آزمایش ۳: مشخصات DC ترانزیستورهای پیوندی دوقطبی (BJT)

هدف

هدف اصلی این آزمایش مشاهده و اندازه گیری مشخصات ترانزیستورهای پیوندی دو قطبی می باشد. قسمت اول مربوط به اندازه گیری پارامترهای مهم ترانزیستورهای **BJT** و ادامه آن مربوط به بررسی خط بار **DC** ترانزیستور می باشد.

وسایل و اجزای مورد نیاز

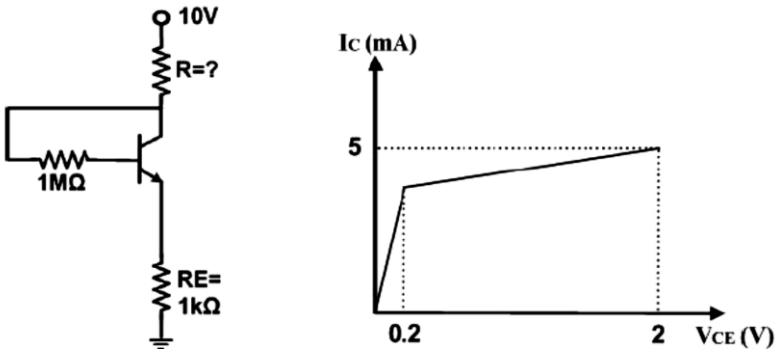
- ۲ عدد ترانزیستور **(2N3904) NPN BJT**
- مقاومت های لازم بر مبنای طراحی صورت گرفته
- ۲ منبع تغذیه، اسیلوسکوپ، فانکشن ژنراتور ، بردبورد ، مولتی متر و سیم

پیش گزارش

بخش اول:

با توجه به مدار شکل ۰-۱ و مشخصه داده شده برای ترانزیستور، مقدار مقاومت **R** را طوری به دست آورید که جریان بایاس ترانزیستور برابر با **5 mA** باشد. (افت ولتاژ دو سر R_E برابر با **5 V** باشد.) ضریب **β** را برای این ترانزیستور به دست آورید. **($V_{BE}(on) = 0.7$ v)**

توجه کنید برای اندازه گیری دقیق شما باید پروب اسیلوسکوپ را در مود **10X** قرار دهید یا از مولتی متر استفاده کنید.

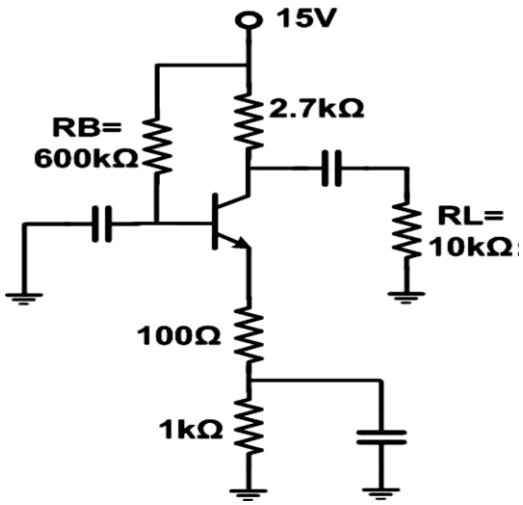


شکل ۰-۱ بایاس *DC* ترانزیستور و مشخصه جریان- ولتاژ آن

بخش دوم:

برای استفاده از ترانزیستور به عنوان تقویت کننده، می بایست ترانزیستور مورد نظر در یک نقطه کار بایاس شود. ذکر این نکته مهم است که مقادیر **AC** یا سیگنال کوچک، در واقع تغییرات بسیار کم ولتاژ و جریان حول نقطه **DC** می باشند. بنابراین در یک طراحی ترانزیستوری، نقاط کار **DC** می بایست پیش از هرگونه تحلیل **AC** تعیین شوند.

مدار شکل ۰-۲ را در نظر بگیرید. خط بارهای **DC** و **AC** را برای این مدار رسم کنید.



