیود بایاس مستقیم یا معکوس)،
۱۲- انتخاب‌گر مقدار ولتاژ متغییر اعمالی به کلکتور- امتیر (درین- سورس) ترانزیستور،
۱۳- پتانسیومتر کنترل کننده طول محور افقی،
۱۴- محدود کننده جریان با استفاده از مقاومت؛ این دکمه برای المانهایی کم قدرت و پر قدرت بایستی به ترتیب روی Signal ($R_1 = 100\Omega$) و Power ($R_1 = 10\Omega$) قرار گیرد.

۳. بدست آوردن منحنی مشخصه دیود با استفاده از Curve Tracer

ابتدا منحنی‌نگار را روشن کرده و پتانسیومتر کنترل کننده طول محور افقی (V_{Sweep}) و دکمه محدود کننده جریان آن را به ترتیب روی ۱۰ولت و Signal قرار داده و به اسیلوسکوپ متصل نمائید. همچنین مقیاس محورهای افقی و عمودی اسیلوسکوپ را به ترتیب برابر با $1^{V}/_{Cm}$ و $0.1^{V}/_{Cm}$ مندرج کنید. سپس دیودهای در اختیار را در محل اتصال المان دستگاه منحنی‌نگار (اتصالات ۷ یا۸) قرار داده و منحنی مشخصه آنها را در گرایش موافق و مخالف به طور دقیق در صفحه اسیلوسکوپ مشاهده و رسم نمائید.

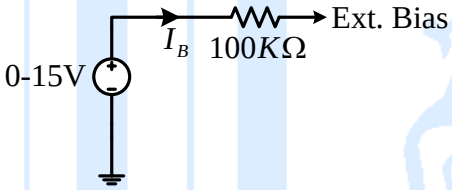
سوال ۴: از روی منحنی مشخصه دیودها ولتاژ آستانه هدایت (V_γ)، ولتاژ شکست (V_Z)، مقاومت بایاس مستقیم (R_f) و مقاومت بایاس معکوس (R_Z) آنها را به دست آورید.

۴. بدست آوردن منحنی مشخصه‌های ترانزیستور BJT با استفاده از Curve Tracer

الف: دو تا ترانزیستورهای BJT در اختیار را بر روی منحنی نگار قرار داده و با انتخاب $V_{Sweep}=10$ و $I_{Step}=10\mu A$، ابتدا منحنی مشخصه ورودی و خروجی آنها را مشاهده و به طور دقیق رسم کنید. سپس یک نقطه کار دلخواه در روی منحنی مشخصه آنها انتخاب کرده و مقادیر β، h_{fe}، h_{oe} و V_A را بدست آورید.
با تغییر $V_{Sweep}=20V$ و $I_{Step}=20\mu A$، منحنی مشخصه یکی از ترانزیستورها را دوباره به طور دقیق رسم کنید. ترانزیستورها را با هویه گرم کرده و اثر افزایش دما را بر روی منحنی مشخصه آن بیان نمائید.

سوال ۵: چگونه می‌توان از روی منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور مقدار h_{ie} را بدست آورد.

ب: با استفاده از مدار زیر، جریانی برابر با 25µA به بیس ترانزیستور Si اعمال کرده و منحنی مشخصه آن را رسم کنید. مقادیر β و h_{oe} را با ازای $V_{CE}=5V$ بدست آورید.



