§۳-٤

۱۰ - بهره تقویت ولتاژ[1] ($A_v = V_o/V_i$) را برای شکل ۳-۶ برای حالت $V_i = 500^{mV}$ و $R = 1^{K}$ حساب کنید.
(سایر مقادیر مدار تغییری نکرده اند).

۱۱ - بهره تقویت ولتاژ ($A_v = V_o/V_i$) را برای شکل ۳-۶ زمانی که منبع دارای یک مقاومت داخلی[2] $100\,\Omega$ است بطوریکه با V_i قرار گرفته است حساب کنید.

۱۲ - یک ترکیب بین ترانزیستور pnp و npn بسازید که مانند یک ترانزیستور pnp عمل کند و مابین ترمینالهای لازم برای پیوند این ترانزیستور با بقیه مدار نشان دهید و جریانهای آنها را مشخص نمائید.

۱۳ - با استفاده از مشخصات شکل ۳-۸ :

(الف) برای $I_E = 5^{mA}$ و $V_{CB} = -10^{V}$ جریان کلکتور را بدست آورید.

(ب) برای $V_{EB} = 750^{mV}$ و $V_{CB} = -10^{V}$ جریان کلکتور را بدست آورید.

(ج) برای $I_C = 4^{mA}$ و $V_{CB} = -15^{V}$ مقدار V_{EB} را تعیین کنید.

۱٤ - مشخصات نشان داده شده در شکل ۳-۸ مشخصات کدام ترانزیستور سیلیکن را نشان می دهد. برای ترانزیستور ژرمانیم این مشخصات چه تفاوتی خواهند داشت؟ اولین تقریب برای ولتاژ بین امیتر و حالت مابین مستقیم این پیوند چه صورت خواهد یافت؟

§۳-٦

۱۵ - آیا بین I_{CB} و I_{CEO} رابطه ای وجود دارد؟ در صورت وجود این رابطه چگونه است؟

۱٦ - با استفاده از مشخصات نشان داده شده در شکل ۳-۱۱ :

(الف) برای $V_{BE} = +750^{mV}$ و $V_{CE} = +5^{V}$ جریان کلکتور I_C را بدست آورید.

(ب) برای $I_C = +3^{mA}$ و $I_B = 30^{\mu A}$ مقادیر V_{CE} و V_{BE} را بدست آورید.

۱۷ - (الف) با توجه به مشخصات ترکیب امیتر مشترک در شکل ۳-۱۱ مقدار بتای dc را در نقطه کار $V_{CE} = +8^{V}$ و $I_C = 2^{mA}$ پیدا کنید.

(ب) مقدار α را برای این نقطه کار بدست آورید.

(ج) برای $V_{CE} = +8^{V}$ مقدار I_{CEO} را محاسبه کنید.

(د) با استفاده از بتای dc بدست آمده در قسمت (الف) مقدار تقریبی I_{CBO} را محاسبه نمائید.

---

1) voltage gain 2) internal resistance

www.tnar.ir

§۳-۷

۱۸ - ولتاژ ورودی با مقدار موثر (rms) 2^V به ورودی مدار شکل ۳-۱۶ اعمال شده است (بین بیس و زمین). با فرض اینکه ولتاژ امیتر، ولتاژ بیس را کاملاً دنبال کند و $V_{be}(rms) = 0.1^V$ باشد، در هر لحظه ولتاژ مدار ($A_V = V_o/V_i$) و جریان امیتر را برای $R_E = 1^k$ محاسبه نمائید.

§۳-۸

۱۹ - با استفاده از مدل گفته شده در قسمت ۳-۸ یک ترانزیستور pnp رسم کنید و بلافاصله صحیح بایس و در آن جهت جریانها را مشخص نمائید.

§۳-۹

۲۰ - در صورتیکه برای ترانزیستوری در مشخصات آن در شکل (الف) ۳-۱۱ نشان داده شده، مقادیر $I_{C_{max}} = 5^{mA}$، $V_{CE_{max}} = 15^V$ و $P_{C_{max}} = 25^{mW}$ باشد، ناحیه عملکرد این ترانزیستور را مشخص نمائید.

§۳-۱۰

۲۱ - تفاوتهای بین حجم و روش ساخت ترانزیستور [که در قسمت ۳-۱۰ تشریح شده است] را بیان نمائید.

§۳-۱۲

۲۲ - شکل ۳-۲۷ را برای یک ترانزیستور npn رسم کنید و مقادیر نشان داده شده توسط هم متر S را در آن مشخص نمائید.

www.tmar.ir

فصل ٤

بایاس dc

٤-١ : کلیات

ترانزیستور کاربردهای متنوعی دارد . لیکن بیشتر یادگیری تمام این کاربردها حتی در صورت اشکال نیز مشخص خواهد شد . با مطالعه شیوه و به خصوص اصلی و مشخصات عمومی مدارهای ترانزیستوری میتوان اطلاعات لازم جهت بررسی کاربردهای مختلف این عنصر را بدست آورد . در این فصل در مورد مفاهیم اساسی تغذیه کردن[1] مدارهای ترانزیستوری[2] بحث میشود .

برای استفاده از ترانزیستور بصورت تقویت کننده جریان و یا ولتاژ و همچنین برای استفاده از آن بصورت عنصر کنترل کننده (قطع و وصل کننده[3]) و بسیاری کاربردهای دیگر ابتدا باید این عنصر را تغذیه (بایس[4]) نمود . یک راه ساده برای این امر ، راه اندازی ترانزیستور و قرار دادن آن در ناحیه ای از مشخصه اش میباشد که دارای بیشترین حساسیت خطی باشد و در این ناحیه درجه تقویت[5] آن نامیده است .

شبکه و عناصری که برای بایس کردن ترانزیستور بکار میروند نباید در قرار دادن نقطه کار آن عنصر در یک ناحیه خطی مورد نظر بکار میروند ، بلکه این عناصر قسمتی از مدار ترانزیستور را در صورتهای مختلف ممکن است بکار رفته باشد (تقویت کننده ، شکل دهنده موج[6] ، مدارات منطقی[7] و غیره) نیز تشکیل میدهند . میتوان برای تجزیه و تحلیل کارکرد مدار تمام جنبه های این عناصر را توأماً در نظر گرفت ، ولی این عمل معمولاً باعث پیچیدگی تحلیل مدار میشود . برای هر نوع مداری میتوان که بسیری مفاهیم برای تجزیه و تحلیل در نظر گرفت در این مفاهیم میتوانند قطعه مشترک برای تمام مدارها و حتی آنهایی که در کارکرد آنها برای ما قابل فهم نیست ، بکار روند . بنابراین در این فصل به مفهوم بایس کردن ترانزیستورهای در قسمتی از ناحیه خطی مورد نظر میپردازیم . اگر این مفهوم بخوبی یادگرفته شود ، در اینصورت تجزیه و تحلیل مدارهای مختلف (حتی آنهایی که کاربردشان برای ما قابل فهم نباشد) ساده خواهد شد . در جهت تقویت و سایر پارامترهای مربوط ، سیگنال ac برای ترانزیستور در قسمت بعدی مورد بررسی قرار خواهند گرفت . در فصل ۷ و ۸ و ۱۱ و ۱۲ و ۱۴ به بررسی کاربردهای مختلف ترانزیستور ، و سایر در زمینه های مختلف کار آن در نظر گرفته میشود ، میپردازیم .

---

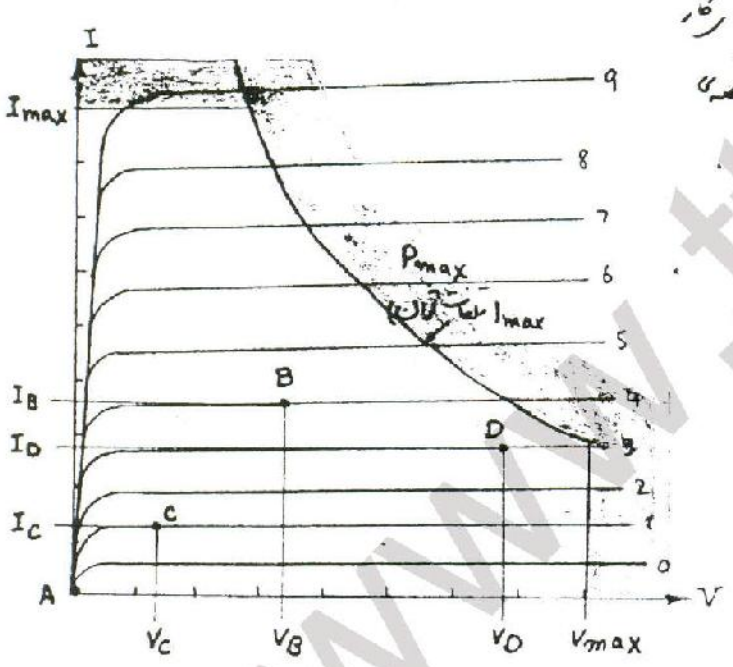
1) biasing
2) bipolar transistor
3) ON – OFF
4) bias
5) gain
6) Wave shaping
7) logic circuit

www.tmar.ir

بایس کردن dc که عمر استاتیک[1] است زیرا در این قسمت از قرارداد آن که سطح ولتاژ ثابت با جریان مستقیم، مدر نقاط مختلف عنصر صحبت میشود. اطلاعات لازم برای این عمر را میتوان از مشخصات استاتیک[2] در مدی و خروجی عنصر بدست آورد. همانطوری که قبلاً گفته شد، با استفاده از مشخصات داده شده توسط کارخانه سازنده برای یک عنصر میتوان اطلاعات لازم در مورد بایس کردن آن را بدست آورد. با استفاده از روش ترسیمی (روش تحلیلی یا ریاضی و روش ترسیمی) منحنی جریان و ولتاژ مدار و نقطه کار تعیین میشود.

۲-٤- نقطه کار[3]

از آنجا که هدف بایس کردن ترانزیستور ایجاد جریان و ولتاژ معینی برای مدار است (که نقطه کار نامیده میشود)، لذا انتخاب صحیح و مناسب این نقاط (انتخاب ولتاژ معین و جریان معین) از مدی منحنی مشخصه ضروری است. شکل ۱-٤ مشخصات یک ترانزیستور با چهار نقطه کار را نشان میدهد. بایس مدار ممکن است طوری باشد که هر یک از این نقاط، نقطه کار ترانزیستور باشد. و یا هر نقطه دیگری در منطقه کار[4] قرار دارد میتواند نقطه کار ترانزیستور انتخاب شود. منطقه کار ترانزیستور حاصل از مشخصه آن است که بین مقادیر ماکزیمم جریان و ولتاژ واقع شده است. این مقادیر ماکزیمم[5] توسط کمپانی سازنده خط ماکزیمم (برای ولتاژ) در شکل ۱-۴ نشان داده شده است. علاوه بر مقادیر فوق، ماکزیمم توان مصرفی (حاصلضرب ولتاژ و جریان) نیز برای مشخص کردن ناحیه کار، بکار میرود که در شکل ۱-٤ بصورت منحنی P_{max} نشان داده شده است.



شکل ۱-٤ ، نقاط کار مختلف مدی مشخصه استاتیک ترانزیستور.

باید یادآوری کرد که در مورد توان، از ترانزیستور در ناحیه‌ای متناسب از ناحیه کار یعنی بالاتر از محدوده‌ای که تعیین شده باید جریان و ولتاژ نیز استفاده نمود، ولی این عمل باعث کوتاه شدن عمر عنصر بمقدار قابل ملاحظه‌ای میشود، همچنین ممکن است که استفاده از ترانزیستور در این ناحیه باعث سوختن آن شود. حال با در نظر گرفتن منطقه کار ترانزیستور (که در آن ترانزیستور میتواند بدون خراب شدن استفاده شود) میتوان نقاط مختلفی را بعنوان نقطه کار عنصر در نظر گرفت. تعیین کمی مناسب برای نقطه کار بستگی به نوع کاربرد مدار دارد. بهمین جهت ما در بررسی تقاضای نقاط مختلف نشان داده شده در شکل ۱-٤ میخواهیم تا ناحیه مناسبی برای انتخاب نقطه کار برای یک مدار ترانزیستوری را بدست آوریم.

---

1) static
2) static characteristics
3) operating point
4) operating region

www.tfar.ir

اگر ترانزیستور را بهم صورت بایس نکنیم تغییر هیچ تقویت مستقیم (dc) را برای آن فراهم نکنیم، در اینصورت ترانزیستور خاموش شده و ولتاژ بین نقطه کار منطبق بر نقطه A خواهد شد (شکل ۱-٤). بدیهیست دیگر در اینحالت هیچ جریانی از دو قسمت آن عبور نمی‌کند و ولتاژ بین آن نیز صفر است. برای اینکه ترانزیستور بتواند کار AB، یعنی بتواند با حداقل اعوجاج جریان و ولتاژ ac (سیگنال) را تقویت کند باید آنرا حتماً بایس نمود، و چون نقطه A مناسب نیست، لذا نقطه B را بعنوان نقطه کار مطلوب انتخاب میکنیم. در صورتی که ترانزیستور علاوه بر ولتاژ بایس، یک سیگنال نیز اعمال شود، در اینصورت جریان و ولتاژ ترانزیستور حول نقطه B تغییر کرده و باعث می‌شود که از امتداد خط مستقیم و دوری، در خروجی تقویت سیگنال داشته باشیم. اگر سیگنال ورودی کوچک باشد در اینصورت ولتاژ و جریان نیز حول نقطه کار تغییر خواهند کرد، ولی این تغییرات به اندازه‌ای نیست که ترانزیستور را به ناحیه قطع و یا اشباع ببرد. همانطوری که در این ناحیه قطع ناحیه‌ایست که در آن عنصر دارای هدایت نیست و ناحیه اشباع ناحیه‌ایست که در آن تغییرات ولتاژ و جریان عنصر، ازای تغییرات جریان عبور کننده از آن، حداکثر امکان کوچک است. برای تقویت کننده‌ای معمولاً ناحیه کار ترانزیستور بین ناحیه قطع و اشباع در نظر گرفته می‌شود.

نقطه کار C که در شکل داده شده است خروجی غیر تواند تغییرات زیادی در قسمت منفی داشته باشد، زیرا ولتاژ نقطه C از ولتاژ نقطه B کمتر است. علاوه بر این نقطه C در منطقه‌ای قرار گرفته که سطح جریان کم است و در این منطقه در مشخصه تقویت، مدار خطی[1] نمی‌باشد، یعنی دیگر در این ناحیه فاصله منحنی‌ها متوالی از همدیگر، یکسان نمی‌باشد. این غیر خطی[2] بودن باعث می‌شود که در خروجی پایین منحنی در تقویت کم و در قسمتهای بالای آن در تقویت زیاد گردد. بنابراین بعنوان یک تقویت کننده، ترانزیستور باید در نقطه‌ای بایس شود که در آن در تقویت ثابت (خطی) باشد، لطفاً در مقدار تقویت روی مقادیر مختلف ولتاژ قسمت یکسان انجام دهید. همانطوری که در شکل ۱-٤ نشان داده شده است، نقطه B در یک ناحیه خطی واقع است و در این نقطه تقویت بصورت خطی صورت می‌گیرد. در نقطه کار D، عنصر در نقطه‌ای تقریباً تا نزدیکی خط بایس می‌شود و بنابراین مقدار ولتاژ خروجی سیگنال قبل از اینکه مقدار ماکزیمم محدود می‌گردد. لطفاً در شکل داده شده در این نقطه کار محدودیت کار عنصر در ناحیه مثبت سیگنال می‌باشد. بدین ترتیب، منظور رسیدن به بهترین تقویت ولتاژ یا جریان با مقدار دامنه بیشتر و تقویت خطی‌تر، نقطه کار B بهترین نقطه کار باشد. این نقطه کار مخصوص برای تقویت کننده‌ای سیگنال کوچک (فصل ۵) بهترین شرایط است، ولی برای تقویت کننده‌ای توان[3] و مدارهای منطقی[4] (به ترتیب در فصول ۸ و ۱۳ بررسی می‌شوند) الزاماً نمی‌تواند شرایط مطلوبی باشد. در این قسمت از بحثمان توجه خود را بیشتر روی بایس کردن ترانزیستور برای عمل تقویت سیگنال کوچک متمرکز می‌کنیم.

یک پارامتر مهم دیگر در عمل بایس کردن ترانزیستور وجود دارد که باید مورد توجه قرار گیرد. در انتخاب یک نقطه کار باید اثر حرارت در نظر گرفته شود. هر زمان که حرارت باعث تغییر مشخصات ترانزیستور می‌شود. در درجه حرارتهای زیاد، جریان واقعی عنصر بیشتر شده و باعث تغییر نقطه کار آن می‌گردد. بنابراین، مدار بایس که ترانزیستور باید طوری در نظر گرفته شود تا در مقابل تغییرات درجه حرارت که پایداری حرارتی[5] نامیده

---

1) linear
2) non-linear
3) power amplifier
4) logic circuit
5) temperature stability

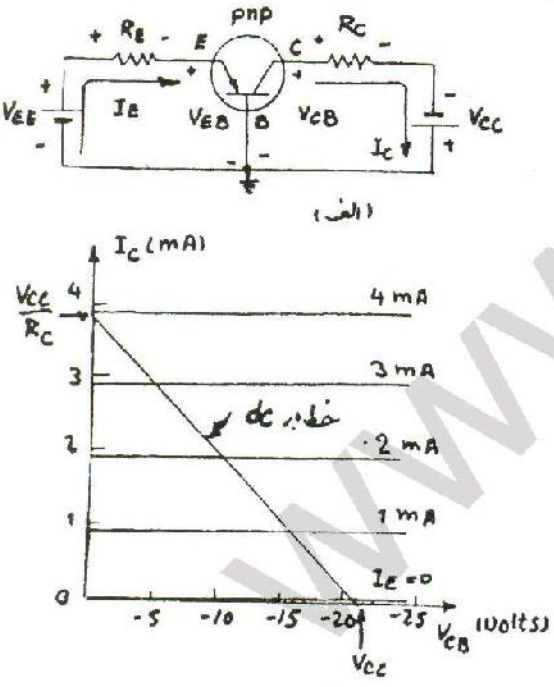
مناسب برای نقطهٔ کار ایجاد می‌شود، لطمه‌ای به تغییر پذیری حرارت نقطهٔ کار وارد نمی‌کند. این تثبیت نقطهٔ کار را می‌توان با ضریب پایداری[1] حرارتی S مشخص کرد که در تغییرات جریان نقطهٔ کار با اثر تغییر پذیری حرارت نشان می‌دهد. برای مدار، با پایداری حرارتی زیاد، مطلوب می‌باشد. لذا ضریب پایداری حرارتی را برای چند نوع مدار مختلف بدست آورده و جمع‌بندی خواهیم نمود.