شکل ۰-۲ تعیین خط بارهای *DC* و *AC*

نقطه کار و ماکزیمم سوییننگ متقارن مدار را بدست آورید. چگونه می توان مقدار مقاومت R_B را برای دستیابی به بیشترین مقدار ماکزیمم سوییننگ متقارن تغییر داد ؟

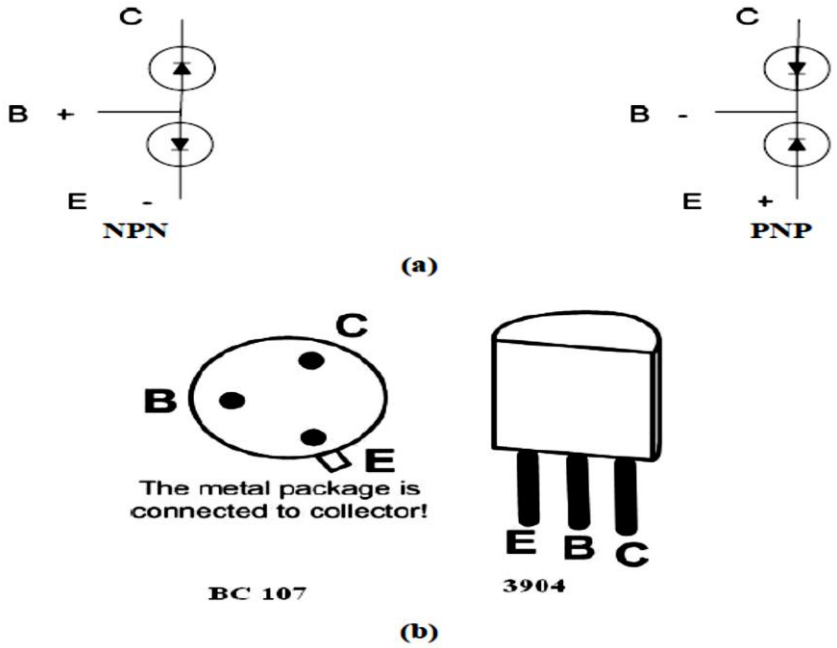
شرح آزمایش

۱-۱ تست و تعیین پارامترهای ترانزیستور

۱- ۱- ۱ گام اول

پیش از شروع آزمایش، می بایست ترانزیستور را تست کنید. در ترانزیستور دو پیوند دیودی وجود دارند : پیوند بین بیس و امیتر و پیوند بین بیس و کلکتور. با استفاده از مولتی متر دیجیتال در مد اندازه گیری مقاومت و یا مد تست دیود می توانید جهت پیوندها را در ترانزیستور تعیین کنید. توضیح دهید که چگونه می توانید با استفاده از این تست، ترانزیستورهای **NPN** و **PNP** را از یکدیگر متمایز کنید. در بعضی از مولتی مترهای دیجیتال می توان ترانزیستور را مستقیما در محل مشخص شده ای بر روی مولتی متر قرار داده و نوع و بهره جریان آن **(β)** توسط مولتی متر داده می شود.

(توجه : در این آزمایش برای خواندن مقادیر **ac** از مولتی متر در حالت **ac** استفاده نشود بلکه به کمک اسیلوسکوپ و با خواندن دامنه ی سیگنال سینوسی اندازه گیری انجام شود.)



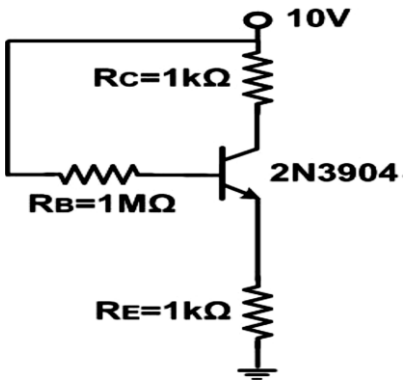
شکل ۰-۳ دیودهای پیوندی و پایه های ترانزیستورهای *BJT*

با استفاده از اهم متر تنها می توان نوع ترانزیستور و پایه بیس آنرا تعیین کرد. ولی برای تعیین پایه های امیتر و کلکتور می بایست به برگه مشخصات و شماتیک ترانزیستور رجوع کرد. اما از آنجا که سطح کلکتور معمولا بزرگتر از سطح امیتر است، مقاومت بیس-کلکتور کمتر از مقاومت بیس- امیتر می‌باشد. دقت کنید که هنگام تست، پایه های ترانزیستور را لمس نکنید. (چرا ؟) همچنین توجه داشته باشید که پیوند کلکتور- بیس در عملکرد عادی همواره به صورت معکوس بایاس شده است.

پایه های ترانزیستورهای مورد استفاده در آزمایشگاه در شکل ۰-۳ نشان داده شده اند.

۱- ۱- ۲ گام دوم

مدار شکل ۰-۴ را با استفاده از ترانزیستور **NPN** ببندید.