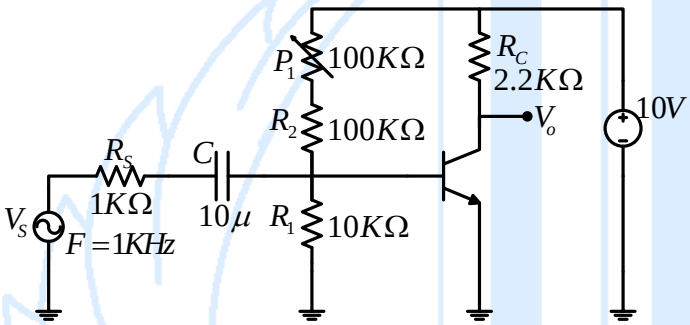
آزمایش شماره ۷

تقویت کننده امتیر مشترک

۱. اثر نقطه کار ترانزیستور بر روی دامنه سیگنال خروجی

مدار زیر را بسته و سپس با تغییر پتانسیومتر P_1 ولتاژ کلکتور- امیتر را بر روی هر یک از اعداد جدول زیر تنظیم کرده و در هر بار بعد از تنظیم ولتاژ کلکتور- امیتر با اعمال سیگنال (سیگنال ژنراتور را روشن کنید) به مدار، حداکثر دامنه خروجی تقریباً بدون اعوجاج را توسط اسیلوسکوپ مشاهده و اندازه‌گیری نمائید.

V_{CE}	حداقل مقدار	۲	۵	۸	۱۰
v_{o-pp}					
حالت ترانزیستور					



- برای حالت $V_{CE}=5V$ ترانزیستور را با هویه گرم کرده و اثر افزایش دما را بر روی نقطه کار ترانزیستور و شکل موج خروجی بیان نمائید.

سوال ۱: برای $V_{CE}=5V$ اثر افزایش هر کدام از پارامترهای V_{cc}، R_C و R_2 را بر روی نقطه کار ترانزیستور بیان کنید.

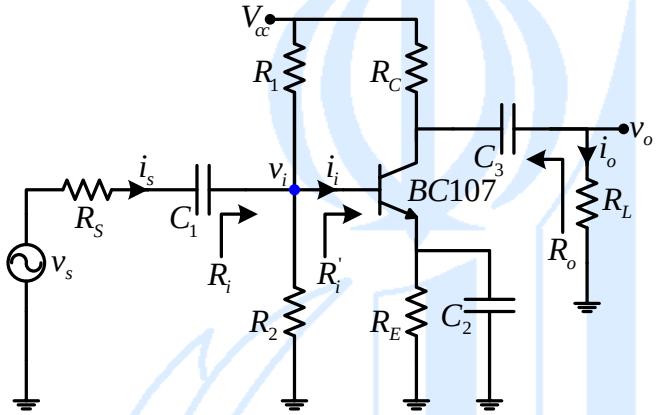
سوال ۲: اگر در مدار فوق ترانزیستور در ناحیه فعال باشد افزودن مقاومت $R=100\Omega$ در امیتر، نقطه کار را به سمت قطع می‌برود یا اشباع؟ چرا؟

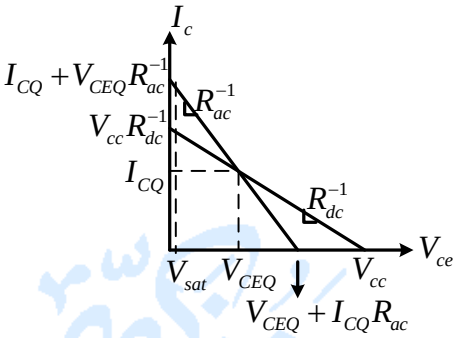
نقطه کار بهینه برای داشتن حداکثر نوسان در خروجی تقویت کننده امیتر مشترک:

در تقویت کننده امتیر مشترک زیر می‌توان خط بارهای DC و AC را به صورت زیر نوشت:

$$\textbf{DC: } V_{cc} = (R_C + R_E)I_{CQ} + V_{CEQ} \triangleq R_{dc}I_{CQ} + V_{CEQ} \qquad \textbf{AC: } v_{ce} = -(R_C \| R_L)i_c \triangleq -R_{ac}i_c$$

در رابطه فوق R_{dc} و R_{ac} به ترتیب مجموع مقاومت‌های حلقه خروجی در حالت DC و AC می‌باشند.