کارکرد ترانزیستور در قطعی، با استفاده از روی پارامترهای مشخص شده برای این عنصر بررسی می‌شود، و روشهای ریاضی تقریبی (البته با روش ترسیمی) برای تعیین نقطهٔ کار این عنصر ارائه می‌گردد. با وجود این، منحنی‌های مشخصهٔ ترانزیستور، مفیداند و در درک عملکرد این عنصر تصور مبنای را ارائه می‌دهند و در صورت لزوم از این منحنی‌ها استفاده خواهد شد.

۴-۳ - مدار بایاس بیس مشترک (CB)

برای بررسی بایاس کردن dc ترانزیستور، مدار بیس مشترک، که نقطهٔ مرجع[2] انتخاب شده خواهد بود: شکل (الف) ۴-۲ یک ترکیب بیس مشترک را نشان می‌دهد. همانطوری که در ابتدای مبحث از ترکیب بیس مشترک ترکیبی است که در آن بیس نقطهٔ مرجع[3] برای اندازه‌گیری ولتاژها و جریانها می‌باشد. در این ترکیب بیس، جریان خروجی بین کلکتور و بیس در نظر گرفته می‌شود.

منابع تغذیه dc در این مدار با اندیس دوبل نشان داده شده است. V_{EE} منبع تغذیه مربوط به امیتر و V_{CC} منبع تغذیه مربوط به کلکتور می‌باشد. برای بایاس کردن مدار بیس مشترک ممکن است احتیاج به هر دو منبع تغذیه داشته باشیم. مقاومت R_E اساساً برای محدود کردن جریان امیتر I_E به مقدار آن تنظیم می‌شود. مقاومت R_C مقاومت کلکتور (یا مقاومت بار[4]) می‌باشد که سیگنال خروجی ac از دو سر آن گرفته می‌شود. همچنین این مقاومت یکی از عناصری است که برای تعیین نقطهٔ کار مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۴-۲-ب مشخصات ترکیب بیس مشترک را نشان می‌دهد. این مشخصات، مشخصات کلکتور یا خروجی این نوع ترکیب می‌باشد. محور افقی ولتاژ کلکتور بیس V_{CB} است و برای ترانزیستور pnp نشان داده شده در شکل (الف) ۴-۲ مقدار منفی می‌باشد. محور عمودی جریان I_C را نشان می‌دهد. این مشخصات از مجموعه منحنی‌هایی با مقادیر مختلف جریان I_E تشکیل شده است.



شکل ۴-۲ : مدار بیس مشترک و مشخصات ترانزیستور؛
الف) مدار بیس مشترک؛ ب) خط بار dc
ترسیم شده روی مشخصات بیس مشترک

مطالب گفته شده در مورد هر کدام از ترانزیستورهای pnp و npn را می‌توان در مورد دیگری نیز بکار برد با استثنا قطبیت ولتاژ و جهت

---

1) stability factor
2) reference point
3) load

حرارتی و بالا بودن ولتاژ با عرض کنیم . در اینجا ما بحث بررسی ترانزیستورهای npn که امروزه بیشتر متداول می‌باشند ، می‌پردازیم .

برای مطالعه مدار بیس مشترک (CB) مرتبا ورودی (حلقه بیس - امیتر) و خروجی (حلقه بیس - کلکتور) را بصورت جداگانه تجزیه و تحلیل می‌کنیم . گرچه واقعا داخل بین کلکتور و بیس امیتر وجود دارد ، ولی مرتبا از آن در مقابل منابع خارجی در این بدش عادیان می‌شود ، صرف نظر می‌کنیم .

قسمت ورودی

حلقه ورودی [همانطور که در شکل (الف) ۳-۴ نشان داده شده است] از باتری V_{EE} ، مقاومت R_E و پیوند امیتر بیس ترانزیستور (V_{EB}) تشکیل شده است . با اعمال قانون ولتاژ کیرشهف در حلقه ورودی مرتبا نوشت :

$$V_{EE} - I_E R_E - V_{EB} = 0$$

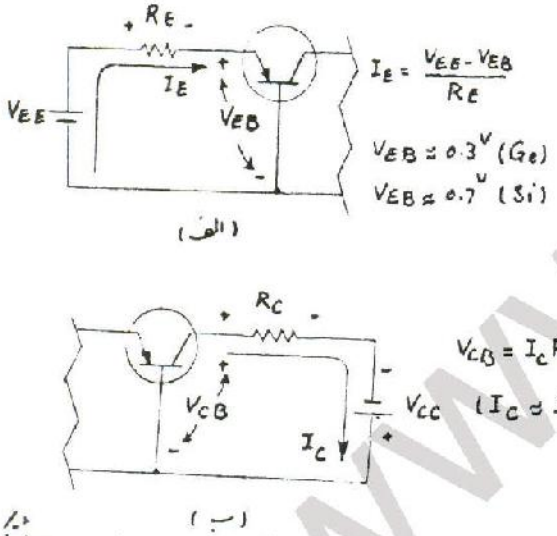
از این رابطه بدست می‌آید :

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{EB}}{R_E} \qquad (\text{الف } 1-4)$$

در این رابطه همه جملات قبلا تعریف و مشخص شده‌اند .

همانطور که در پیوند امیتر بیس بصورت مستقیم بایاس می‌شود مقدار V_{EB} کوچک است و برای ترانزیستور ژرمانیم 0.3^V و برای سیلیکن 0.7^V در نظر گرفته می‌شود . گرچه مقدار دقیق ولتاژ امیتر بیس بصورت خطی کم ، با تغییرات ولتاژ کلکتور بیس تغییر می‌کند ، ولی برای بررسی‌های عملی معمولا آن مقدار خوب تا حد صرف نظر کردن است . در عمل ، معمولا ولتاژ تغذیه V_{EE} مقدار زیادی است (بعنوان مثال 10^V) و بنابراین جهت مرتبا از ولتاژ بیس امیتر در مقابل آن صرف نظر می‌شود ، لذا معمولا رابطه (الف ۱-۴) بصورت تقریبی زیر نوشته :

$$I_E \approx \frac{V_{EE}}{R_E} \qquad (\text{ب } 1-4)$$



شکل ۳-۴ : قسمت ورودی و خروجی برای مدار بیس مشترک
الف) قسمت ورودی (امیتر - بیس) ؛
ب) ، قسمت خروجی (کلکتور - بیس) .

با توجه به این رابطه ملاحظه می‌شود که جریان امیتر اساسا توسط ولتاژ تغذیه V_{EE} و مقاومت R_E تعیین می‌شود . اما معمولا مقدار V_{EE} ثابت است (زیرا از یک منبع ممکن است برای تغذیه قسمت‌های مختلف یک سیستم الکترونیکی استفاده شود) . بنابراین معمولا جریان امیتر توسط تغیر

www.tnar.ir

مقاومت امیتر R_E تعیین می‌شود . مقدار متداول R_E ما بطور تقریبی بین صفر تا همان امیتر دلخواه در مدار برقرار می‌شود .

قسمت خروجی

(۷ص)
همانطور که در شکل (ب-۴-۳) مشاهده می‌شود حلقه خروجی از یک باتری V_{cc} ، یک مقاومت R_C ، و افت ولتاژ بین کلکتور بیس ترانزیستور تشکیل می‌شود : برای عملکرد ترانزیستور بعنوان تقویت کننده ، پیوند کلکتور - بیس باید بصورت معکوس و پیوند امیتر - بیس بصورت مستقیم بایاس گردد . بنابراین باتری V_{cc} باید طوری در مدار قرار گیرد تا قطب مثبت آن به قسمت n و منفی آن به قسمت p ترانزیستور متصل گردد . نتیجتاً برای ترانزیستور pnp ، باید باتری باید بنحوی باشد که مثبت آن به نقطه بیس (که بین دو دیود خروجی مشترک است) و منفی آن به مقاومتی در مدار کلکتور متصل است ، وصل شود . (برای ترانزیستور npn عکس مربوط یعنی قطب منفی باتری به بیس و قطب مثبت آن به مقاومت کلکتور متصل خواهد شد) .

با جمع کردن افت ولتاژ در حلقه خروجی نشان داده شده در شکل (ب-۴-۳) ، رابطه زیر حاصل می‌شود .

$$V_{cc} - I_C R_C + V_{CB} = 0 \qquad (۴-۲)$$

جریان کلکتور I_C تقریباً برابر جریان امیتر I_E است که قبلاً از رابطه (الف ۱-۴) ، (ب ۱-۴) تعیین شد . این برای هر نوع ترکیب مداری ترانزیستور با تقریب خوبی صادق است . بنظور محاسبه مقدماتی با بایس متداول این تقریب را با رابطه زیر نشان داد .

$$I_C \approx I_E \qquad (۴-۳)$$

در حقیقت ، $I_C = \alpha I_E$ می‌باشد که در آن α تقریباً بین 0.9 تا 0.998 قرار می‌گیرد .

حل کامل مدار با بایس برای ترکیب بیس مشترک

حال در اساس کار مدار CB را نشان دادیم ، می‌توانیم به بررسی حل کامل مدار با بایس و بدست آوردن جریانها و ولتاژهای آن بپردازیم . نتایج بدست آمده برای هر دو نوع ترانزیستور pnp و npn در مدار CB قابل استفاده خواهد بود . برای تشخیص حل مدار با بایس مدار CB نشان داده شده در شکل (الف ۲-۴) را برای بدست آوردن یک برش گیری برای حل مدارهای با بایس سایر ترکیبات ترانزیستوری ، کلیه مراحل حل مسئله را قدم به قدم فرموله می‌نمائیم - برای بدست آوردن ولتاژ و جریانهای مدار CB [شکل (الف ۲-۴)] ، بطریق زیر عمل می‌شود .

۱- برای ولتاژ پیوند بیس - امیتر که در جهت مستقیم با بایس شده است ، تقریب زیر را در نظر می‌گیریم :

برای ژرمانیم) $V_{EB} \approx 0.3$ V

یا

برای سیلیکن) $V_{EB} \approx 0.7$ V .

۲ - جریان امیتر را میتوان با استفاده از رابطه زیر بدست آورد :

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{EB}}{R_E} \approx \frac{V_{EE}}{R_E}$$

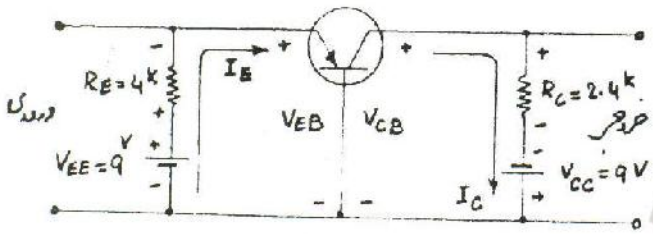
۳ - همانطور که قبلاً گفته شد جریان کلکتور تقریباً برابر جریان امیتر میباشد داریم :

$$I_C \approx I_E$$

۴ - ولتاژ کلکتور بیس را میتوان از رابطه زیر تعیین نمود :

$$V_{CB} = -V_{CC} + I_C R_C$$

مثال ۴-۱ : برای مدار نشان داده شده در شکل ۴-۴ مقادیر ولتاژ بایاس V_{EB} ، V_{CB} ، و جریانهای I_E و I_C را محاسبه نمائید . ترانزیستور این مدار از نوع pnp سیلیکن و α آن 0.99 میباشد .



شکل ۴-۴ : مدار مبنی مشترک مثال ۴-۱ .

حل : با استفاده از روش قدم به قدم در قبل گفته شد ، خواهیم نوشت :

(الف) (سیلیکن) $V_{BE} \approx 0.7$

(ب) $I_E = (V_{EE} - V_{EB})/R_E$

$= (+9 - 0.7)/4 \approx +2.1^{mA}$

(ج) $I_C \approx I_E = +2.1^{mA}$

(د) $V_{CB} = -V_{CC} + I_C R_C = -9 + (2.1^{mA})(2.4^{K}) = -3.96^{V}$

۴-۴ : مدار امیتر مشترک (CE) -

بررسی های کلی در مورد بایاس کردن

مدار تقویت کننده ای که در شکل ۴-۴ نشان داده شده است در آن سیگنال ورودی بین بیس و امیتر اعمال شده و امیتر بین ورودی و خروجی مشترک میباشد . مدار شکل ۴-۵ یک مدار CE را با یک منبع تغذیه نشان میدهد . قبلاً مدار CB در مورد بایاس قرار گرفت دارای دو منبع ولتاژ بود که در یکی برای تغذیه مستقیم پیوند بیس - امیتر و دیگری برای تغذیه معکوس پیوند کلکتور - بیس بکار میرفت . در اینجا برای بایاس کردن مدار CE از یک منبع تغذیه برای بایاس مستقیم و معکوس پیوندها استفاده میکنیم . بعداً مزایای هر کدام از این مدارها را از نقطه نظر امپدانس ورودی[1] و خروجی[2] و بهره تقویت جریان و ولتاژ سیگنال ac بررسی خواهیم کرد . در این فصل فقط راجع به بایاس dc آن

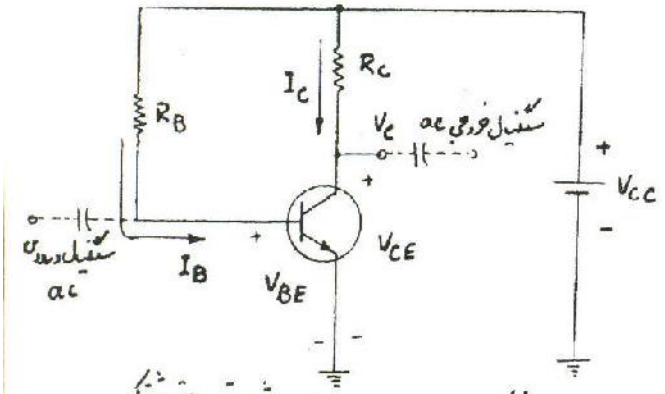
---

۱) Input - Impedance

۲) output - Impedance

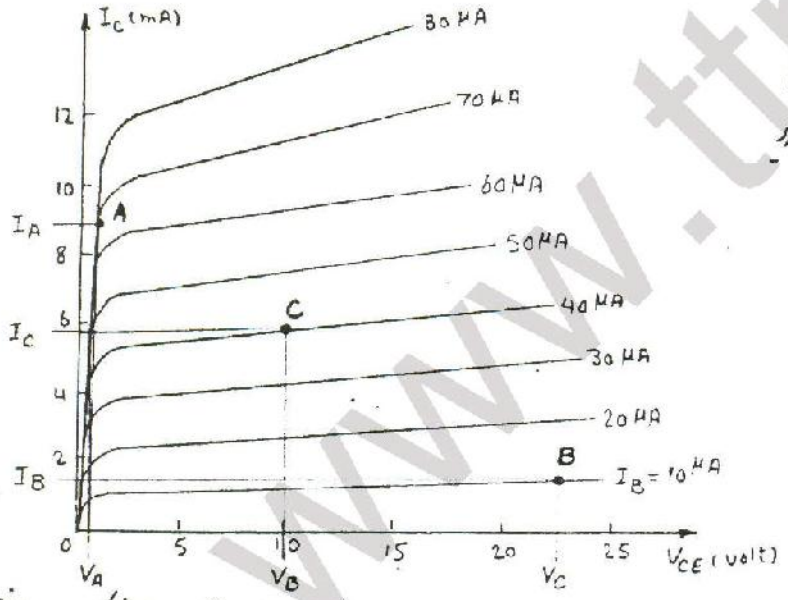
مدار صحیح تنظیم کند . سایر پارامترهای این مدار در فصل ۵ بررسی خواهد شد .

گرچه از روش ریاضی (یا روش ترسیمی) می‌توان ولتاژ و جریان بایس مدار را بدست آورد ، اما برای انتخاب یک نقطهٔ کار مشخص ترجیح داده می‌شود از مشخصات کلکتور CE استفاده شود . شکل ۴-۶ مشخصات خروجی CE یک ترانزیستور را همراه چند نقطهٔ کار نشان می‌دهد . با توجه به شکل ۴-۵ مشخص می‌شود که منبع تغذیه V_{CC} با ثابت نگه داشتن مقادیر ثابت R_B و کلکتور R_C جریان و ولتاژ کلکتور را در مدار برقرار کرده و ولتاژ بین بیس و کلکتور و جریان (بیس مشترک) برقرار می‌سازد .



شکل ۴-۵ : مدار بایس ثابت امیتر مشترک .

با توجه به بحثی که در مورد انتخاب نقطهٔ کار در قسمت ۴-۲ انجام گرفت ، بهتر می‌رسد که نقطهٔ کار مناسب برای این مدار (CE) نقطهٔ C بر نشان داده شده در شکل ۴-۶ باشد . انتخاب نقطهٔ C به این دلیل است که در محدودهٔ تغییرات ولتاژ در دو طرف این نقطه برای سیگنال ac افزایش یابد .



شکل ۴-۶ : مشخصات کلکتور ترکیب امیتر مشترک همراه چند نقطهٔ کار

قیمت ذکر شده در این فصل راجع به سیلیکون خواهد بود .

برای تحلیل[1] یک مدار خاص با تعدادی المانهای معلوم و یک یا دو المان مجهول ، معمولاً یک نقطهٔ کار مشخص برای مدار تعیین می‌شود و سپس مقادیر المانهای مجهول محاسبه می‌گردد . برای سنتز[2] یک مدار ، مقادیر المانها و نقطهٔ کار مشخص برای مدار تعیین می‌گردد .

برای نشان دادن تحلیل و سنتز در بایس کردن یک ترانزیستور ، ابتدا یک مدار مشخص را بررسی می‌کنیم و سپس طراحی یک مدار با نقطهٔ کار خاص مورد بررسی قرار می‌گیرد .

۴-۵ : بررسی بایاس برای یک مدار بایاس ثابت[3]

مدار شکل ۴-۵ یک مدار بایاس ثابت است که در آن جریان بیس (I_B) مستقل از جریان بتا[4] (β یا h_{FE}) ترانزیستور است .

---

1) analysis
2) Synthesis
3) Fixed – bias
4) Current gain

www.tnar.ir

برابر 50 می‌باشد . هدف ما بررسی و محاسبه‌ی مقادیر جریان‌ها یعنی I_B و کلکتور I_C و همچنین مقادیر ولتاژ‌ها یعنی ولتاژ بیس - امیتر (V_{BE}) و کلکتور امیتر (V_{CE}) می‌باشد . این اطلاعات برای تعیین بایاس صحیح مدار و همچنین بررسی تغییر نقطه کار در اثر تغییر دادن بعضی از عناصر و تنظیم آنها ، مورد استفاده قرار خواهد گرفت .

ما در اینجا از آشنتن معادلات بیشتر جلوگیری کرده و فقط با ذکر این قوانین کرشهف به مدار ترانزیستور مقادیر جریان‌ها و ولتاژ‌ها را بدست خواهیم آورد . بعلاوه با استفاده از ثوابط ولتاژ و جریان‌ها می‌توان از روش قدم - به - قدم استفاده کرده و درک عمیقی از کار مدار و مقادیر مختلف جریان‌ها و ولتاژ‌ها بدست آورد . هدف ما از این روش اینست که جواب عددی بدست آمده از روش ریاضی نظیر مکانیکی مورد استفاده قرار گیرد زیرا این عمل باعث بوجود آمدن درک بیشتر از مفهوم و کار کرد مدار برای خواننده خواهد شد . در خلال این مراحل عنوان بعد پیشوال « آیا مقادیر محاسبه شده منطقی و با معنی هستند » بعد برای ما مطرح باشد .