شکل ۰-۴ مدار ترانزیستوری *NPN*

۱- ۱- ۳ گام سوم

با اندازه گیری میزان ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت ها، مقدار جریان های بیس (I_B) ، کلکتور (I_C) و امیتر (I_E) را به دست آورید. از آنجایی که مقادیر جریان را به صورت غیر مستقیم اندازه گیری می کنید، از مقادیر دقیق مقاومت ها استفاده کنید. (با استفاده از اهم متر)

۱- ۱- ۴ گام چهارم

پارامترهای α و β را برای این ترانزیستور به دست آورید:

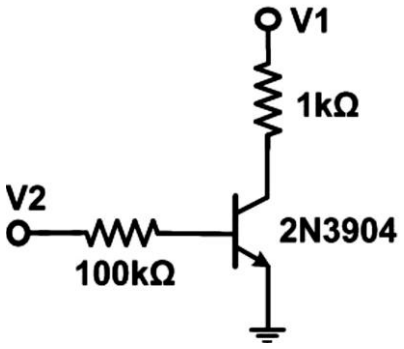
$$\beta = I_C / I_B \qquad ,\alpha = \beta/(\beta+1)$$

۱-۲ رسم مشخصات استاتیک ترانزیستورها

۱- ۲- ۱ گام اول

مدار شکل ۰-۵ را ببندید. دقت کنید که در این مدار دو منبع تغذیه استفاده می شود: یک منبع برای کنترل پیوند بیس- امیتر و منبع دیگر برای کنترل ولتاژ کلکتور- امیتر.

تذکر: زمینهای دو منبع باید به یکدیگر متصل باشند.



شکل ۰-۵

۱- ۲- ۲ گام دوم

ولتاژ **V2** را ۴ ولت قرار دهید و ولتاژ **V1** را ۰ تا ۱۵ ولت تغییر دهید. ولتاژ V_{CE} را اندازه گیری کرده و مقدار جریان I_C را نیز محاسبه کنید (با توجه به میزان ولتاژ دو سر مقاومت R_C و با در نظرگرفتن مقدار دقیق مقاومت اندازه گیری شده در قسمت قبل) و نتایج را در جدول ۰-۱ یادداشت کنید. چه نتیجه ای می توانید از مقادیر ثبت شده در جدول ۰-۱ بگیرید؟ چگونه می توانید مقاومت خروجی ترانزیستور را از روی این آزمایش تعیین کنید؟

جدول ۰-۱

V1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
V_{CE}																
I_C																

۱- ۲- ۳ گام سوم

نمودار جریان کلکتور **(I_C)** بر حسب ولتاژ کلکتور- امیتر **(V_{CE})** را رسم کنید.

۱- ۲- ۴ گام چهارم

ولتاژ **V1** را ۱۵ ولت قرار دهید و ولتاژ **V2** را ۰ تا ۵ ولت تغییر دهید. در هر مرحله ولتاژ V_{BE} را اندازه گیری کرده و مقدار جریان I_C را نیز محاسبه کنید (با توجه به میزان ولتاژ دو سر مقاومت R_C) و نتایج را در جدول ۰-۲ یادداشت کنید. به هنگام خواندن مقادیر V_{BE} بسیار با دقت عمل کنید زیرا تغییرات بسیار کوچک در V_{BE} ، تغییر بزرگی را در I_C نتیجه می دهد. چه نتیجه ای می توانید از مقادیر ثبت شده در جدول ۰-۲ بگیرید؟

جدول ۰-۲

V2	0.2	0.5	0.7	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
V_{BE}												
I_C												

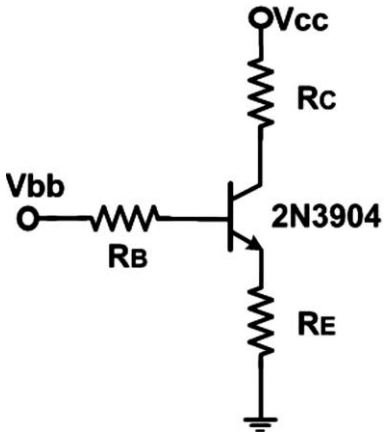
۱- ۲- ۵ گام پنجم

نمودار جریان کلکتور **(I_C)** بر حسب ولتاژ بیس- امیتر **(V_{BE})** را رسم کنید.