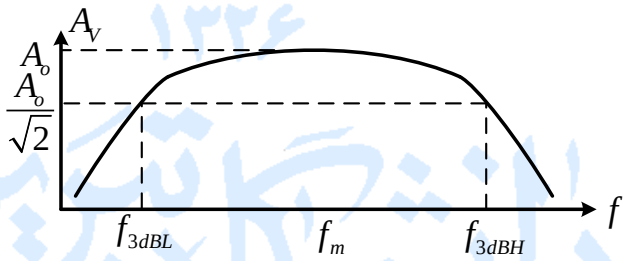


با انتخاب نقطه کار در وسط خط بار AC ($I_{CQ} = \frac{I_{CQ} + [V_{CEQ} - V_{sat}]R_{ac}^{-1}}{2}$ و $V_{CEQ} = \frac{V_{CEQ} - R_{ac}I_{CQ} + V_{sat}}{2}$ حداکثر دامنه نوسان بدون اعوجاج در خروجی ($v_{o,\max} = \min[R_{ac}I_{CQ}\ ,\ (V_{CEQ} - V_{sat})]$) ایجاد می‌گردد. به راحتی می‌توان نشان داد که نقطه کار بهینه برای داشتن حداکثر نوسان بدون اعوجاج در خروجی از روابط زیر بدست می‌آید.

$$V_{CEQ} = R_{ac}I_{CQ} + V_{sat} \qquad \text{و} \qquad I_{CQ} = \frac{V_{cc} - V_{sat}}{R_{dc} + R_{ac}}$$

پاسخ فرکانسی تقویت کننده‌های ولتاژ:

خازن‌های کوپلاژ و بای‌پس در فرکانس‌های پایین و خازن‌های داخلی ترانزیستور در فرکانس‌های بالا باعث افت بهره ولتاژ تقویت کننده‌ها می‌گردند. منحنی حاصل از رسم بهره ولتاژ تقویت کننده در حوزه فرکانس را پاسخ فرکانسی می‌گویند. سه نقطه مهم این منحنی، فرکانس میانی (f_m)، فرکانس‌های قطع بالا (f_{3dBH}) و فرکانس‌های قطع پایین (f_{3dBL}) می‌باشند. تقویت کننده‌ها در فرکانس میانی دارای حداکثر بهره ولتاژ (A_o) و در فرکانس‌های قطع بالا و پایین دارای بهره ولتاژی برابر با $A_o/\sqrt{2}$ می‌باشند. فرکانس‌های قطع بالا و پایین را فرکانس‌های نصف توان یا فرکانس‌های ۳dB نیز می‌نامند. زیرا در این فرکانس‌ها بهره توان نصف می‌شود. ($10Log0.5 \simeq -3dB$)



نمودار پاسخ فرکانسی تقویت کننده‌ها

سوال ۳: با توجه به نمودار فوق روشی برای تعیین فرکانس‌های f_m ، f_{3dBL} و f_{3dBH} بیان کنید.

۲. تقویت کننده امیتر مشترک (Common Emitter):

الف: در مدار تقویت کننده امیتر مشترک فوق ابتدا با فرض $V_{cc}=10V$ ،$V_{BE}=0.65V$ ،$R_E=220\Omega$ ،$R_C=1k\Omega$ ،$R_L=2.2k\Omega$ ،$R_s=10k\Omega$ ،$C_1=4.7\,\mu F$ ،$C_3=10\,\mu F$ و $C_2=100\mu F$ ،$\beta=100$ مقاومت‌های بایاس R_1 و R_2 را برای داشتن حداکثر دامنه نوسان بدون اعوجاج در خروجی طراحی نمائید. مدار را بسته و بعد از رسیدن به نقطه کار بهینه (محاسبه شده)، مقادیر I_{CQ} و V_{CEQ} را یادداشت کنید. (در صورت لزوم برای رسیدن به نقطه کار بهینه، یکی از مقاومت‌های R_1 یا R_2 را تغییر دهید.)

- برای نقطه کار بدست آمده مقادیر پارامترهای سیگنال کوچک، بهره $A_{VI}=\frac{v_o}{v_i}=-g_m(R_c\|R_L)$ و حداکثر دامنه نوسان را محاسبه کنید.