ترانزیستور شکل ۵-۴ می‌تواند بصورت کلید تقویت کننده مورد استفاده قرار گیرد . از نقطه نظر بعد پیوند بیس - امیتر بصورت مستقیم و پیوند بیس - کلکتور بصورت معکوس بایاس شده . حال ببینیم در با استفاده از یک منبع تغذیه نظیر شکل ۵-۴ چگونه می‌توان به این هدف رسید ؟ ولتاژ مثبت باتری V_{CC} از طریق مقاومت R_B به بیس متصل است ، در بیس نسبت به امیتر (در شرکت می‌باشد) ولتاژ مثبتی ایجاد می‌کند . دیود پیوند بیس بصورت مستقیم بایاس شده است تا جریان زیادی از ترانزیستور گذشته و باعث ولتاژ مقاومت تغذیه و یا مقاومت بیس . مشاهده می‌شود که بایاس کردن این پیوند لازم است در مقایسه منبع تغذیه باید بطوری انتخاب گردد تا ولتاژ بیس - امیتر در جهت بایاس مستقیم قرار گیرد . یک روش برای بخاطر سپردن چگونگی صحیح برای بایاس مستقیم اینست که توجه داشته باشیم که ماده نوع P باید به مثبت (Positive) و ماده نوع n باید به منفی (negative) باتری متصل گردد . برای مدار شکل ۵-۴ این روش ایجاب می‌کند که بیس (ماده نوع P) به قطب مثبت و امیتر (ماده نوع n) به قطب منفی متصل گردد . و لطف در روش شکل مذکور مرتبط شده این عمل عنایت شده است . برای یک ترانزیستور سیلیکن افت ولتاژ در دو سر پیوند مستقیم حدود 0.7 ولت است در این مقدار تاثیر مقدار جریان بیس ، درجه حرارت و سایر عوامل ممکن است بین 0.5 تا 1 ولت تغییر نماید . برای کارهای فعلی ما ، این مقدار را همواره همان 0.7 ولت می‌توان در نظر گرفت . برای ترانزیستور ژرمانیم این مقدار برابر 0.3 ولت می‌باشد .

بایاس معکوس ترانزیستور نیز توسط همین منبع تغذیه تامین می‌شود . برای یک ترانزیستور npn برای ایجاد بایاس معکوس در پیوند کلکتور بیس باید ولتاژ کلکتور مثبت تر از ولتاژ بیس باشد ؛ یعنی ، ولتاژ بیس - کلکتور لطرف ماده نوع n باید مثبت تر (Positive) و لطرف ماده نوع P باید منفی تر (negative) گردد . لطف در شکل ۵-۴ ملاحظه می‌کنید منبع تغذیه بین برای کلکتور و امیتر قرار دارد ، حال می‌خواهیم ببینیم چگونه در این ثوابط ، پیوند کلکتور بیس بصورت معکوس بایاس می‌شود ؟ توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که در بایاس کردن مستقیم پیوند بیس - امیتر ، ولتاژ بیس نسبت به امیتر در حدود حدود دهم ولت مثبت‌تر می‌شود . مادامی که ولتاژ کلکتور خیلی مثبت‌تر از ولتاژ V_{BE} باشد ، می‌توان گفت که ولتاژ بین کلکتور بیس (V_{CB}) مثبت است . (زیرا کلکتور خیلی مثبت و بیس کمی مثبت است) و نتیجتاً پیوند کلکتور بیس بصورت معکوس بایاس خواهد شد . اگر ولتاژ کلکتور آنقدر که نسبت به امیتر در حدود

جهت درست باشد، در صورت دیگر پیوند کلکتور-بیس بصورت معکوس بایاس شده و جریان کلکتور قابل توجه نخواهد بود. در این حالت ترانزیستور نمی‌تواند بصورت تقویت کننده استفاده شود. در صورتی که پیوند کلکتور-بیس مستقیم بایاس شود، ترانزیستور دچار اشباع می‌شود که در این حالت در مدارهای کامپیوتری مورد استفاده دارد، ولی این را برای تقویت کنندگی مناسب نیست. این نوع ترانزیستورها با سوئیچ در فصل ۱۳ در رابطه با مدارهای سوئیچینگ "کلمپ شده" مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

بنابراین، ملاحظه شد که با استفاده از یک منبع تغذیه می‌توان بایاس مستقیم و معکوس برای پیوندهای ترانزیستور ایجاد نمود و از این نقطه کار مناسب بایاس نمودن یک ترانزیستور بصورت تقویت کننده معرفی شد. یک ترانزیستور pnp از نظر اینکه در رابطه ترانزیستور npn گفته شد بایاس می‌شود. تنها تفاوت در رابطه با این دو ترانزیستور وجود دارد که در منبع تغذیه pnp باید عکس حالت npn انتخاب شود و در ضمن تمام ولتاژها و جریانها نشان داده شده در شکل ۵-۴ برعکس خواهند شد. ولی، مقدار و سه‌شان برای این مقادیر، تغییر نخواهد کرد.

۶-۴ : محاسبه نقطه کار برای مدار بایاس - ثابت

حال مدار بایاس - ثابت شکل ۵-۴ را در نظر می‌گیریم، سعی خواهیم نمود چگونه می‌توان جریانهای dc بایاس و ولتاژهای بایاس و کلکتور ترانزیستور را بدست آورد؟ در این قسمت با استفاده از روش قدم به قدم - به - قدم پیشروی فوق جواب داده و از آنجا روش تجزیه و تحلیلی که مدار بایاس ثابت را بدست خواهد آورد.

قسمت ورودی

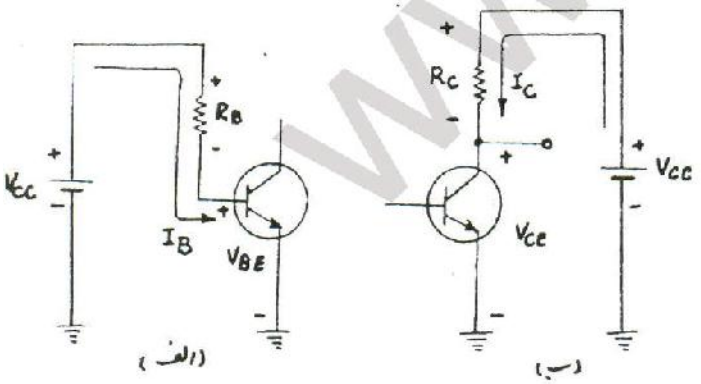
برای انکار بکار بردن روش تجزیه و تحلیلی قدم به قدم ابتدا فقط مدار حلقه بیس - امیتر را مانند شکل (الف) ۷-۴ در نظر می‌گیریم. با نوشتن معادله ولتاژ کرشهف برای این حلقه، بدست می‌آوریم:

$$+V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} = 0$$

معادله فوق را جهت جریان بیس I_B حل می‌کنیم:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \qquad (\text{الف } ۴-۴)$$

چون مقادیر ولتاژ منبع تغذیه V_{CC} و ولتاژ بیس - امیتر V_{BE} مقادیری ثابتی هستند، بنابراین با انتخاب یک مقدار مناسبی برای مقاومت بیس، مقدار جریان بیس ثابتی بدست می‌آید. با یک ترتیب جدید معادله از جمله دوم بدست آمده در پیوند بیس - امیتر حذف می‌شود و برای مسیر جریان بیس از رابطه ساده شده زیر استفاده نمود:



شکل ۷-۴ : حلقه‌های ورودی و خروجی

الف) حلقه ورودی بیس - امیتر ؛ ب) حلقه خروجی کلکتور - امیتر

www.tiran.ir

$$I_B \approx \frac{V_{CC}}{R_B} \qquad (۴-۴ \text{ ب})$$

قسمت خروجی

قسمت خروجی مدار (شکل ۴-۷ ب) از یک منبع تغذیه، مقاومت کلکتور (بار)، و پیوند کلکتور - امیتر ترانزیستور تشکیل شده است. بعلت کم بودن جریان بیس I_B، جریانهای امیتر و کلکتور تقریباً مساوی می‌باشند. برای تقویت کننده‌ای که در ناحیه خطی عمل می‌کند جریان بیس و کلکتور توسط رابطه تقویت جریان ترانزیستور، β یا h_{FE} بهم مربوط می‌باشند. به زبان ریاضی می‌توان نوشت:

$$I_C = \beta I_B \qquad (۴-۵)$$

جریان بیس را می‌توان از قسمت بیس - امیتر توسط روابط (الف ۴-۴) و یا (ب ۴-۴) بدست آورد. همانطور که از رابطه (۴-۵) مشخص است، جریان کلکتور هر مرتبه بزرگتر از جریان بیس بوده و بمقاومت متصل بکلکتور بستگی ندارد. از بررسی قبلی در مورد مدار بیس مشترک الزام شد، ملاحظه می‌شود که جریان کلکتور در قسمت بیس - امیتر مدار تقسیم شده و به قسمت کلکتور - بیس (یا کلکتور - امیتر در اشباع) مربوط نیست.

با جمع افت ولتاژ در حلقه خروجی، بدست می‌آید:

$$V_{CC} - I_C R_C - V_{CE} = 0$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \qquad (۴-۶)$$

رابطه فوق نشان می‌دهد که مجموع افت ولتاژ بین جریر کلکتور - امیتر و افت ولتاژ مقاومت R_C برابر ولتاژ منبع تغذیه (V_{CC}) می‌باشد. این مطلب را می‌توان به گونه‌ای دیگر نیز بیان کرد: منبع تغذیه V_{CC}، ولتاژ دو سر مقاومت کلکتور و ولتاژ بین خروجی کلکتور - امیتر را تأمین می‌نماید - و یا اینکه ولتاژ بین سر کلکتور - امیتر با تفاوت تفریق ولتاژ منبع تغذیه از افت ولتاژ دو سر مقاومت کلکتور می‌باشد.

اشباع ترانزیستور

در بررسی‌های فوق یک جنبه دیگر باید بدقت در نظر گرفته شود، و آن اینکه، رابطه بین جریان بیس و کلکتور بصورت $I_C = \beta I_B$ تنها هنگامی صادق است که ترانزیستور بطور صحیح بایس شده و در منطقه خطی ناحیه کار قرار گیرد. بعنوان مثال، اگر ترانزیستور را طوری بایس کنیم که در ناحیه اشباع قرار گیرد، در اینصورت نمی‌توان روابط (۴-۵) و (۴-۶) تابع ولتاژ و جریان را بکار برد.

برای آنکه ترانزیستور در منطقه خطی کار قرار گیرد (و نه در نواحی قطع و اشباع نرود) باید پیوند امیتر - بیس بصورت مستقیم و پیوند کلکتور - بیس بصورت معکوس بایس گردد. در اینجا توجه ما در مورد شرط دوم است - یعنی باید دقت نماییم که در پیوند کلکتور - بیس

عنه لصورت معکوس بایس شده باشد . این شرط همچنان برقرار است در ولتاژ کلکتور - امیتر V_{CE} بزرگتر از ولتاژ مستقیم امیتر - بیس V_{BE} باشد . با توجه به رابطه (۴-۶) ملاحظه میشود در ولتاژ کلکتور - امیتر V_{CE} تقاضی ولتاژ منبع تغذیه V_{CC} و افت ولتاژ دو سر مقاومت کلکتور ($I_C R_C$) می باشد ، بنابراین V_{CC} باید بزرگتر از افت ولتاژ دو سر مقاومت کلکتور بوده و یا حاصل جریان کلکتور I_C ، این جریان باید کوچکتر از $\frac{V_{CC}}{R_C}$ باشد . یا زبان ریاضی :

$$I_C < \frac{V_{CC}}{R_C} \qquad (۴-۷)$$

برای اینکه ترانزیستور در ناحیه فعال (خطی) کار کند باید شرط فوق برقرار گردد . با برقراری این رابطه میتوان از رابطه (۴-۵) استفاده نمود . در اینصورت میتوان از سه مرحله گفته شده برای نشان دادن کار دوار استفاده نمود . اگر مقدار جریان I_C را چند مقدار مختلف داده شده توسط رابطه فوق ($\frac{V_{CC}}{R_C}$) باشد ، در اینصورت ترانزیستور در ناحیه اشباع کار خواهد نمود . در اینصورت جریان کلکتور دارای مقدار ماکزیمم میشود در رابطه مدار تعیین میگردد :

$$I_{C_{sat}} \approx \frac{V_{CC}}{R_C} \qquad (۴-۸)$$

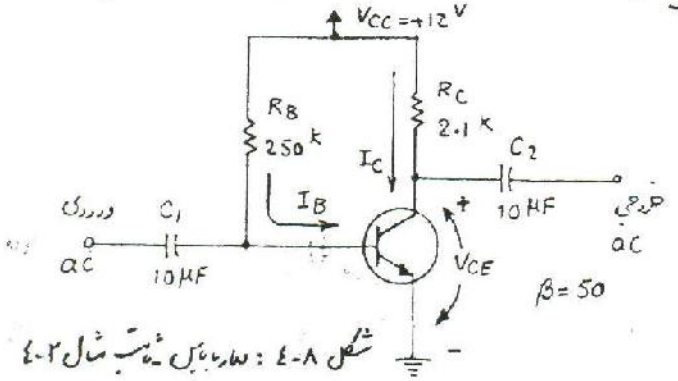
و

$$V_{CE_{sat}} \approx 0\ V \quad \text{(عملاً در حدود چند دهم ولت)} \qquad (۴-۹)$$

جریان بیس در رابطه (۴-۱) در بدترین شرایط در هر حال صفر است .

اگر ترانزیستور بصورت تقویت کننده کار کرده ، باید در منطقه اشباع بایس گردد . معذلک اگر بعضی از مقادیر صحیح انتخاب نشوند و یا بعضی از اشتباهات صورت گیرد ، در اینصورت امکان دارد ترانزیستور وارد منطقه اشباع شود در بادی از این امر جلوگیری بعمل آید (نباید باشد در حالت اشباع ترانزیستور فقط برای عملکرد تقویت کنندگی آن مطلوب است . برای مدارات سوئیچینگ کاربردی منطقه اشباع ترانزیستور کاربرد بیشتری دارد در مورد آن در فصل ۱۳ بطور کامل بحث خواهیم کرد) .

مثال ۴-۲ : ولتاژ و جریان dc بایس را برای ترانزیستور npn سیلیکونی در مدار CE شکل ۴-۸ بدست آورید .



شکل ۴-۸ : مدار بایس شده مثال ۴-۲

حل :

الف)

$$I_B = (V_{CC} - V_{BE}) / R_B$$

$$\approx V_{CC}/R_B = 12^V / 250^K = 48^{\mu A}$$

ب)

$$I_C = \beta I_B = 50\,(48^{\mu A}) = 2.4^{mA}$$

www.tnar.ir

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 12 - (2.4\ mA)(2.1\ K) = 12 - 5 = 7\ V$$ (ع

۴-۷: پایداری نقطه کار[1]

گرچه مدار بایس ثابت دارای تقویت خطی برای تقویت کننده لازم می‌آورد، ولی پایداری نقطه کار در این مدار چندان مطلوب نیست. دو عامل مؤثر در تغییر نقطه کار ترانزیستور، تغییر در دمای محیط است:

۱- جریان اشباع معکوس (جریان نشتی) I_{CO}، در ازای افزایش $15^{\circ}C$ دوبرابر می‌شود.

۲- ولتاژ بیس-امیتر، V_{BE}، در ازای افزایش هر یک درجه سانتی‌گراد، $2.5\ mV$ کاهش می‌یابد.

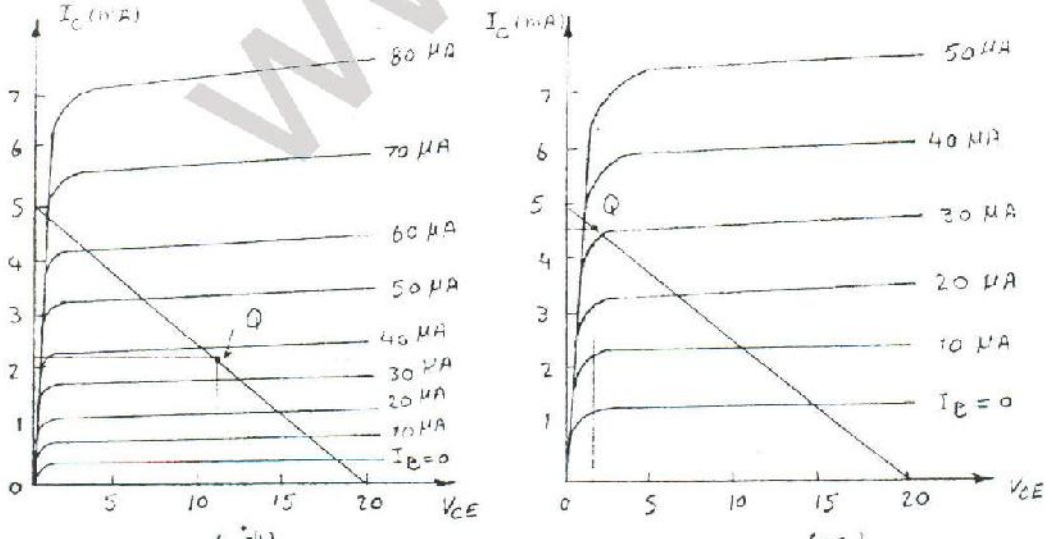
۳- درجه تقویت جریان ترانزیستور، β، در اثر افزایش درجه حرارت، افزایش می‌یابد.

هر یک از این سه عامل و یا همه آنها می‌توانند نقطه کار را از مقدار واقعی، در اثر تغییر درجه حرارت، تغییر دهند. جدول ۴-۱ مقادیر نمونه‌ای از پارامترهای فوق را برای ترانزیستور سیلیکن نشان می‌دهد.

T (°C)	I_{CO} (mA)	β	V_{BE} (V)
-65	0.2×10^{-3}	20	0.85
25	0.1	50	0.65
100	20	80	0.48
175	3.3×10^{3}	120	0.3

جدول ۴-۱ مقادیر نمونه‌ای پارامترهای ترانزیستور سیلیکن

ابتدا بررسی تغییر نقطه کار علت تغییر جریان نشتی و درجه تقویت جریان در اثر تغییر درجه حرارت صورت می‌گیرد، سپس راه‌حل



شکل ۴-۹: تغییر نقطه کار (نقطه Q) در اثر تغییر درجه حرارت: الف) $25^{\circ}C$ ؛ ب) $100^{\circ}C$.