۱-۳ نقطه کار و خط بار DC

در تمامی کاربردهای ترانزیستورها به عنوان تقویت کننده خطی، می بایست ترانزیستور در ناحیه فعال بایاس شود. به عبارت دیگر نقطه کار می بایست در ناحیه فعال قرار گیرد. منظور از نقطه کار، جریان کلکتور **(I_C)** و ولتاژ کلکتور- امیتر **(V_{CE})** بدون حضور منابع سیگنال **AC** می باشد.

مدار شکل ۰-۶ را در نظر بگیرید:

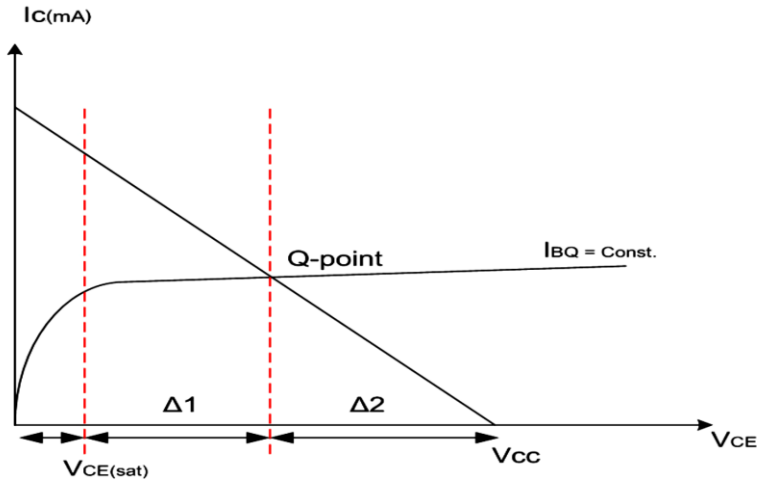


شکل ۰-۶ مدار ترانزیستوری برای اندازه گیری نقطه کار

با نوشتن معادله **KVL** در حلقه خروجی خواهیم داشت:

$$V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E).I_C$$

نمودار معادله فوق در شکل ۰-۷ نشان داده شده است.



شکل ۰-۷

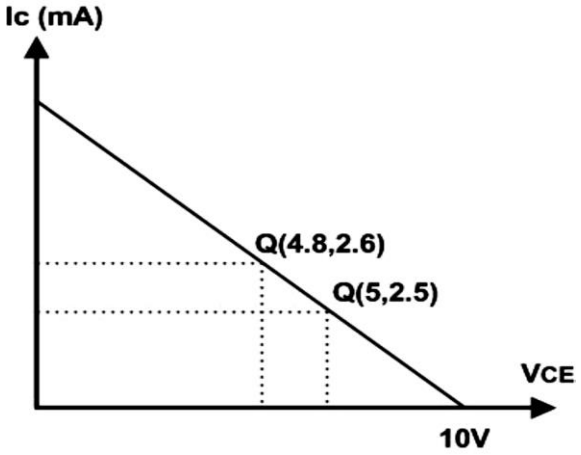
برای داشتن سوییننگ **AC** مناسب در خروجی می بایست نقطه کار ترانزیستور طوری انتخاب شود که **Δ1 = Δ2**

۱- ۳- ۱ گام اول

مدار شکل ۰-۶ را طوری طراحی کنید که نقطه کار آن مطابق مشخصه شکل ۰-۸، نقطه **Q(5,2.5)** باشد. مقادیر V_{CC} ، R_C ، R_B و R_E را تعیین کنید. (**Vbb = 2 V**، **β=100** و برای پایداری حرارتی $10R_B=\beta R_E$). اگر مقاومت R_B را افزایش دهیم چه اتفاقی روی می دهد؟

۱- ۳- ۲ گام دوم

اکنون مدار طراحی کرده در قسمت ۱- ۳- ۱ را ببندید و مقادیر I_C و V_{CE} را اندازه گیری کنید. آیا می توانید در عمل به مقدار مطلوب نقطه کار برسید؟



شکل ۰-۸ خط بار *DC* ترانزیستور

مساله: فرض کنید در اثر تغییر ترانزیستور نقطه کار مطابق شکل ۸ از**Q(5,2.5)** به **Q(4.8,2.6)** تغییر کرده باشد. چه کاری باید انجام دهیم برای اینکه بدون تغییر خط بار **DC** ، نقطه کار را به حالت قبل برگردانیم؟ مقادیر المان های تغییر یافته را مجددا محاسبه کنید.