ب: با اعمال سیگنال کوچکی به ورودی مدار فوق، شکل موجهای v_s ،v_i و v_o را با حفظ رابطه زمانی رسم و پارامترهای $v_{o,\max}$ ،$A_{VI}=\frac{v_o}{v_i}$ ،$A_{VS}=\frac{v_o}{v_s}$ ،$A_{II}=\frac{i_o}{i_i}$ ،$A_{IS}=\frac{i_o}{i_s}$ ،$R_i=\frac{v_i}{i_s}$ ،$R_i'=\frac{v_i}{i_i}$ و R_o را در فرکانس‌های میانی اندازه‌گیری کنید. همچنین f_{3dbL} و f_{3dBH} را اندازه‌گیری کنید. نکته: در اندازه‌گیری مقاومت خروجی ($R_o=R_L(\frac{v_{o,NL}}{v_{o,L}}-1)$) دقت شود که برای خروجی($v_{o,NL}$) ترانزیستور به نواحی قطع یا اشباع نرود.

ج: دامنه سیگنال ورودی را نصف کرده، دوباره پارامترهای $v_{o,\max}$ ،$A_{VI}=\frac{v_o}{v_i}$ ،$A_{VS}=\frac{v_o}{v_s}$ ،$A_{II}=\frac{i_o}{i_i}$ ،$A_{IS}=\frac{i_o}{i_s}$ ،$R_i=\frac{v_i}{i_s}$ ،$R_i'=\frac{v_i}{i_i}$ و R_o را در فرکانس‌های میانی اندازه‌گیری کنید. همچنین f_{3dbL} و f_{3dBH} را اندازه‌گیری کنید.

ج: اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی- ولتاژ خروجی ($\Delta\varphi_{V_{s,o}}$) و ولتاژ بیس- ولتاژ کلکتور ($\Delta\varphi_{V_{b,C}}$) را در فرکانس‌های میانی، f_{3dbL} و f_{3dBH} اندازه‌گیری کنید.

ه: خازن C_1 را دو برابر کرده، دوباره f_m ، f_{3dbL} و f_{3dBH} را اندازه‌گیری کنید.

و: خازن C_2 را دو برابر کرده، دوباره f_m ، f_{3dbL} و f_{3dBH} را اندازه‌گیری کنید.

ز: خازن $C=100P$ را در بین بیس- کلکتور قرار داده، دوباره f_m ، f_{3dbL} و f_{3dBH} را اندازه‌گیری کنید.

ح: خازن $C=100P$ را در بین بیس- امیتر قرار داده، دوباره f_m ، f_{3dbL} و f_{3dBH} را اندازه‌گیری کنید.

سوال ۴: در مدار فوق با افزایش دامنه سیگنال ورودی شکل موج خروجی از کدام سمت زودتر بریده شود. چرا؟

سوال ۵: دامنه قله‌های مثبت و منفی سیگنال خروجی را به ازای دو فرکانس ورودی f و $40f$ ببنید آیا با تغییر فرکانس ورودی تغییرات قله‌ها مثبت و منفی یکسان هستند؟ چرا؟

سوال ۶: بریده شدن شکل موج خروجی از بالا و پایین چه نواحی کاری از ترانزیستور را نشان می‌دهند؟

پروژه طراحی و شبیه‌سازی: تقویت کننده‌ای برای تقویت سیگنال صوتی طراحی و شبیه‌سازی کنید. فرض کنید تغذیه از یک باطری $12VAH$ و بلندگوی 8Ω در دسترس دارید.