---

(1) bias stabilization

www.tnar.ir

شکلهای (الف) ۹-٤ و (ب) ۹-٤ را در نظر بگیرید. این شکلها مشخصه‌ی کلکتور یک ترانزیستور را در دو درجه حرارت اتاق (25°C) و درجه حرارت بالاتر (100°C) نشان می‌دهند. ملاحظه می‌شود که افزایش ناچیز جریان نشتی، نه تنها بایاس بالانس نهایی را شیفت نمی‌دهد، بلکه همانطور که در شکل (ب) نشان می‌دهد افزایش β بر اثر افزایش درجه حرارت موجب زیادشدن ناحیه‌ی اشباع نیز شده است.

نقطه کار را می‌توان با رسم خط بار روی مشخصه کلکتور و با در نظر گرفتن محل تقاطع آن با منحنی مربوط به جریان بیس در توسط مدار روی تعیین نمود، بدست آورد. بعنوان مثال یک نقطه مانند Q روی شکل (الف) ۹-٤ بدست میاید. همانطور که قبلاً گفته شد در مدار بایاس ثابت جریان بیس تقریباً به مقدار منبع تغذیه، و مقاومت بیس بستگی داشته و تغییر درجه حرارت و یا تغییر جریان نشتی و یا β تأثیری روی آن ندارد. بنابراین در درجه حرارت 100°C نیز جریان بیس همان مقدار قبلی خواهد داشت. این بایاس مشخص در نقطه کار بر اثر افزایش درجه حرارت، همانطور که در شکل (ب) ۹-٤ نیز نشان داده شده، تغییر کرده و جریان کلکتور این نقطه افزایش و در نتیجه کلکتور بیس آن کاهش یافته. بدین ترتیب ملاحظه می‌شود که نقطه کار ترانزیستور بطرف منطقه اشباع حرکت می‌نماید. در هر صورت این نقطه کار هیچ وقت ممکن است ابداً قابل قبول نبوده و علت تغییرات موجب انجماع در ترانزیستور گردد. بنابراین لازم با بایاس تعریف می‌شود بایاری نقطه کار را حفظ کند و آنرا در همان مقدار اصلی خود در قبال تغییر شده ثابت نگهدارد، حتی در شده. با استفاده از بایاس با پایداری تقویت کننده می‌تواند در محیطی با درجه حرارت متغیر نیز بخوبی عمل کند.

ضریب پایداری، S

برای هر یک از عناصر در پایداری نقطه کار موثرند، میتوان یک ضریب پایداری S، تعریف نمود. این ضرایب عبارتند از:

$$S(I_{C_0}) = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{C_0}} \qquad S(V_{BE}) = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}} \qquad S(\beta) = \frac{\Delta I_C}{\Delta \beta}$$

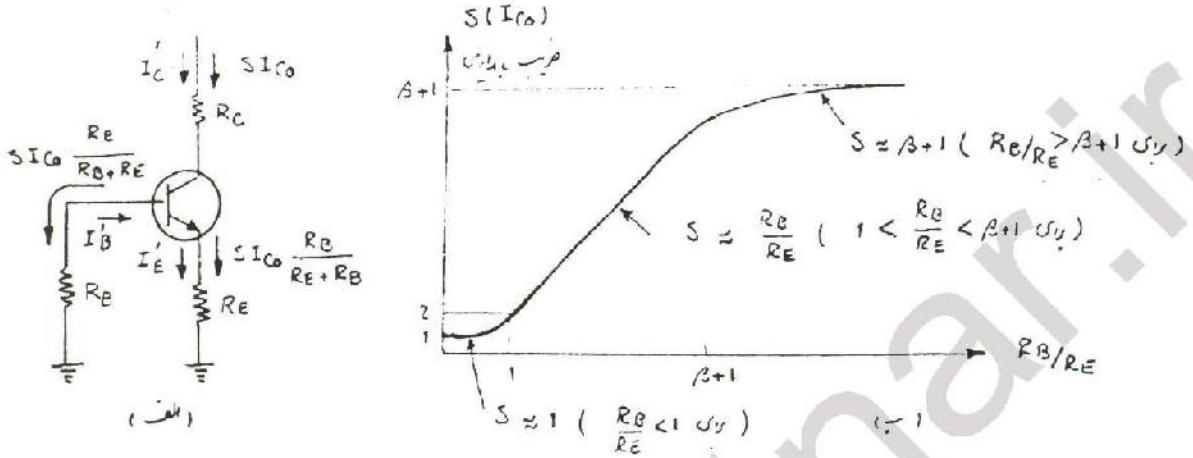
ضریب پایداری یک کمیت عددی است در مقدار تغییر جریان کلکتور را نسبت به تغییر هر یک از پارامترهای یاد شده، بر اثر تغییر درجه حرارت نشان میدهد. با استفاده از روابط و تجزیه و تحلیل ریاضی میتوان تأثیر عناصر مختلف در مدار را روی پایداری نقطه کار مشاهده نمود و هم مقادیر نمود و نشان داد در هر یک از پارامترهای ترانزیستور چه تأثیری میتوانند روی نقطه کار داشته باشند.

$S(I_{C_0})$: شکل (الف) ۱۰-٤ یک مدار اصلی ترانزیستور و تأثیر جریان I_{C_0} را نشان میدهد. شکل (ب) ۱۰-٤ نتیجه تجزیه و تحلیل پایداری مدار با در نظر گرفتن تغییرات I_{C_0} است را نشان میدهد (در اینجا فرض شده که V_{BE} ثابت باشد). با توجه به شکل (ب) ۱۰-٤ ملاحظه می‌شود که تغییرات ضریب پایداری برای مقدار $S = 1$ در حالت ایده‌آل (بهترین شرایط) میباشد تا که مقدار $S = \beta + 1$ است (در یک مدار بایاس ثابت تقریباً مقدار R_B / R_E نزدیک به β میباشد). بنابراین، ضریب پایداری با افزایش مقدار R_B کمتر شده و بنابراین مشخص می‌شود که در حالت ایده‌آل مقاومت R_B باید صفر باشد تا ضریب پایداری نقطه کار را بهتر

کمیه و با عبارت دقیق S را کمتر می‌سازد .

$$S(I_{C_0}) = \frac{(\beta+1)(1+R_B/R_E)}{(\beta+1)+R_B/R_E} \qquad (۴-۱۵)$$

در ترانزیستوری جدید مقدار I_{C_0} نسبتاً کم است (به جدول ۴-۱ مراجعه کنید) در حتی با مقادیر زیاد $S(I_{C_0})$ نیز تغییرات کلکتور خواهد بود . این مسئله با ارائه مثال روشن می‌شود .



شکل ۴-۱۵ : تأثیر I_{C_0} بر نقطهٔ کار .

مثال ۴-۳ : با استفاده از ترانزیستوری که پارامترهای آن در جدول ۴-۱ مشخص شده ، تغییرات جریان I_C را برای تغییر درجه حرارت از $25^\circ C$ تا $100^\circ C$ برای یک مدار الف) بایاس ثابت ، ب) با $R_B/R_E = 10$ ، و ج) $R_B/R_E \ll 1$ محاسبه نمائید .

حل : با توجه به تغییرات درجه حرارت از $25^\circ C$ تا $100^\circ C$ ، تغییرات I_{C_0} برابر می‌شود با :

$$\Delta I_{C_0} = (20 - 0.1)\,mA \approx 20\,mA .$$

الف) برای مدار بایاس ثابت $S = \beta+1 = 51$ است و با استفاده از تعریف پایداری خواهیم داشت :

$$\Delta I_C = S(\Delta I_{C_0}) = 51(20\,mA) \simeq 1\,\mu A$$

ب) برای $S = R_B/R_E = 10$ داریم :

$$\Delta I_C = 10 . \Delta I_{C_0} = 10(20\,mA) = 0.2\,\mu A$$

ج) برای $S = 1$:

$$\Delta I_C = 1(20\,mA) = 20\,mA$$

گرچه تغییرات I_C در مدارهای با پایداری متوسط ($S = \beta+1$) می‌باشد ، مدارهای با پایداری خوب نیز لازم است

(مدار مثال ، S=51) نظر به مقدار نسبتاً کم S مقاومت می باشد ، ولی کاملاً تغییرات I_C محسوس نیست . به عنوان مثال ، اگر جریان I_C در نقطه کار 2 mA در نظر بگیریم با توجه به مثال فوق در مدار بدون شرایط تغییرات آن 1 μA (یعنی جریان بمقدار 2.001 mA) افزایش خواهد یافت (0.05%) ، در این تغییرات نسبتاً کوچک است که می توان از آن صرف نظر نمود . بعضی از ترانزیستورها قدرت دارای جریان نشتی بیشتری می باشند ، ولی بازهم بیشتر مدارها را تحت تأثیر I_{CO} در روی نقطه کار و اثر تغییرات بر حرارت ناچیز خواهد بود .

$S(V_{BE})$: بدین ترتیب ضریب پایداری بر اثر تغییرات V_{BE} بصورت زیر در می آید :

$$S(V_{BE}) = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}} = \frac{-\beta}{R_B + R_E(\beta+1)} \qquad (4-11)$$

$$= \frac{-1}{R_E} \qquad (\beta+1) \gg \frac{R_B}{R_E} \text{ ، } \beta \gg 1 \text{ برای}$$

با توجه به اینکه مقدار کم S ، با پایداری زیاد مدار را نشان می دهد ، بنابراین ملاحظه می شود که افزایش مقدار R_E باعث پایداری بهتر مدار در برابر تغییر V_{BE} بعلت تغییرات حرارت می شود .

مثال ۴-۴ : با استفاده از ترانزیستور به کار برده شده در مدار مثال ۴-۱ تشخیص شده ، تغییرات جریان I_C را برای تغییرات حرارت از $25^\circ C$ تا $100^\circ C$ ، برای مداری با $R_E = 1\,k$ ، و $(\beta+1) \gg R_B/R_E$ بدست آورید .

حل : با استفاده از $S(V_{BE}) = -\frac{1}{R_E} = -\frac{1}{1k} = -10^{-3}$ و $\Delta V_{BE} = (-0.65 + 0.48) = -0.17\,V$ (برای تغییرات حرارت از $25^\circ C$ تا $100^\circ C$) داریم :

$$I_C = S \cdot \Delta V_{BE} = -10^{-3}(-0.17) = +170\,\mu A$$

ملاحظه می شود که تغییر جریان I_C بر اثر تغییر V_{BE} در مقایسه با تغییراتی که بر اثر تغییر I_{CO} بمقدار قابل توجهی است . با استفاده از مقدار $I_C = 2\,mA$ (بعنوان مثال) ملاحظه می شود که با افزایش درجه حرارت از $25^\circ C$ تا $100^\circ C$ مقدار I_C به 2.17 mA افزایش می یابد . (8.5% تغییر) .

با توجه به استفاده از یک وسیله که می تواند تأثیر تغییرات V_{BE} بر اثر تغییر درجه حرارت را از بین ببرد ، به این ترتیب می توان تغییرات دقیقاً برابر و در جهت عکس را در جریان I_C بوجود آورد . با استفاده از مدار جبران کننده[1] توسط تغییرات V_{BE} با جبران[2] کردن جریان I_C ثابت نگه می دارد . با استفاده از ترمیستور[3] نیز می توان تغییرات کلکتور را جبران نمود .

---

1) Compensated
2) Compensation techniques
3) Thermistor

www.ttnar.ir

$S(\beta)$: با تجزیه یکسی تأثیر β بر روی تغییرات درجه حرارت در مدار بایس ، رابطه زیر بدست می‌شود :

$$\frac{\Delta I_C}{I_C(T_1)} = \left(1+\frac{R_B}{R_E}\right)\frac{\Delta\beta}{\beta(T_1)/\beta(T_2)} = \left(1+\frac{R_B}{R_E}\right)\frac{\frac{\beta(T_2)}{\beta(T_1)}-1}{\beta(T_2)} \qquad (۴-۱۲)$$

که در آن

$\beta(T_1)$ = β در درجه حرارت T_1

$\beta(T_2)$ = β در درجه حرارت T_2

$I_C(T_1)$ = جریان کلکتور در درجه حرارت T_1

می‌باشد .

مثال ۵-۴ : تغییرات جریان کلکتور ، برای ترانزیستوری که پارامترهای آن در جدول ۱-۴ مشخص شده ، برای تغییر درجه حرارت از $25^{\circ}C$ تا $100^{\circ}C$ را محاسبه نمائید . فرض کنید در $R_B/R_E=20$ نقطه کار در درجه حرارت اتاق ($25^{\circ}C$) جریان کلکتور I_C برابر $2\,mA$ می‌باشد .

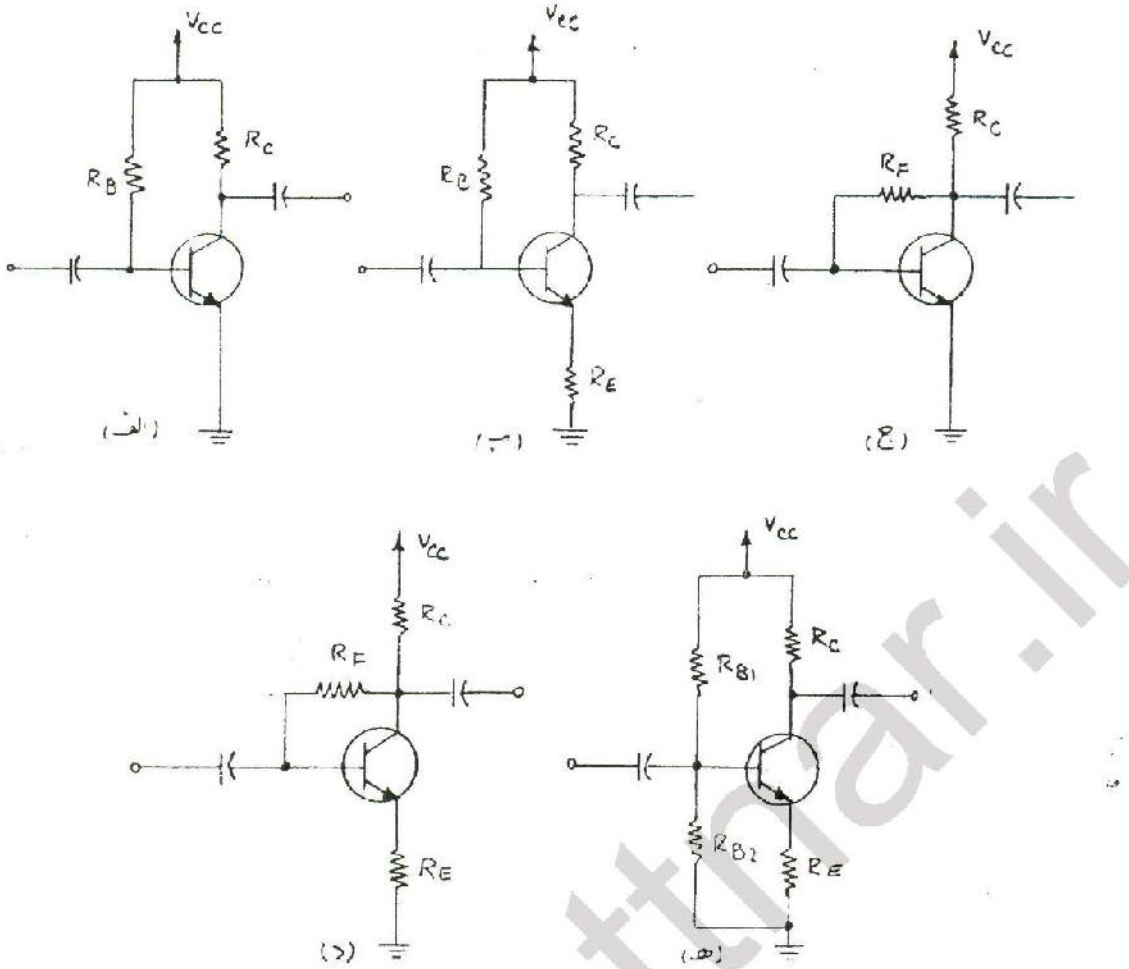
حل : تغییر جریان کلکتور را همانطور که در بالا بدست آورده :

$$\Delta I_C = I_C(T_1)\left[\left(1+\frac{R_B}{R_E}\right)\cdot\frac{\frac{\beta(T_2)}{\beta(T_1)}-1}{\beta(T_2)}\right]$$

$$= 2\,mA\left[(1+20)\cdot\frac{(80/50-1)}{80}\right] = 0.315\,mA = 315\,\mu A$$

بنابراین جریان کلکتور از مقدار $2\,mA$ در درجه حرارت اتاق مقدار $2.315\,mA$ در درجه حرارت $100^{\circ}C$ افزایش پیدا کرده و تغییرات آن در حدود $16\,\%$ می‌باشد .

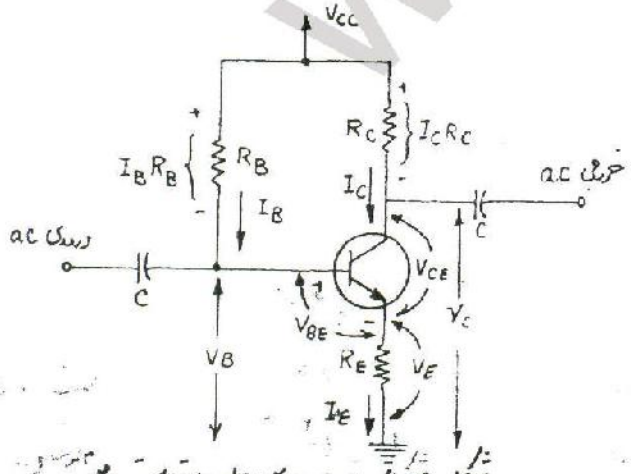
مقایسه سه مثال فوق نشان می‌دهد که از میان تأثیر سه پارامتر یاد شده ، تأثیر β روی تغییر نقطه کار اساساً از همه بیشتر است . تغییرات این پارامتر ، تنها بر اثر درجه حرارت نیست . این پارامترها (I_{CO} ، V_{BE} و β) می‌توانند در یک نوع ترانزیستور از نمونه‌ای به نمونه دیگر نیز تغییر نمایند . به عنوان مثال برای ترانزیستورهای سیلیکونی که در بالا مورد بحث قرار گرفتند ، امکان دارد یک ترانزیستور $\beta=125$ و ترانزیستور دیگر از همان نوع $\beta=300$ باشد . علاوه بر این برای ترانزیستورهای خاص ، مقدار β تابع جریان بایس نقطه و بازاری مقادیر مختلف آن فرق می‌کند . با توجه به تمام این دلایل ، ملاحظه می‌کنید که مدار بایس پایدار خوب معمولاً روی پایداری نقطه کار در برابر تغییرات β متمرکز می‌باشد . شکل ۴-۱۱ چند مدار بایس پایدار کننده نشان داده شده است ، در اکثر آنها در قسمت قبلی بصورت تفصیلی مورد بررسی قرار خواهند گرفت .