آزمایش شماره ۸

تقویت کننده‌های کلکتور مشترک و بیس مشترک

۱. تقویت کننده کلکتور مشترک (Common Collector)

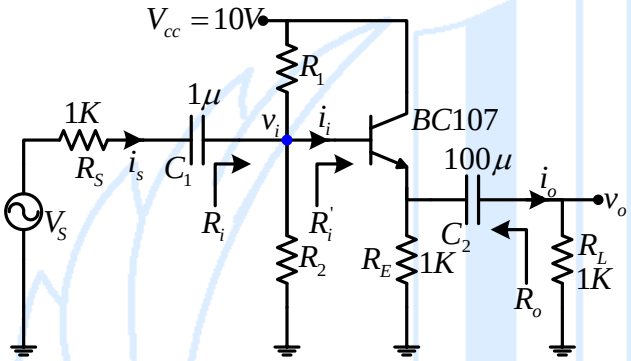
با توجه به تقویت کننده کلکتور مشترک زیر می‌توان خط بارهای DC و AC را به صورت زیر نوشت:

DC: $V_{cc} = R_E I_{CQ} + V_{CEQ} \triangleq R_{dc} I_{CQ} + V_{CEQ}$

AC: $v_{ce} = -(R_E \| R_L) i_c \triangleq -R_{ac} i_c$

لذا در این تقویت کننده نیز نقطه کار بهینه برای داشتن حداکثر نوسان در خروجی از روابط زیر بدست می‌آید.

$$I_{CQ} = \frac{V_{cc} - V_{sat}}{R_{dc} + R_{ac}} \qquad \text{و} \qquad V_{CEQ} = R_{ac} I_{CQ} + V_{sat}$$



الف: در مدار فوق ابتدا با فرض $V_{BE} = 0.6V$ و $\beta = 100$ مقاومت‌های بایاس R_1 و R_2 را برای داشتن حداکثر دامنه نوسان در خروجی طراحی نمائید. سپس مدار را بسته و بعد از رسیدن به نقطه کار بهینه (محاسبه شده)، مقادیر I_{CQ} و V_{CEQ} را یادداشت کنید.

ب: با اعمال سیگنال کوچکی به ورودی مدار فوق، شکل موجهای v_s، v_i و v_o را با حفظ رابطه زمانی رسم و پارامترهای $v_{o,\max}$، $A_{VI} = \frac{v_o}{v_i}$، $A_{VS} = \frac{v_o}{v_s}$، $A_{II} = \frac{i_o}{i_i}$، $A_{IS} = \frac{i_o}{i_s}$، $R_i = \frac{v_i}{i_s}$ و $R_i' = \frac{v_i}{i_i}$ و R_o را در فرکانس‌های میانی اندازه‌گیری کنید. همچنین f_{3dbL} و f_{3dBH} را اندازه‌گیری کنید.

سوال ۱: در مدار فوق با افزایش دامنه سیگنال ورودی شکل موج خروجی از کدام سمت زودتر بریده شود. چرا؟

۲. تقویت کننده بیس مشترک (Common Base)

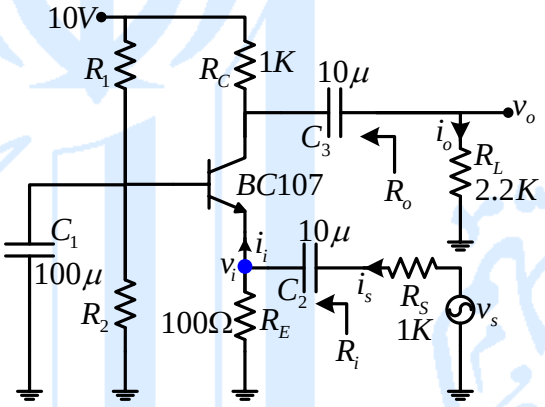
با توجه به تقویت کننده بیس مشترک زیر می‌توان خط بارهای DC و AC را به صورت زیر نوشت:

DC: $V_{cc} = (R_C + R_E)I_{CQ} + V_{CEQ} = (R_C + R_E)I_{CQ} + V_{CBQ} + V_{BE} \triangleq R_{dc}I_{CQ} + V_{CBQ} + V_{BE}$

AC: $v_{cb} = -(R_C \| R_L)i_c \triangleq -R_{ac}i_c$

لذا در این تقویت کننده نقطه کار بهینه برای داشتن حداکثر نوسان در خروجی از روابط زیر بدست می‌آید.

$$I_{CQ} = \frac{V_{cc} - V_{BE} - V_{sat}}{R_{dc} + R_{ac}} \qquad \text{و} \qquad V_{CEQ} = R_{ac}I_{CQ} + V_{sat} + V_{BE}$$



الف: در مدار فوق ابتدا با فرض $V_{BE} = 0.6V$ و $\beta = 100$ مقاومت‌های بایاس R_1 و R_2 را برای داشتن حداکثر دامنه نوسان در خروجی طراحی نمائید. سپس مدار را بسته و بعد از رسیدن به نقطه کار بهینه، مقادیر I_{CQ}، V_{CEQ}، R_2، R_1 را یاداشت کنید.