شکل ۱۱-٤ : مدارهای با اعمال فیدبک[1] جریان و ولتاژ : الف) بایاس ثابت ؛ ب) فیدبک جریان؛ ج) فیدبک ولتاژ ؛ د) فیدبک جریان و ولتاژ ؛ هـ) بایاس تقسیم-ولتاژ[2]

٨-٤ : مدار بایاس dc با مقاومت امیتر

مدار بایاس dc شکل ۱۲-٤ شامل مقاومت امیتر می‌باشد. در برابر همین تغییرات پایداری نقطه کار مدار بایاس ثابت (در قسمت ٦-٤ بررسی شد) بکار می‌رود. برای تجزیه و تحلیل عملکرد مدار، ابتدا حلقه‌ی بیس-امیتر و سپس کلکتور-امیتر مدار شکل ۱۲-٤ را جداگانه در نظر می‌گیریم.



شکل ۱۲-٤ : مدار بایاس dc با مقاومت امیتر

قسمت ورودی (حلقه بیس-امیتر)

اگر قسمت از مدار شکل ۱۲-٤ که مربوط به ورودی است، در شکل (الف) ۱۳-٤ مشخص شده باشد، با نوشتن معادله ولتاژ کیرشهف برای این حلقه خواهیم داشت:

(1) Feedback

(2) Voltage-divider

www.ttnar.ir

$$V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

با قرار دادن $(\beta+1) I_B$ بجای I_E در رابطه فوق معادل زیر را خواهیم داشت :

$$V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} - (\beta+1) I_B = 0$$

با حل رابطه فوق جریان بیس بدست خواهد آمد :

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta+1) R_E} \simeq \frac{V_{CC}}{R_B + \beta R_E} \qquad (۴-۱۴)$$

دقت شود در مخرج کسر رابطه (۴-۱۴) در مقایسه با رابطه (۴-۴) در مدار بیس مشترک ، به اضافه شدن عبارت $(\beta+1) R_E$ به جای R_E خواهیم داشت .

قسمت خروجی (حلقه کلکتور - امیتر)

با اعمال قانون ولتاژ کیرشهف در حلقه کلکتور - امیتر شکل (ب) ۱۳-۴ مقابل داریم :

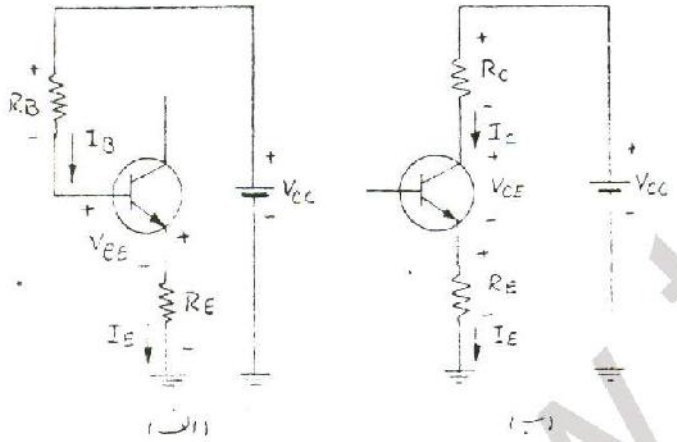
$$V_{CC} - I_C R_C - V_{CE} - I_E R_E = 0$$

با استفاده از رابطه

$$I_C \simeq I_E$$

معادل مختلف مدار بیس مشترک - امیتر بدست آورد :

$$V_{CE} \simeq V_{CC} - I_C (R_C + R_E) \qquad (۴-۱۴)$$



شکل ۱۳-۴ : حلقه ورودی و خروجی مدار شکل ۱۲-۴ :
الف) حلقه ورودی ؛ ب) حلقه خروجی .

ولتاژ امیتر نسبت به زمین برابر است با :

$$V_E = I_E R_E \simeq I_C R_E$$

و ولتاژ کلکتور نسبت به زمین برابر خواهد بود با :

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C$$

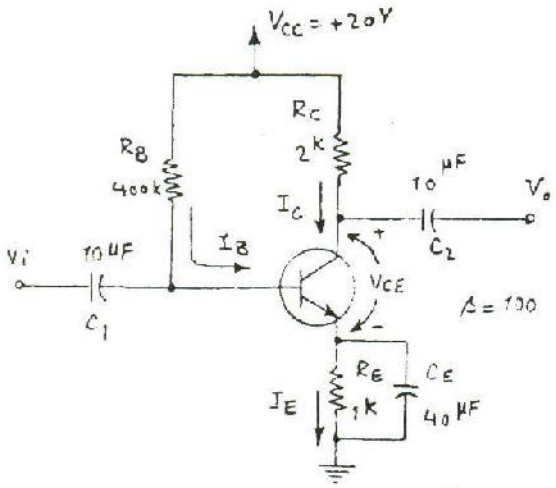
ولتاژ دو سر ترانزیستور توسط آن با بیش از کلکتور به امیتر سنجیده میشود (V_{CE}) در مدار فوق علاوه بر رابطه (۴-۱۴) فوق نیز میتوان از رابطه زیر بدست آورد .

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

www.tnar.ir

مثال ٤-٦ : با توجه به مدار شکل ٤-١٤ کمیتهای جریان و ولتاژ dc بایس را محاسبه کنید .

حل :



شکل ٤-١٤ : مدار بایس با مقاومت امیتر برای مثال ٤-٦ .

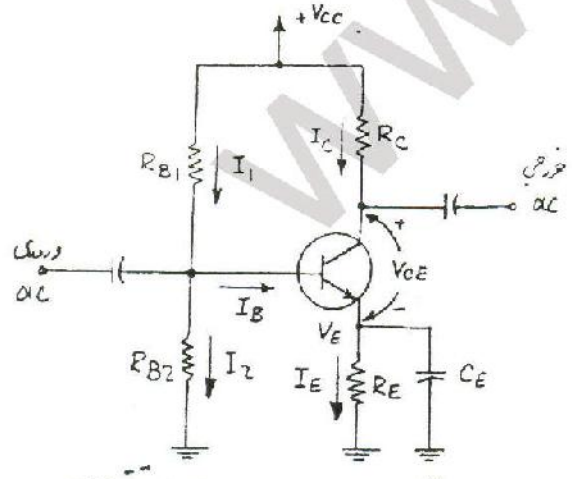
الف)
$$I_B \approx V_{CC}/(R_B + \beta R_E)$$
$$= 20^V/[400^k + 100(1k)] = 20^V/_{500^k}$$
$$= 40\,\mu A$$

ب)
$$I_C = \beta I_B = 100(40\,\mu A) =$$
$$4\,mA \approx I_E$$

ج)
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E$$
$$= 20 - (4\,mA)2^k - (4\,mA)1^k$$
$$= 20 - 8 - 4 = 8^V$$

٤-٩ : مدار بایاس dc مستقل از β

در مدار بهره بایس dc قبلی ، مقدار جریان و ولتاژ بایس کلکتور بستگی به حاصلضرب تقویت جریان ترانزیستور (β) داشت . چون تقویت جریان ترانزیستور (β) به درجه حرارت خصوصاً در ترانزیستورهای سیلیکن و همچنین به علت تفاوت در مقدار اسمی آن . و نیز با تعویض ترانزیستور (از قبیل تعویض ترانزیستور دارای β دو در ترانزیستور دیگری با β یک نوع ، و مسئله پیدایش) لذا طرح مدار بایاسی که توسط آن نقطه کار در بایس dc مستقل از β باشد ، حائز اهمیت است . مدار شکل ٤-١٥ چنین مداری را نشان می دهد که در آن روابط فوق صادق نبوده و لذا این جهت یک مدار بایس خوبی متداول می باشد .



شکل ٤-١٥ : مدار بایاس مستقل از β .

برای تجزیه و تحلیل مدار ابتدا حلقه ورودی را در نظر میگیریم . یک فرض اساسی (که بعداً اثبات خواهد شد) اینست که مقاومت ورودی ترانزیستور که از بیس دیده میشود خیلی بیشتر از مقاومت R_{B2} باشد (شکل ٤-١٦) .

با چنین فرضی جریان گذرنده از مقاومت R_{B1} از مقاومت R_{B2} نیز عبور کرده و لذا می توان بایاس بیس را مقاومت R_{B2} در نظر گرفت . در نتیجه ولتاژ نقطه اتصال دو مقاومت بیس ولتاژ بیس ترانزیستور می باشد . بعبارت دیگر تقسیم مقاومتی ولتاژ منبع تغذیه بین مقاومت R_{B2} و R_{B1} در نظر گرفت . با این ترتیب ولتاژ بیس ترانزیستور ، از طریق تقسیم ولتاژ مقاومت R_{B1} و R_{B2} خواهد

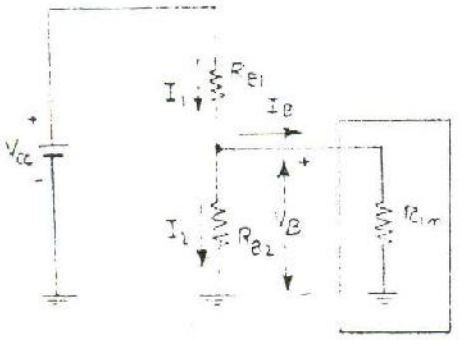
داشت :

$$V_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC} \qquad (۴-۱۵)$$

در آن V_B ولتاژ بیس نسبت به زمین می‌باشد .

همچنین ولتاژ امیتر را از رابطه زیر بدست آورد :

$$V_E = V_B - V_{BE} \qquad (۴-۱۶)$$



شکل ۴-۱۶ : قسمتی از مدار بایس برای محاسبه ولتاژ dc

و همچنین مقدار جریان امیتر از رابطه زیر تعیین می‌شود :

$$I_E \simeq \frac{V_E}{R_E} \qquad (الف ۴-۱۷)$$

و برای بدست آوردن جریان کلکتور نیز هم داشت :

$$I_C \simeq I_E \qquad (ب ۴-۱۷)$$

افت ولتاژ دوسر مقاومت R_C برابر است با :

$$V_{RC} = I_C R_C$$

در نتیجه مقدار ولتاژ کلکتور را (نسبت به زمین) بدست آورد :

$$V_C = V_{CC} - V_{R_C} = V_{CC} - I_C R_C \qquad (۴-۱۸)$$

و بالاخره ولتاژ کلکتور امیتر از رابطه زیر محاسبه می‌شود :

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E \qquad (۴-۱۹)$$

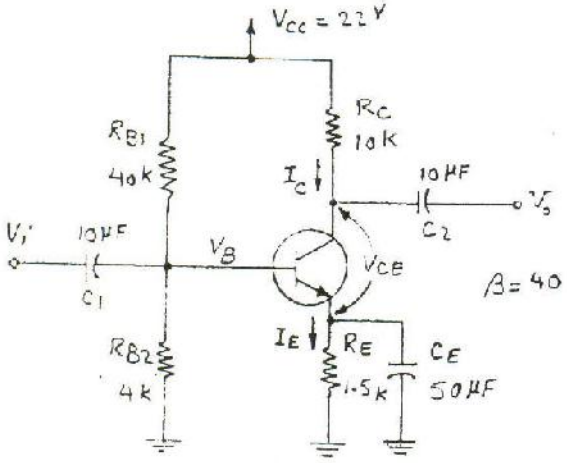
با توجه به روابط فوق بدست آورده (از رابطه ۴-۱۵ تا ۴-۱۹) ملاحظه می‌شود که مقدار β اصلاً مورد استفاده قرار نگرفت . ملاحظه می‌شود که ولتاژ بیس توسط مقاومتهای R_{B1} و R_{B2} و منبع تغذیه تنظیم می‌شود . ولتاژ امیتر تقریباً همان مقدار ثابت ولتاژ بیس را دارد . مقاومت R_E مقدار جریان امیتر (کلکتور) تعیین کرده و بالاخره مقاومت R_C ولتاژ کلکتور (و از روی آن ولتاژ بایس کلکتور - امیتر) را مشخص می‌سازد .

بنابراین می‌توان ولتاژ بیس را با تغییر مقاومت R_{B2} ، و جریان کلکتور را توسط R_E و ولتاژ کلکتور - امیتر را توسط R_C

www.itnar.ir

تنظیم کنید. تغییرات در اجزاء مدار در تنظیم مقادیر بایس تأثیر کمتری دارند. جز تنها یی که در مدار لگاریتمی رفته اند، در عمل تقویت کننده ac تنها در بایس dc وجائی ندارد. در اینجا فقط رجوع به آنها کسب خواهیم کرد.

مثال ۴-۷ : مقادیر جریانها و ولتاژهای dc برای مدار شکل ۴-۱۷ را بدست آورید:



شکل ۴-۱۷ : مدار بایس مستقل از β برای مثال ۴-۷.

حل :

الف) $V_B = [R_{B_2} / (R_{B_1} + R_{B_2})]\, V_{CC}$

$= [4/(40+4)]\,(22) = 2\,V$

ب) $V_E = V_B - V_{BE} = 2 - 0.7$

$= 1.3\,V$

ج) $I_E = V_E / R_E \approx I_C = 1.3\,V / 1.5\,k$

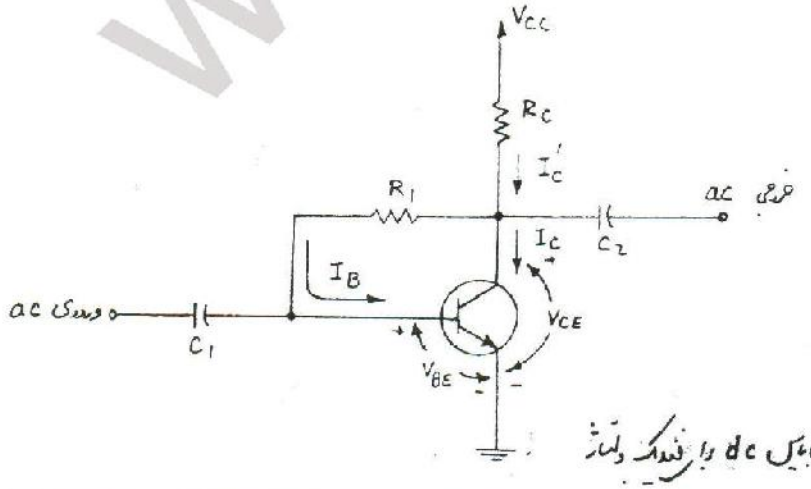
$= 0.87\,mA$

د) $V_C = V_{CC} - I_C R_C = 22 - (0.87\,mA)(10\,k) = 13.3\,V$

هـ) $V_{CE} = V_C - V_E = 13.3 - 1.3 = 12\,V$

۴-۱۰ - محاسبات بایاس dc برای مدار با فیدبک ولتاژی[1]

علاوه بر یک مسیر مقاومت مستقیم برای بالا کردن بایاس، مدار فیدبک ولتاژ نیز می تواند بایاس dc مدار را بهبود بخشد. شکل ۴-۱۸ یک مدار بایس dc با فیدبک ولتاژ را نشان می دهد. در اینجا قسمت بالای مسیر جریان dc و ولتاژی یک مدار مشترک داریم.



شکل ۴-۱۸ : مدار بایس dc با فیدبک ولتاژ

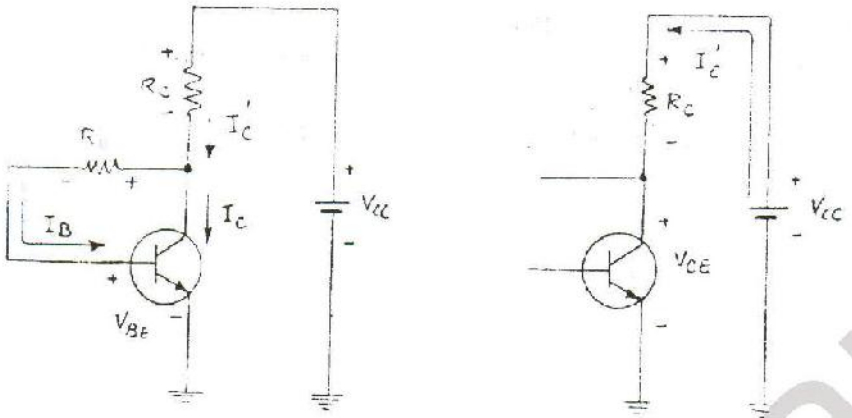
1) Voltage Feedback

www.tnar.ir

قسمت ورودی

شکل (الف) ۱۹-٤ قسمت ورودی (حلقه بیس) مدار فیدبک دار ترانزیستور را نشان می‌دهد. با نوشتن قانون ولتاژ کرشهف در این حلقه بدست می‌آید:

$$V_{CC} - I'_C R_C - I_B R_1 - V_{BE} = 0$$



شکل ٤-۲۱ : قسمت ورودی و خروجی یک مدار بایاس با فیدبک ولتاژ:

الف) قسمت ورودی؛ ب) قسمت خروجی.

جریان I'_C مجموع جریانهای I_C و I_B می‌باشد، و از جمله I_B در مقایسه با I_C خیلی کوچک است بطوریکه می‌توان نوشت:

$$I'_C \approx I_C = \beta I_B$$

با قرار دادن این مقدار در رابطه فوق، خواهیم داشت:

$$V_{CC} - \beta I_B R_C - I_B R_1 - V_{BE} = 0$$

اگر این رابطه را برحسب I_B حل کنیم، خواهیم داشت:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_1 + \beta R_C} \approx \frac{V_{CC}}{R_1 + \beta R_C} \qquad (٤-٢٠)$$

قسمت خروجی

با توجه به قسمت خروجی نشان داده شده در شکل (ب) ۱۹-٤ و با اعمال قانون ولتاژ کرشهف می‌توان نوشت:

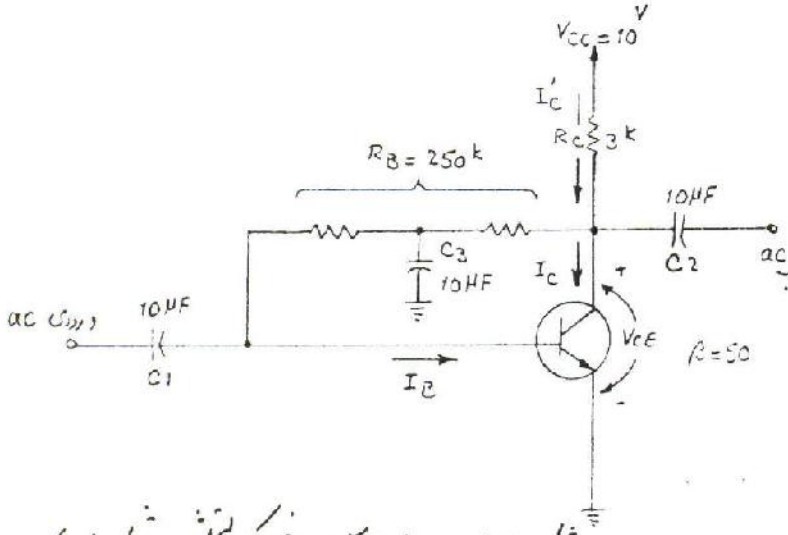
$$V_{CC} - I'_C R_C - V_{CE} = 0$$

با استفاده از $I'_C \approx I_C$ می‌توان رابطه فوق را برحسب V_{CE} حل نمود:

$$V_{CE} \approx V_{CC} - I_C R_C \qquad (٤-٢١)$$

www.tinar.ir

مثال ۸-٤ : برای مدار بایاس نشان داده شده در شکل ٤-۲۰ جریانها و ولتاژهای بایاس را بدست آورید :



شکل ۲۰-٤ : مدار بایس با فیدبک ولتاژ. مثال ۸-٤ .

حل : مقاومت فیدبک مجموع مقاومتهای بین کلکتور و بیس می باشد (خازن در مسیر فیدبک قرار دارد و برای تضعیف و یا جداکردن سیگنال ac است و نقشی در مدار بایس dc ندارد).

الف)

$$(V_{CC}-V_{BE})/(R_B+\beta R_C)$$

$$\approx V_{CC}/(R_B+\beta R_C)$$

$$= 10^V/[250+50(3^k)]$$

$$= 10^V/400^k = 25\,\mu A .$$

ب)

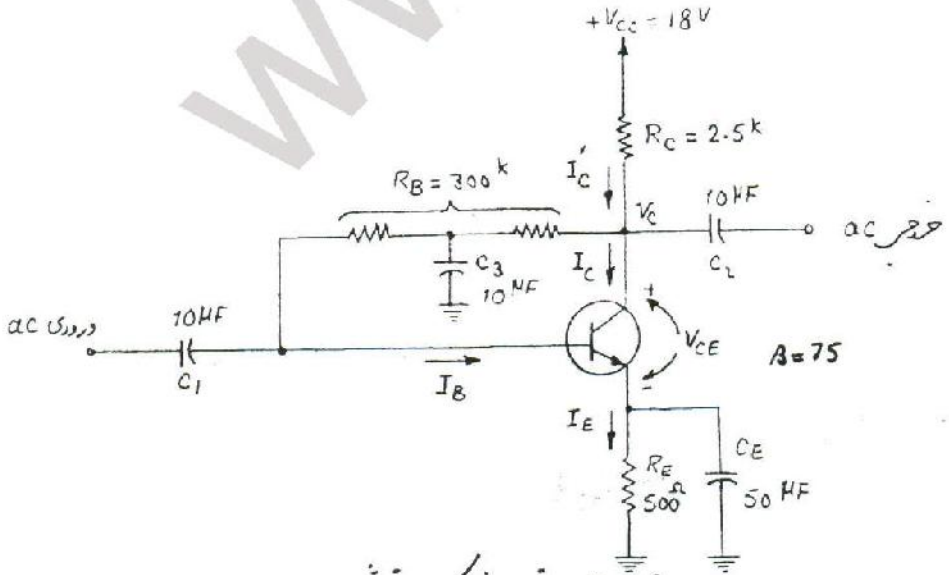
$$I_C' \approx I_C = \beta I_B = 50(25\,\mu A) = 1.25\,mA$$

ج)

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 10 - (1.25^{mA})(3^k) = 10 - 3.75 = 6.25^V$$

مدار بایس dc هم فیدبک بیس دارای مقاومت امیتر بعد هم دارای مدار فیدبک ولتاژی میشد . این نوع مدار بطور کلی در شکل ٤-۲۱ نشان داده شده است . با یک مثال نحوه روش محاسبه مقادیر dc را نشان داد .

مثال ۹-٤ : برای مدار بایس نشان داده شده در شکل ٤-۲۱ . جریانها و ولتاژهای بایس را بدست آورید .



شکل ٤-۲۱ : مدار بایس dc با مقاومت امیتر و فیدبک ولتاژ .

www.tnar.ir

حل :

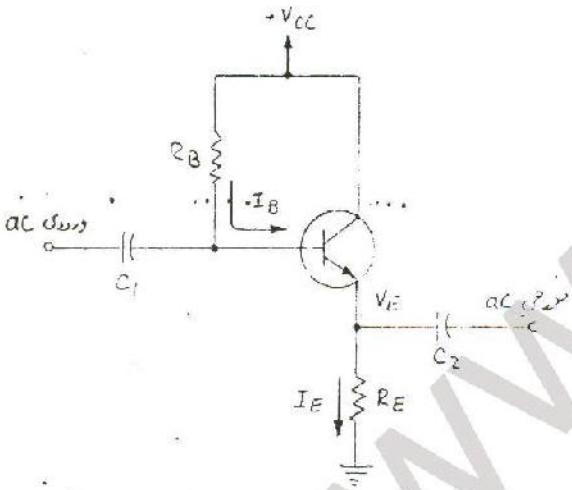
$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta R_C + (\beta+1) R_E} = \frac{18 - 0.7\ V}{300\ k + 75(2.5\ k) + 76(0.5\ k)} \approx 33\ \mu A \qquad \text{(الف)}$$

$$I_C' \approx I_C = \beta I_B = 75(33\ \mu A) \approx 2.5\ mA \qquad \text{(ب)}$$

$$V_{CE} \approx V_{CC} - I_C(R_C + R_E) = 18 - (2.5\ mA)(3\ k) = 10.5\ V \qquad \text{(ج)}$$

۴-۱۱ : مدار بایاس dc کلکتور - مشترک (امیتر فالوور)[1]

سومین مدار ترانزیستوری مدار کلکتور مشترک است که در آن سیگنال ورودی بین بیس و سیگنال خروجی از امیتر گرفته می‌شود و کلکتور برای این سیگنال بین ورودی و خروجی مشترک است. یک مدار ساده CC (که معمولاً امیتر فالوور نامیده می‌شود) در شکل ۴-۲۲ نشان داده شده است. ولتاژ کلکتور ثابت و برابر مقدار ولتاژ مثبت منبع تغذیه است. اگر V_{CE} برابر نصف V_{CC} در نظر گرفته شده در صورت حداکثر تغییرات دو سر[2] سیگنال خروجی می‌تواند بدون اعوجاج ، نوسان کند ، و در نهایت ولتاژ امیتر باید برابر نصف V_{CC} باقی بماند.



شکل ۴-۲۲ : مدار بایس dc امیتر فالوور .

قسمت ورودی

با اعمال قانون ولتاژ کیرشهف برای قسمت ورودی نتیجه می‌شود :

$$V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

با استفاده از روابط جریان ترانزیستور می‌توان نوشت :

$$I_E = (\beta+1) I_B \approx \beta I_B$$

با جایگذاری این رابطه در معادله جریان بیس به دست می‌آوریم :

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta+1) R_E} \approx \frac{V_{CC}}{R_B + \beta R_E} \qquad (۴-۲۲)$$

قسمت خروجی

ولتاژ امیتر نسبت به زمین برابر است با :

$$V_E = I_E R_E \qquad (۴-۲۳)$$

---

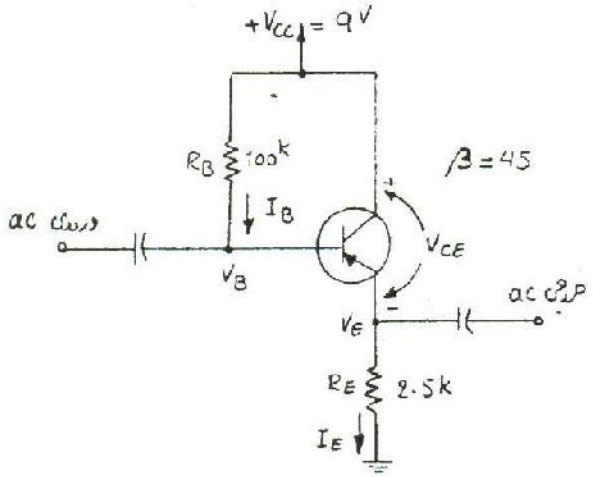
1) Emitter - Follower 2) Voltage swing

www.ttnar.ir

ولتاژ کلکتور امیتر برابر است با :

$$V_{CE} = V_{CC} - V_E = V_{CC} - I_E R_E \qquad (۴-۲۴)$$

مثال ۴-۱۵ : مقادیر جریانها و ولتاژی بایاس را برای مدار نشان داده شده در شکل ۴-۲۳ بدست آورید .



شکل ۴-۲۳ : مدار بایاس امیتر مشترک در مثال ۴-۱۵ .

حل :

الف)
$$I_B \approx V_{CC} / (R_B + \beta R_E) =$$
$$9^V / (100 + 45 \times 2.5) \approx 42\ \mu A$$

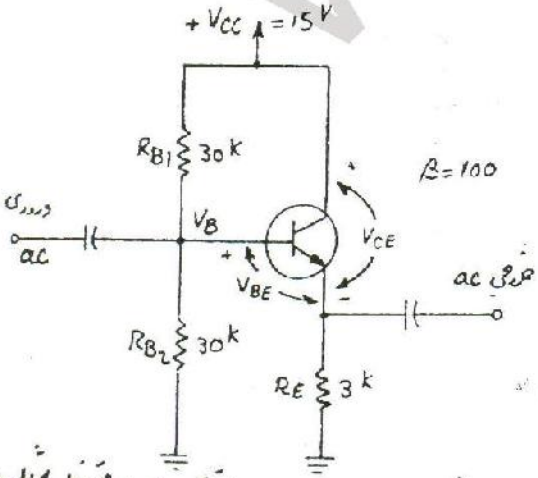
ب)
$$I_E = (\beta + 1) I_B = 46 (42\ \mu A)$$
$$\approx 1.9\ ^{mA}$$

ج)
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_E =$$
$$9 - (1.9\ ^{mA})(2.5\ k) = 4.25^V$$

د)
$$V_E = I_E R_E = (1.9 mA)(2.5k)$$
$$= 4.75^V$$

یک مدار دیگر برای بایاس امیتر مشترک در شکل ۴-۲۴ نشان داده شده است . این مدار هم مثل مدار بایاس dc شکل ۴-۱۵ در بایاس CE بررسی شد ، فقط یک مقاومت بیس به ترتیب جریان β نگذاشته و فقط ترکیب مقاومتها ولتاژ منبع تغذیه تعیین میکنند .

مثال ۴-۱۱ : جریانها و ولتاژی بایاس را برای مدار cc نشان داده شده در شکل ۴-۲۴ بدست آورید .



شکل ۴-۲۴ : مدار بایاس مستقل از بتا برای امیتر مشترک در مثال ۴-۱۱

حل :

الف)
$$V_B = [R_{B2} / (R_{B1} + R_{B2})] (V_{CC}) =$$
$$[30 / (30 + 30)] (15) = 7.5^V$$

ب)
$$V_E = V_B - V_{BE} = 7.5 - 0.7 = 6.8^V$$

ج)
$$I_E = (V_E / R_E) = 6.8^V / 3^k \approx 2.3\ ^{mA}$$

د)
$$V_{CE} = V_{CC} - I_E R_E =$$
$$15 - (2.3\ mA)(3\ k) = 8.1^V$$

www.ttnar.ir

۴-۱۲ : تجزیه و تحلیل ترسیمی نقطهٔ کار

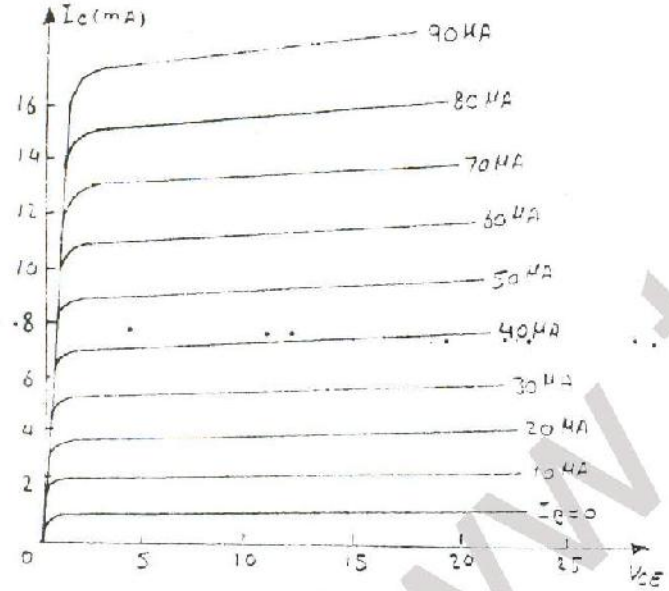
تجزیه و تحلیل دیگری برای مدار بایاس dc مشابه مدار ترانزیستوری صورت گرفت. تجزیه و تحلیل ریاضی اول. تنها با دانستن بهره جریان dc (β) و ولتاژ مستقیم بیس - امیتر (V_{BE}) نقطهٔ کار محاسبه شد. در این قسمت با استفاده از روش ترسیمی به محل نقاط کار در یک مدار بایاس dc می‌پردازیم. این روش، اطلاعات اضافی برای انتخاب نقطهٔ کار بهتر خواهد داد، که در قسمت ۴-۱۳ در طراحی (سنتز) یک مدار بایاس dc استفاده خواهد شد.

مشخصهٔ کلکتور CE، در شکل ۴-۲۵ نشان داده شده است. در این مشخصات تنها عملکرد خروجی ترانزیستور را مشخص می‌کند. با بدست آوردن نقطهٔ کار علاوه بر این مشخصهٔ، عناصر مداری ترانزیستور نیز باید در نظر گرفته شوند. معادلهٔ (۴-۲۵) در مورد قسمت خروجی مدار بدست آمده که خط راست را در صفحهٔ ولت - آمپر (نظیر شکل ۴-۲۶) نشان می‌دهد.

$$I_C = -\frac{1}{R_C} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C} \qquad (۴-۲۵)$$

$$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$$

$$y = m x + b$$

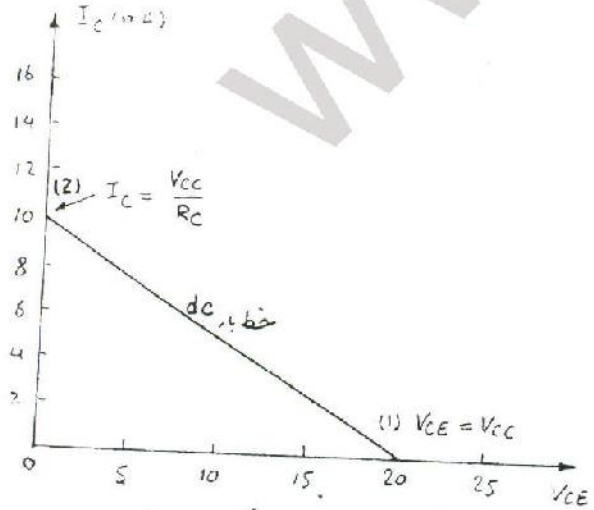


شکل ۴-۲۵ : مشخصات کلکتور ترانزیستور.

خط راست را می‌توان با کمک دو نقطه از انتهای آن در مشخصات ترانزیستور نشان داده شده در شکل ۴-۲۵ ترسیم نمود. برای محاسبهٔ این دو نقطه داریم: در رابطهٔ (۴-۲۵)

1. $I_C = 0$, $V_{CE} = V_{CC}$
2. $V_{CE} = 0$, $I_C = V_{CC}/R_C$

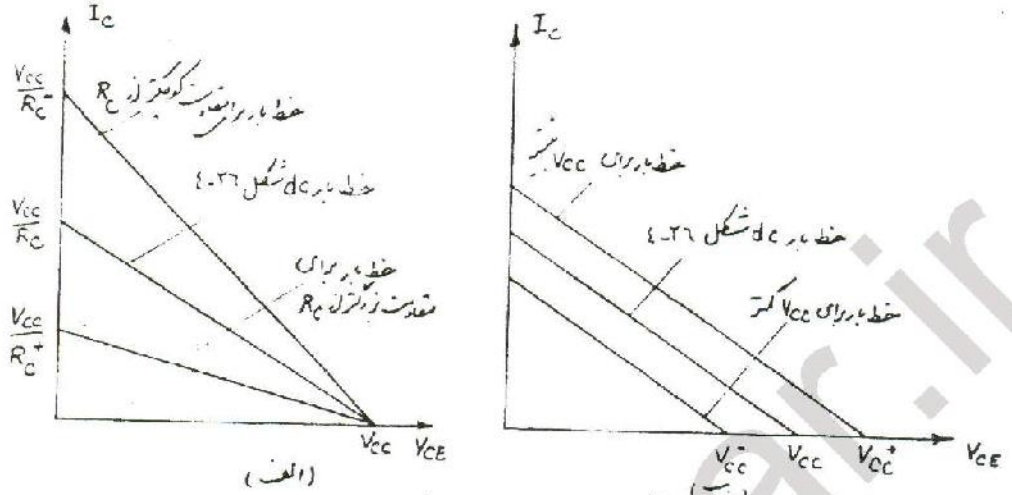
این نقاط در شکل ۴-۲۶ بصورت (1) و (2) نشان داده شده‌اند. و خطی از این دو نقطه را هم وصل کنید خط بار dc نامیده می‌شود. گرچه مجموعهٔ جریان و ولتاژ در این شکل، همان مجموعهٔ ولتاژ و جریان شکل ۴-۲۵ می‌باشد، لذا این مشخصات در شکل ۴-۲۶ ترسیم نشده‌اند تا این واقعیت را در خط بار dc هیچ ارتباطی با نحوهٔ عنصر ترانزیستور نداشته باشد، تأکید دارد. خط بار dc فقط به منبع تغذیه ولتاژ، یعنی V_{CC}، و مقدار مقاومت کلکتور، یعنی R_C، بستگی دارد.



شکل ۴-۲۶ : خط بار dc.

www.ttnar.ir

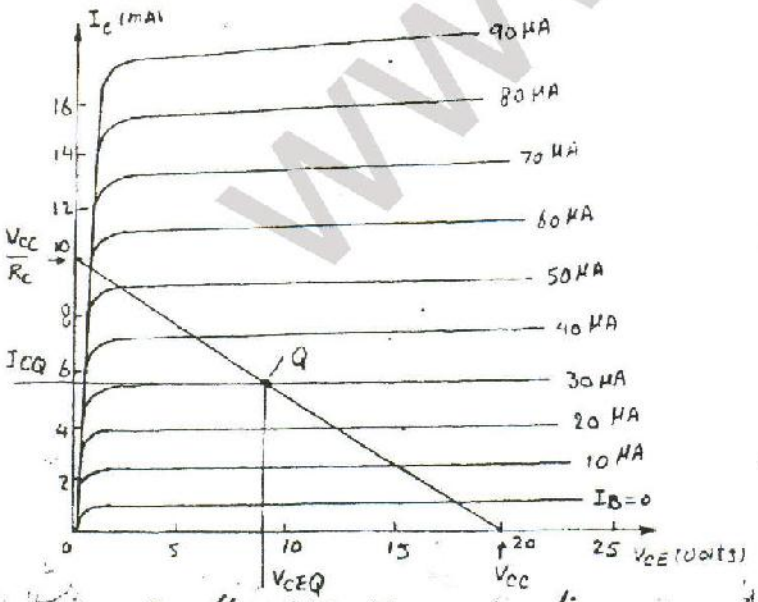
شیب خط بار فقط به مقدار R_c بستگی دارد. شکل ۲۷-۴ (الف) شیب خط بار را برای حالتی که R_c بزرگتر و کوچکتر از شیب خط بار شکل ۲۶-۴ می‌باشد را نشان می‌دهد. شکل ۲۷-۴ (ب) نشان می‌دهد که تغییر منبع تغذیه فقط خط بار را به موازات خط بار قبلی به بالا یا پایین انتقال داده و در شیب آن تأثیری ندارد، زیرا همانطور که گفته شد شیب فقط به R_c بستگی دارد.