ب: با اعمال سیگنال کوچک به ورودی مدار، شکل موجهای v_s، v_i و v_o را با حفظ رابطه زمانی رسم و پارامترهای $v_{o,\max}$، $A_{VI} = \frac{v_o}{v_i}$، $A_{VS} = \frac{v_o}{v_s}$، $A_{II} = \frac{i_o}{i_i}$، $A_{IS} = \frac{i_o}{i_s}$، $R_i = \frac{v_i}{i_s}$، $R_i' = \frac{v_i}{i_i}$ و R_o را در فرکانس‌های میانی اندازه‌گیری کنید. همچنین f_{3dbL} و f_{3dBH} را اندازه‌گیری کنید.

– در مدار فوق با افزایش دامنه سیگنال ورودی، اعوجاج امیتر و کلکتور را به دقت مشاهده و رسم کنید.

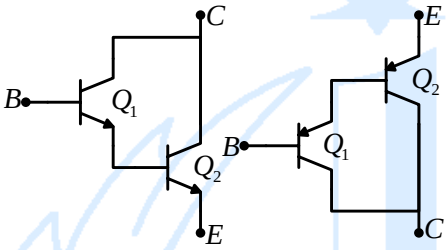
سوال ۲: آیا ممکن است در مدار فوق امیتر دارای اعوجاج باشد ولی در کلکتور اعوجاجی ایجاد نشود. چرا؟

سوال ۳: تقویت کننده‌های امیتر مشترک و بیس مشترک را از نظر بهره ولتاژ، مقاومت ورودی، مقاومت خروجی، اعوجاج ورودی و اعوجاج خروجی مقایسه کنید.

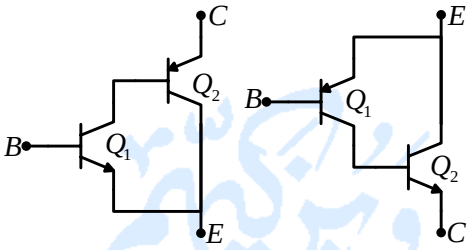
آزمایش شماره ۹

تقویت کننده‌های زوج دارلینگتون و بوت‌استرپ

در آزمایشهای قبلی دیدید که مقاومت ورودی تقویت کننده بیس مشترک کمتر از مقاومت ورودی تقویت کننده امیتر مشترک و مقاومت ورودی تقویت کننده امیتر مشترک کمتر از مقاومت ورودی تقویت کننده کلکتور مشترک می‌باشد. ولی در تقویت سیگنال منابعی با مقاومت داخلی زیاد (مثل تقویت سیگنال تولیدی توسط بعضی از سنسورها) مقاومت ورودی تقویت کننده کلکتور مشترک نیز کافی نیست. همچنین بهره کلکتور مشترک کوچکتر از یک است. برای افزایش مقاومت ورودی تقویت کننده‌ها می‌توان از آرایش‌های زوج دارلینگون استفاده نمود. هرگاه دو ترانزیستور به صورت‌های زیر به هم متصل گردند، تشکیل زوج دارلینگون می‌دهند. عملاً، این دو ترانزیستور مانند یک ترانزیستور با β خیلی زیاد عمل می‌کنند.



Darlington Pair



Inverted Darlington Pair

سوال ۱: ابتدا β کلی آرایش زوج دارلینگون و زوج دارلینگون معکوس را بر حسب β_1 و β_2 محاسبه کنید. سپس مزیت زوج دارلینگون معکوس را نسبت به زوج دارلینگون بیان نمائید.