شکل ۲۷-۴ : تأثیر تغییر R_c و V_{cc} بر روی خط بار dc ؛
الف) تأثیر مقاومت بر روی خط بار dc ؛ ب) تأثیر منبع تغذیه بر روی خط بار dc.

از آنجا که عملکرد مدار بایاس، هم به مشخصه ترانزیستور و هم به مقادیر عناصر مدار بستگی دارد لذا این دو (مشخصه ترانزیستور و خط بار dc) را باید با هم در نظر گرفته و حدود دو یک صفحه دلخواه را برای تعیین نقطه کار[1] Q مدار مشخص کنیم. این مطلب در شکل ۲۸-۴ نشان داده شده است. نقطه کار بایاس dc در روی این شکل نشان داده شده، تقریباً در وسط بین ولتاژ یعنی خط تأمین بین صفر و V_{cc}، و همچنین در وسط بین جریان یعنی در وسط تأمین بین صفر و V_{cc}/R_c واقع شده است. در یک تقویت کننده سیگنال بزرگ[2] (در مقابل خود جریان تقریباً برابر ولتاژ منبع تغذیه باشد) نقطه کار باید در مرکز خط بار قرار گیرد.

برای مدارهای دیگر در عملکردی غیر از تقویت کنندگی ممکن است نقاط کار مختلفی مورد نظر باشد. خط بار dc مقادیر ممکن برای جریان و ولتاژ خروجی را نشان می‌دهد. شکل ۲۸-۴ همچنین مرکز خط بار dc و همچنین مرکز بین بایاس



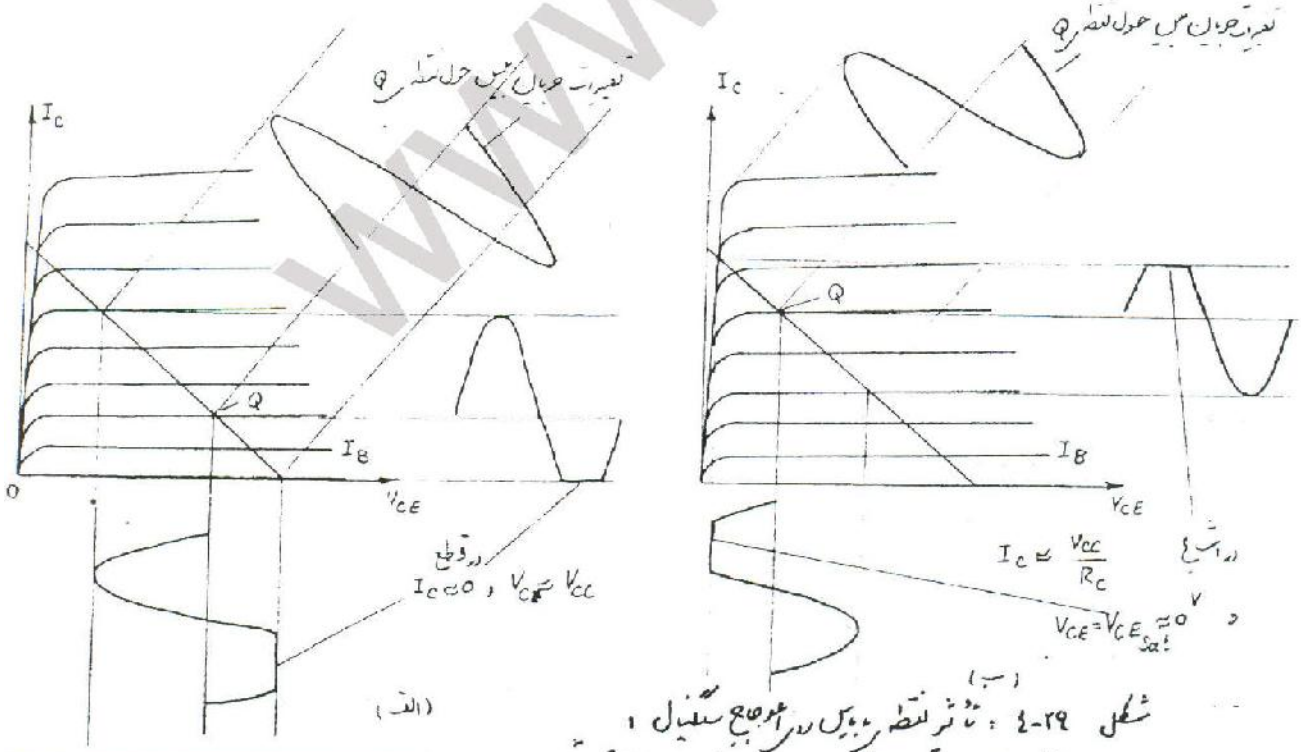
شکل ۲۸-۴ : استفاده از مشخصات ترانزیستور و خط بار dc برای بدست آوردن یک نقطه کار مناسب

1) Quiescent point
2) large signal

www.ttnar.ir

وابسته میکاید، نشان میدهد . با زیاد کردن جریان بیس، نقطهٔ کار روی خط بار dc بطرف ناحیهٔ اشباع حرکت میکند و همچنین با کاهش جریان بیس، نقطهٔ کار روی این خط به ناحیهٔ قطع نزدیک خواهد شد . برای مشخص کردن خط بار نشان داده شده در شکل ۲۸-٤ ، افزایش جریان بیس به مقدار بیشتر از 60 μA نقطهٔ کار ترانزیستور را به منطقهٔ اشباع خواهد برد . با توجه به این شکل خط مرسوم برای خط بار نشان داده شده و نقطهٔ کار ترانزیستور ، ورودی ac روی dc سوار شده میتواند در جهت دامنهٔ مثبت تنها ۲۵ μA افزایش یابد (از 30 تا 55 μA) قبل از اینکه وارد منطقهٔ اشباع شود . از طرف دیگر جریان ac بیس در جهت دامنهٔ منفی، قبل از اینکه وارد منطقهٔ قطع شود، میتواند تا 30 μA (از 30 تا 0 μA) کاهش یابد . بنابراین بطور خلاصه خط مرسوم نقطهٔ کار، کاملاً وسط خط بار قرار نگرفته است . برای تقویت کننده‌ی سیگنال کوچک[1] با تغییرات دامنهٔ ولتاژ خروجی کمتر از ۲ ولت، معمولاً نقطهٔ Q کاملاً وسط خط بار قرار میگیرد . و بعضی اوقات نقطهٔ انتخاب میگردد حول آن ترانزیستور دارای بیشترین بهره[2] و یا خطی ترین عملکرد، باشد .

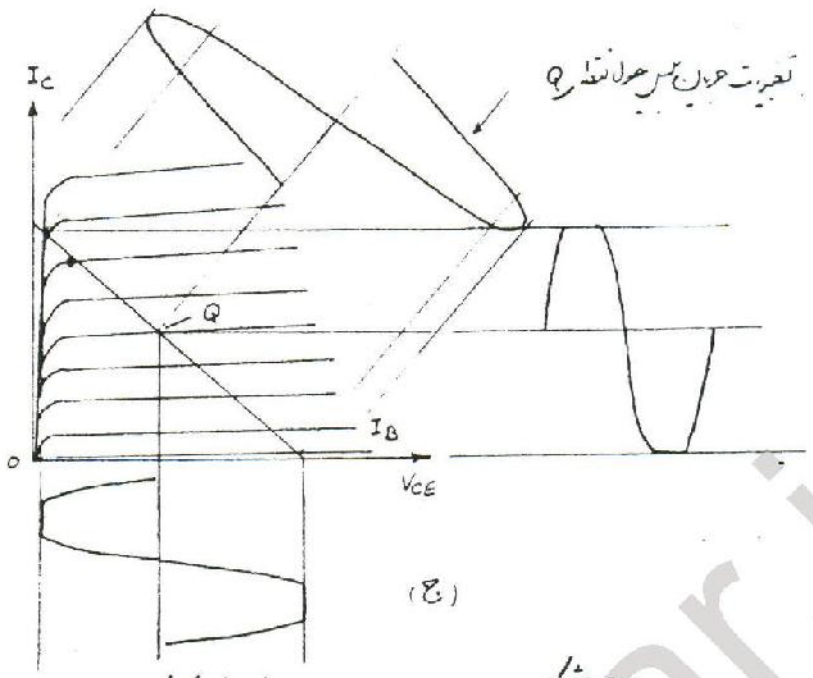
برای اینکه بدانیم انتخاب نقطهٔ کار برای تقویت کننده‌ی سیگنال کوچک، در وسط خط بار، چه اهمیتی دارد، باید به شکل ۲۹-٤ توجه کنیم . در این شکل امواج دامنهٔ خروجی برای چندین نقطهٔ کار نشان داده شده است . بطوری که ملاحظه میشود امواج میتوانند بدون رفتن ترانزیستور به ناحیهٔ اشباع، ناحیهٔ قطع و یا هردو (برای دامنهٔ زیاد ورودی) صورت گیرد . اگر امواج تنها برای رفتن ترانزیستور به ناحیهٔ اشباع، و یا ناحیهٔ قطع باشد در اینصورت میزان نقطهٔ کار را طوری تغییر داد که امواج از بین نرود (شکل الف ۲۹-٤ و شکل ب ۲۹-٤) . ولی اگر امواج سیگنال برای دامنهٔ خیلی زیاد ورودی باشد و امواج هر دو طرف سیگنال را حبه کند ، (شکل ج ۲۹-٤) در اینصورت تنظیم نقطهٔ کار نمیتواند امواج را از بین ببرد .



شکل ۲۹-٤ : تأثیر نقطهٔ کار بر روی امواج سیگنال ،
الف) امواج در حالت قطع ؛ ب) امواج در حالت اشباع .

1) small-signal
2) gain

www.ttnar.ir



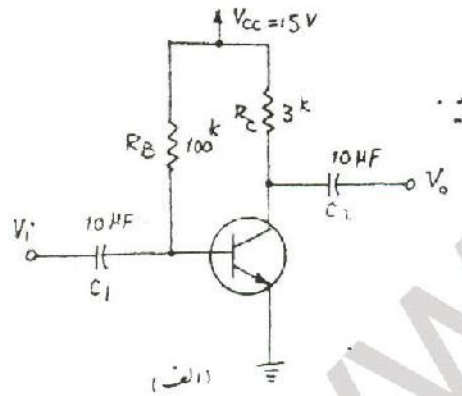
(ج)

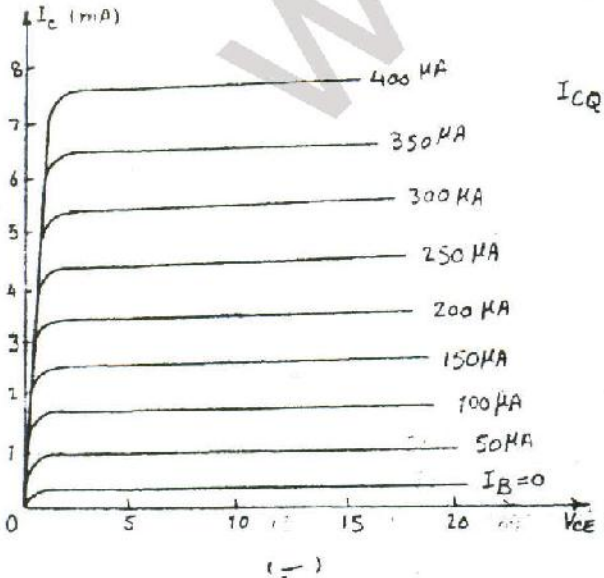
(ادامه شکل ۲۹-٤ : ج) عرضه جریان در بیس خیلی زیاد و ثابت.

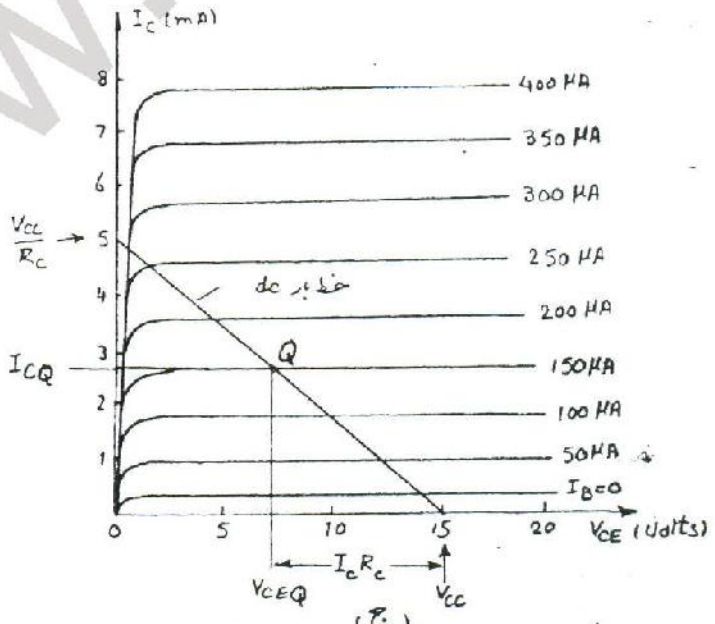
مثال ۱۲-٤ : برای ترانزیستور نشان داده شده در مدار شکل (الف) ۳۰-٤ ، مشخصات کلکتور نظیر شکل (ب) ۳۰-٤ مربوط است :

الف) خط بار dc را رسم کنید و نقطه کار Q را بدست آورید .

ب) مقادیر V_{CE} ، I_C ، $I_C R_C$ ، و I_E را از روی نمودار بدست آورید .







شکل ۳۰-٤ : تجزیه و تحلیل توسعی مدار مثال ۱۲-٤ :

الف) مدار ترانزیستور ؛ ب) مشخصات کلکتور [illegible] ترانزیستور ؛ ج) خط بار dc و نقطه کار Q.

www.tnar.ir

حل :

الف) 1 - برای رسم خط بار dc ، دو نقطه از آن را بدست میآوریم :

الف - اگر $I_C = 0$ باشد ، $V_{CE} = V_{CC} = 15^V$.

ب - اگر $V_{CE} = 0$ باشد ، $I_C = V_{CC}/R_C = 15^V/3^k = 5^{mA}$.

اگر این دو نقطه را بهم متصل سازیم ، خط بار dc بدست میآید .

2 - برای محاسبه جریان بیس داریم :

$$I_B \approx \frac{V_{CC}}{R_B} = \frac{15V}{100k} = 150\,\mu A$$

3 - محل تقاطع خط بار dc با منحنی مربوط به $I_B = 150^{\mu A}$ نقطه کار بایاس مشخص میشود (به شکل ۴-۳۰ ج مراجعه نمایید) .

ب) با توجه به شکل ۴-۳۰ ج داریم : $I_E \approx 2.6^{mA}$ و $I_C = 2.6^{mA}$ ، $I_C R_C = 8^V$ ، $V_{CE} = 7V$

۴-۱۳ : طراحی مدارهای بایاس dc

تاکنون در مورد روش کار و تجزیه و تحلیل مدارهای ترانزیستوری برای پیدا کردن نقطه کار صحبت شد . گرچه اغلب تعیین نقطه کار (Q) یک مدار مشخص لازم است ، ولی علاقه واقعی ما باید در طراحی مدارهایی نیز باشد که در نقطه کار مخصوصی در صفحه نقطه ای کار کنند . اغلب دستگاه آلات و ادوات مختص ترانزیستور در توسط مشخصه داده میشوند ، اطلاعات لازم در صفحه نقطه کار مناسب (یا ناحیه کار) برای آن داده میشود . از طرف دیگر ، سایر پارامترهای مدار در یک طبقه تقویت کننده نیز مورد توجه خاصی را از نظر داشتن تغییرات جریان[1] ، داشتن تغییرات ولتاژ[2] ، مقدار ولتاژ منبع تغذیه مشترک ، و غیره شامل میشوند . در تعیین نقطه کار مورد استفاده قرار میگیرند .

روش طراحی (سنتز) ، با استدلال بسیاری از زمینه کردن مطالبی که برای تجزیه و تحلیل مدار بایاس لازم بود ، بدست آورد . تقریباً در تمام موارد ، طراحی عکس عناصر مدار ، عکس مراحلی است که هنگام تجزیه و تحلیل مدار بایاس انجام شده است . اصولاً مسأله طراحی (در اینجا مورد بررسی میشود) را میتوان بصورت زیر خلاصه نمود :

برای یک نقطه کار یا ناحیه کار مشخص ، مدار بایاس باید طوری طرح شود (یعنی مقادیر مقاومتها و منبع تغذیه باید طوری انتخاب گردد) تا آن نقطه کار مشخص بدست آید .

روشهای مختلف بایاس دیگری نیز بررسی و در انتخاب نقطه کار مشخص ، در نظر گرفته شوند . فعلاً ما توجه خود را به تعیین مقادیر عناصر ، که میتوانند نقطه کار مشخص شده را ایجاد نمایند ، معطوف میکنیم . از آنجائیکه روابط و محاسبات چنین مدار بایاس قبلاً مورد بررسی قرار گرفت ، لذا از لحاظ تئوری موضوع جدیدی را مطرح نخواهیم نمود .

طرح یک مدار بایاس ثابت

حال طراحی که تقویت کننده بایاس ثابت ، با استفاده از ترانزیستور 2N2192 را بررسی میکنیم (شکل ۴-۳۱) . به مراجعه

1) Current swing 2) Voltage swing

www.tinar.ir

مشخصات سازنده ، ملاحظه میشود که این ترانزیستور در جریان کلکتور $10\ mA$ دارای مقدار حداقل 75 برای نسبت تقویت جریان (β) میباشد . ولتاژ تغذیه کلکتور $20\ V$ است و نقطه کار مناسب برای این ترانزیستور $V_{CEQ} = 10\ V$ میباشد . با توجه به این اطلاعات ، مدار شکل ۴-۳۱ با دو نقطه کار $I_C = 10\ mA$ و $V_{CE} = 10\ V$ بایس گردد .