عموماً زوج دارلینگون و زوج دارلینگون معکوس به صورت‌های امتیر مشترک یا کلکتور مشترک با بایاس معمولی یا با بایاس بوت‌استرپ در مدارها به کار می‌روند. طراحی تقویت کننده‌های زوج دارلینگتونی برای داشتن حداکثر نوسان خروجی، تفاوت چندانی با مدارات ترانزیستوری آزمایش‌های قبلی ندارد. فقط در این ساختارها باید توجه کرد که ترانزیستور Q_2 هیچگاه نمی‌تواند اشباع شود. لذا حداقل ولتاژ دو سر کلکتور- امیتر زوج دارلینگون برابر $V_{CE,Sat1}+V_{BE2}$ در نظر گرفته می‌شود. بنابراین نقطه کار بهینه در این تقویت‌کننده‌ها برابر است با:

$$I_{Ct}=I_{C1}+I_{C2}=\frac{V_{cc}-(V_{CE,Sat1}+V_{BE2})}{R_{dc}+R_{ac}} \quad \text{و} \quad V_{CEQ2}=R_{ac}I_{CQ}+V_{CE,Sat1}+V_{BE2}$$

۱. تقویت کننده امیتر مشترک با زوج دارلینگتون

الف: در مدار زیر ابتدا با فرض $V_{BE1}=V_{BE2}=0.6V$ ، $\beta_1=200$ و $\beta_2=100$ مقاومت‌های بایاس R_1 و R_2 را برای داشتن حداکثر دامنه نوسان در خروجی طراحی نمائید. سپس مدار را با مقاومت‌های بایاس $R_1=680\,K\Omega$ و $R_2=150K\Omega$ بسته و بعد از رسیدن به نقطه کار بهینه (محاسبه شده)، پارامترهای زیر را اندازه گرفته و یاداشت کنید. (در صورت لزوم برای رسیدن به نقطه کار بهینه، یکی از مقاومت‌های R_1 یا R_2 را تغییر دهید.)

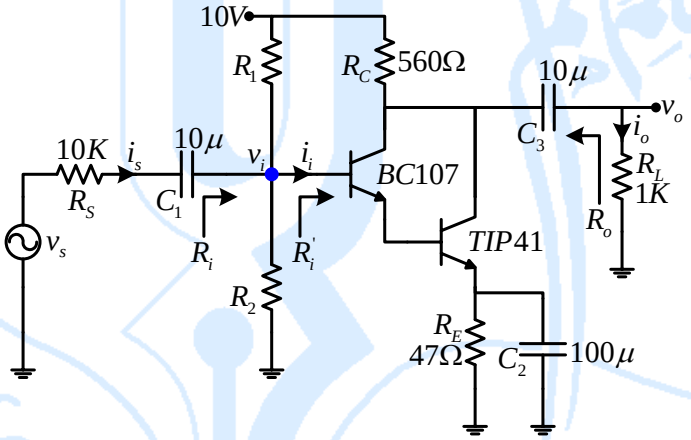
$$R_1\ ،R_2\ ،V_{CQ1}\ ،V_{CQ2}\ ،I_{CQ1}\ ،I_{CQ2}\ ،\beta$$

سوال ۲: دلیل اصلی تفاوت عمده β کلی اندازه‌گیری شده با β کلی محاسبه شده چیست؟

ب: ابتدا روشی برای افزایش β کلی مدار فوق بیان کنید. سپس آن را بسته و مقدار β را اندازه‌گیری مجدداً کنید.

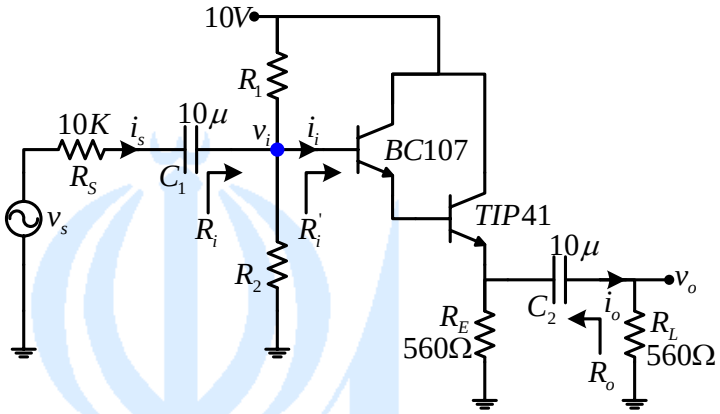
ج: با اعمال سیگنال کوچک به مدار پارامترهای $v_{o,\max}$ ، $A_{VI}=\frac{v_o}{v_i}$ ، $A_{VB2}=\frac{v_o}{v_{b2}}$ ، $A_{VS}=\frac{v_o}{v_s}$ ، $A_{IS}=\frac{i_o}{i_s}$ ، $R_i=\frac{v_i}{i_s}$ و R_o را در فرکانس‌های میانی(f_m) و همچنین f_{3dbL} و f_{3dBH} را اندازه گرفته و یاداشت کنید.

سوال ۳: مقدار تئوری $A_{VI}=v_o/v_i$ محاسبه کرده و با مقدار اندازه‌گیری شده مقایسه کنید.



۲. تقویت کننده کلکتور مشترک با زوج دارلینگتون

در مدار زیر ابتدا با فرض $V_{BE1}=V_{BE2}=0.7V$ ، $\beta_1=70$ و $\beta_2=50$ مقاومت‌های بایاس R_1 و R_2 را برای داشتن حداکثر دامنه نوسان در خروجی طراحی نمائید. سپس مدار را با مقاومت‌های بایاس $R_1=270K\Omega$ و $R_2=680K\Omega$ بسته و بعد از رسیدن به نقطه کار بهینه (محاسبه شده)، با اعمال سیگنال به آن، پارامترهای $v_{o,\max}$ ، $A_{VI}=\frac{v_o}{v_i}$ ، $A_{VB2}=\frac{v_o}{v_{b2}}$ ، $A_{VS}=\frac{v_o}{v_s}$ ، $A_{IS}=\frac{i_o}{i_s}$ ، $R_i=\frac{v_i}{i_s}$ و R_o را در فرکانس‌های میانی (f_m) و همچنین f_{3dbL} و f_{3dBH} را اندازه گرفته و یادداشت کنید.



۳. تقویت کننده کلکتور مشترک زوج دارلینگتونی با بایاس بوت‌استرپ:

در هر دو مدار فوق زیاد بودن مقادیر مقاومت‌های بایاس باعث افزایش نویز حرارتی و کاهش پایداری نقطه کار نسبت به β می‌گردد. یکی از راه‌های افزایش مقاومت ورودی و کاهش مقاومت‌های بایاس جهت کاهش نویز، در مدارهایی با بهره ولتاژ کوچکتر یک، استفاده از خازن بوت‌استرپ می‌باشد. در روش بوت‌استرپ، طبق قضیه میلر اثر مقاومت‌های بایاس در ورودی چندین برابر می‌گردد.

در مدار زیر ابتدا با فرض $V_{BE1}=V_{BE2}=0.6V$ ، $\beta_1=70$ و $\beta_2=50$ مقاومت‌های بایاس R_1 و R_2 را برای داشتن حداکثر دامنه نوسان در خروجی طراحی نمائید. سپس مدار را بسته و بعد از رسیدن به نقطه کار بهینه (محاسبه شده)، با اعمال سیگنال به آن، پارامترهای $v_{o,\max}$ ، $A_{VI}=\frac{v_o}{v_i}$ ، $A_{VB2}=\frac{v_o}{v_{b2}}$ ، $A_{VS}=\frac{v_o}{v_s}$ ، $A_{IS}=\frac{i_o}{i_s}$ ، $R_i=\frac{v_i}{i_s}$ و R_o را در فرکانس‌های میانی (f_m) و همچنین f_{3dbL} و f_{3dBH} را اندازه گرفته و یادداشت کنید.