اگر مقادیر (۴-۶) را برحسب مقدار مقاومت مجهول حل نماییم خواهیم داشت :

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CEQ}}{I_{CQ}} = \frac{20 - 10\ V}{10\ mA} = 1\ k$$

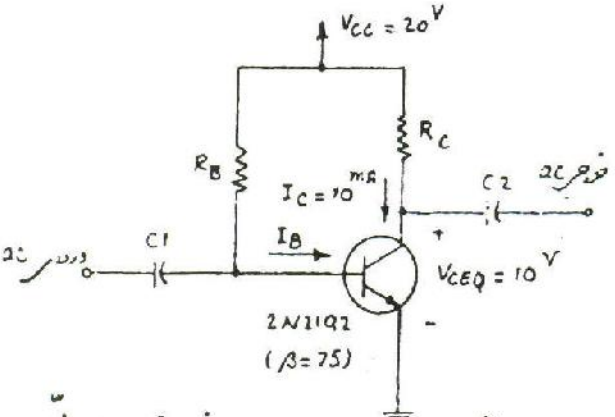
برای تکمیل طرح فقط باید مقاومت بیس را تعیین نمود . برای بدست آوردن این مقاومت ، به مقدار جریان بیس احتیاج داریم که آنرا بصورت زیر بدست میآوریم :

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{10\ mA}{75} \approx 133\ \mu A$$

با استفاده از معادله ای که در تجزیه و تحلیل مدار بایس بدست آمد مقدار مقاومت بیس را از رابطه (۴-۱۴) بصورت زیر بدست آورد :

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{20 - 0.7\ V}{133\ \mu A} \approx 145\ k$$

با بدست آوردن همه مقاومت ، طرح نهایت بایس که مدار تقویت کننده با ترانزیستور مشخص و نقطه کار تعیین شده ، تکمیل میشود . با نگرش دوباره به مراحل طراحی مشخص شده در ابتدای بحث و قبل از شروع تجزیه و تحلیل مدار ، استفاده نمودن از این تقارن در اینجا بصورت عکس عمل نمودیم . علاوه بر این ، روابط برحسب مقادیر مجهول نوشته شد - یعنی برای ولتاژ کلکتور - امیتر ، رابطه برحسب مقاومت کلکتور ، و برای جریان بیس رابطه برحسب مقاومت بیس مورد استفاده قرار گرفت .



شکل ۴-۳۱ : مدار بایس - ثابت برای بررسی طراحی

مثال ۴-۱۳ : با استفاده از ترانزیستور 2N3402 (npn) یک مدار بایس - ثابت طراحی نمایید (شکل ۴-۳۱) . در مشخصات سازنده ، در جهت تقویت جریان (β) دارای مقدار حداقل 75 در جریان کلکتور $2\ mA$ میباشد . ماکزیمم مقدار ولتاژ تغذیه کلکتور $25\ V$ میباشد .

حل طرح : مدار بایس را برای نقطه کار $I_{CQ} = 2\ mA$ و $V_{CE} = 10\ V$ طرح مینمایم .

با محاسبه مقاومت کلکتور ، خواهیم داشت :

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CEQ}}{I_C} = \frac{20 - 10\ V}{2\ mA} = 5\ k$$

با استفاده از مقدار بهره تقویت جریان ترانزیستور و مقدار جریان بیس ، مقدار بیس بدست آید

$$I_B = I_B' = \frac{I_C}{\beta} = \frac{2\ mA}{75} = 26.7\ \mu A$$

برای بدست آوردن مقاومت بیس داریم

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{20 - 0.7\ V}{26.7\ \mu A} \approx 723\ k$$

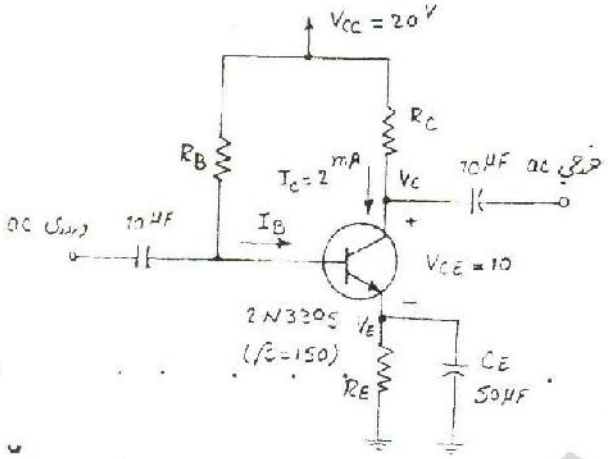
(از مقاومت 750 kΩ استفاده می‌شود)

با در نظر گرفتن شرایط لازم برای مدار بایاس مناسب، مقادیر مقاومت‌ها در کلکتور و بیس عبارت خواهند بود از :

$$R_C = 5000\ \Omega \quad , \quad R_B = 750\ k$$

طرح مدار بایاس با مقاومت فیدبک امیتر

حال به بررسی طرح عناصر بایاس dc یک مدار تقویت کننده در توسط مقاومت امیتر پایدار نقطه کار دار تامین می‌کنیم، می‌پردازیم، (شکل ۴-۳۲) . مقادیر منبع تغذیه و نقطه کار با می‌توان از مشخصات سازنده در برای ترانزیستور تقویت کننده داده می‌شود انتخاب نمود .



شکل ۴-۳۲ : مدار بایاس با مقاومت امیتر برای طراحی

انتخاب مقدار مقاومت در امیتر و کلکتور، می‌تواند مستقیماً از روی این اطلاعات صورت گیرد . در رابطه (۴-۱۴) که در مورد مقاومت کلکتور - امیتر نوشته شده است ، دو مقدار مجهول، یعنی مقاومت R_C و مقاومت R_E وجود دارد . برای حالت کلی حل مسأله (و یا بعضی کلیات آن) ، جستجو یک روش قضاوت و مهندسی داریم ، یعنی اگر بتوان با یک تقریب مناسب و معقول ، ولتاژ امیتر را حدس زد ، در این صورت حل مسأله ساده خواهد شد .

یادآوری این نکته ضروری است که استفاده از مقاومت امیتر صرفاً به خاطر ایجاد یک نقطه کار پایدار می‌باشد . این مقاومت باعث می‌شود که جریان کلکتور بر اثر تغییر حرارت یا عوامل دیگر تزانزیستور، تغییر نکند و نتیجتاً تغییر زیادی در نقطه کار بوجود نیاورد (یا اصطلاح نقطه کار تغییر نکند) . این مقاومت را نمی‌توان بیش از حد مقدر بزرگ انتخاب نمود ، زیرا در صورت بزرگ بودن آن افت ولتاژ دو سر آن بزرگ شده و در نتیجه تغییرات دامنه ولتاژ بین کلکتور و امیتر محدود می‌شود . با توجه به مثالهای قسمت ۴-۸ ملاحظه می‌شود که ولتاژ بین امیتر و زمین (V_E) در حدود یک پنجم تا یک دهم ولتاژ تغذیه، V_{CC} ، می‌باشد . با انتخاب ولتاژ امیتر به این صورت ، مقدار بسیار کمی مقاومت امیتر R_E ، در نتیجه مقاومت کلکتور، R_C ، را می‌توان محاسبه نمود . با بکار بردن این محاسبات، داریم :

$$V_E \approx \frac{1}{10} V_{CC} = \frac{20\ V}{10} = 2\ V$$

$$R_E = \frac{V_E}{I_E} \approx \frac{V_E}{I_C} = \frac{2\ V}{2\ mA} = 1\ k$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CEQ} - V_E}{I_C} = \frac{20 - 10 - 2\ V}{2\ mA} = 4\ k$$

www.tnar.ir

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{2\,mA}{150} = 13.3\,\mu A$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE} - V_E}{I_B} = \frac{20 - 0.7 - 2\,V}{13.3\,\mu A} = 1.3\,M$$

مثال ۴-۱۴ : برای تقویت کننده ترانزیستوری نشان داده شده در شکل ۴-۳۲ در مدار بایاس آن دارای مقاومت امیتر برای پایداری نقطه کار می‌باشد ، مقادیر مقاومتهای R_E ، R_C و R_B را بدست آورید . ترانزیستور بکار رفته در مدار 2N3396 است که یک ترانزیستور pnp سیلیکونی با جریان $5\,mA$ برای کلکتور ، دارای بهره جریان نمونه‌ای 90 می‌باشد . در این طرح از یک منبع تغذیه 20 ولتی استفاده نمائید .

حل طرح : با استفاده از اطلاعات داده شده در مورد ترانزیستور و منبع تغذیه نقطه کار را در $I_{CQ} = 2\,mA$ ، $V_{CEQ} = 10\,V$ انتخاب می‌نمائیم .

$$V_E \approx \frac{1}{10}(V_{CC}) = \frac{1}{10}(20) = 2\,V$$

در مورد مقاومت امیتر برای مشخص داریم :

$$R_E = \frac{V_E}{I_C} = \frac{2V}{5\,mA} = 400\,\Omega$$

مقاومت کلکتور را نیز از رابطه زیر بدست می‌آوریم :

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CEQ} - V_E}{I_C} = \frac{20 - 10 - 2\,V}{5\,mA} = \frac{8\,V}{5\,mA} = 1.6\,k$$

برای بهره جریان حلقه داریم :

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{5\,mA}{90} \approx 55.6\,\mu A$$

و بالاخره مقاومت بیس از رابطه زیر بدست خواهد آمد :

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE} - V_E}{I_B} = \frac{(20 - 0.7 - 2)\,V}{55.6\,\mu A} = \frac{17.3\,V}{55.6\,\mu A}$$

$$= 311\,k$$ (مقاومت بیس را $300\,k$ در نظر می‌گیریم)

طراحی مدار با پایداری بهره جریان (β)

مدار شکل ۴-۳۳ پایداری نقطه کار را هم برای جریان کلکتور و هم برای بهره جریان (β) تامین می‌نماید . مقادیر هر یک از مقاومت مشخص شده در شکل ، باید برای نقطه کار مشخصی ، تعیین شوند . با توجه به مقدار ولتاژ امیتر نظیر طرح قبلی ، نقطه حل مسئله را از بدست آوردن مقادیر مقاومت‌ها شروع می‌کنیم . مراحل طرح بصورت زیر می‌باشد :

ولتاژ امیتر تقریباً بصورت یک دهم منبع تغذیه (V_{CC}) انتخاب می‌شود .

$$V_E \approx \frac{1}{10} V_{CC} = \frac{1}{10}(20\,V) = 2\,V$$

با استفاده از این مقدار برای V_E می‌توان مقاومت امیتر را بدست آورد :

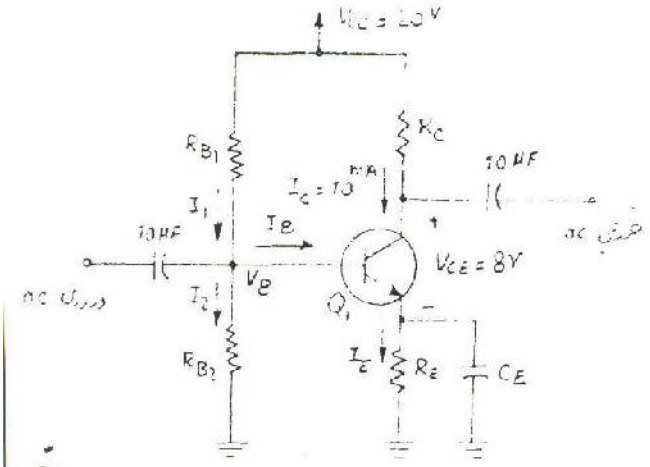
$$R_E \approx \frac{V_E}{I_C} = \frac{2\ V}{10\ mA} = 200\ \Omega$$

برای بدست آوردن مقاومت کلکتور ، R_C ، نوشتم داشت :

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CEQ} - V_E}{I_C} = \frac{20 - 8 - 2\ V}{10\ mA} = 1\ k$$

ولتاژ بیس تقریباً برابر ولتاژ امیتر و بایاست دقیق تر برابر است با :

$$V_B = V_E + V_{BE} = 2\ V + 0.7\ V = 2.7\ V$$



شکل ۴-۳۳ : مدار بایس با بایاس بهره جریان (β) برای طراحی.

برای بدست آوردن مقادیر R_{B_1} و R_{B_2} احتیاج به دو رابطه بیشتری داریم . با استفاده از مقدار ولتاژ بیس که در قدم چهارم بدست آمد و مقدار ولتاژ تغذیه می‌توان یک رابطه برحسب R_{B_1} و R_{B_2} بدست آورد . ولی همانطور که میدانم تعداد مجهول‌ها ۲ تا هستند (R_{B_1} و R_{B_2}) می‌باشد . رابطه دیگری بین این مجهول‌ها را می‌توان از عملکرد این دو مقاومت در برقراری ولتاژ بیس بدست آورد . برای اینکه مدار در حالت مناسبی کار کند باید جریانی که گذرنده از این دو مقاومت هستند ، بایاست دیگر این جریان باید خیلی بیشتر از جریان بیس باشد (حداقل ۱۰ بار بیشتر از جریان بیس می‌باشد) . بنابراین همانطور که از آنها می‌توان مقادیر مقاومت‌های R_{B_1} و R_{B_2} را بدست آورد . بصورت زیر می‌باشد .

$$V_B = \frac{R_{B_2}}{R_{B_1} + R_{B_2}} (V_{CC})$$

$$R_{B_2} \leq \frac{1}{10} (\beta R_E)$$

با در نظر گرفتن این دو رابطه نوشتم داشت :

$$R_{B_1} \approx 10\ K\ ,\qquad R_{B_2} \approx 7.6\ K$$

مثال ۴-۱۷ : با استفاده از ترانزیستور npn ، 2N3565 که مدار بایس dc نظیر شکل ۴-۳۳ برای یک مدار تقویت کننده طرح کنید . مشخصات سازنده برای ترانزیستور فوق ، بهره جریان لطفا ای در جریان کلکتور $1\ mA$ ، 150 می‌باشد . منبع تغذیه ولتاژ مدار را $16\ V$ در نظر بگیرید .

حل طرح : نقطه کار این مدار را $I_{CQ} = 1\ mA$ و $V_{CEQ} = 6\ V$ در نظر می‌گیریم .

الف) ابتدا V_E را انتخاب می‌کنیم :

$$V_E = \frac{1}{10} (V_{CC}) = \frac{1}{10} (16) = 1.6\ V$$

ب) مقدار R_E را بدست می‌آوریم :

$$R_E = \frac{V_E}{I_E} \approx \frac{V_E}{I_C} = \frac{1.6}{1\ mA} = 1.6\ k$$

ج) برای مسیر R_C داریم :

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CEQ} - V_E}{I_C} = \frac{16 - 6 - 1.6}{1\ mA} = 8.4\ k$$

www.ftnar.ir

د) مقدار V_B را بدست میآوریم :

$$V_B = V_E + V_{BE} = 1.6 + 0.7 = 2.3^{V}$$

ه) برای محاسبه R_{B1} و R_{B2} داریم :

$$R_{B_2} \le \frac{1}{10}(\beta R_E) = \frac{150(1.6\,k)}{10} = 24^{k}$$

و چون

$$\frac{R_{B2}}{R_{B1}+R_{B2}} \cdot V_{CC} = V_B = 2.3^{V}$$

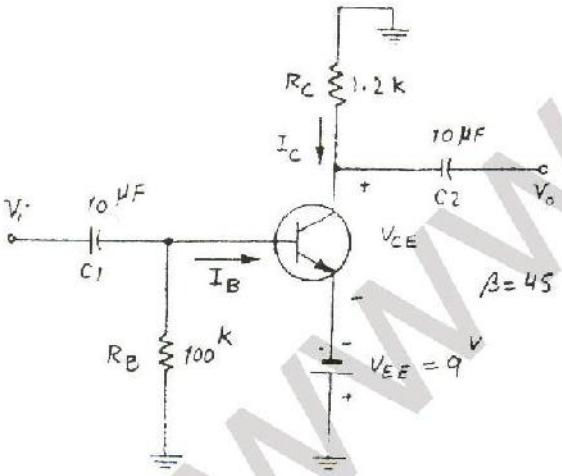
از آن

$$R_{B_1} \approx 150^{k}$$

۴-۱۴ : مدارهای بایاس متفرقه

در همه حالتهای مرسوم در مدارهای بایاس محدود به چند نوع اصلی در این بخش بررسی شده است، نمی باشد. ولی تجزیه و تحلیل عملکرد بایاس مدارهای مختلف با آنچه در قبلا بررسی شده است، کار مشکلی نخواهد بود. برای نشان دادن بایاس مختلف چند مثال مدار دیگر مورد بحث قرار گرفته تا طرز استفاده از مفاهیم گفته شده در قبل بیان شده، نشان دهد.

مثال ۴-۱۶ : برای مدار نشان داده شده در شکل ۴-۳۴ جریانها و ولتاژهای بایاس را بدست آورید.



شکل ۴-۳۴ : مدار بایاس مثال ۴-۱۶ .

حل : حلقه ورودی داریم :

$$-I_B R_B - V_{BE} + V_{EE} = 0$$

$$I_B = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_B} = \frac{9 - 0.7^{V}}{100\,K} = 83\,\mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 45(83\,\mu A) = 3.74^{mA}$$

در حلقه خروجی میتوان نوشت :

$$-I_C R_C - V_{CE} + V_{EE} = 0$$

$$V_{CE} = V_{EE} - I_C R_C = 9 - (3.74^{mA})(1.2^{k})$$

$$= 9 - 4.5 = 4.5^{V}$$

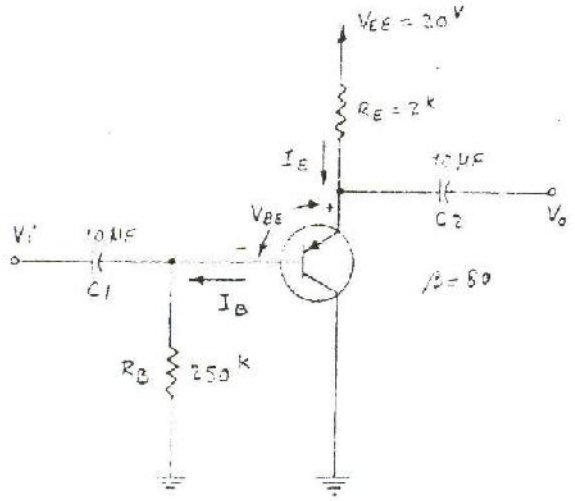
مثال ۴-۱۷ : برای مدار نشان داده شده در شکل ۴-۳۵ جریانها و ولتاژهای بایاس را بدست آورید.

حل : با نوشتن معادله ولتاژ حلقه خروجی داریم :

$$V_{EE} - V_{EB} - I_E R_E + V_{EB} - I_B R_B = 0$$

$$(V_{EE} - V_{EB}) = (\beta+1) I_B R_E + I_B R_B$$

www.tnar.ir



$$I_B = \frac{V_{EE} - V_{EB}}{R_B + (\beta+1)R_E} \approx \frac{V_{EE}}{R_B + \beta R_E}$$

$$= \frac{20^V}{250^k + 80(2^k)} = \frac{20^V}{410^k} = 48.8^{\mu A}$$

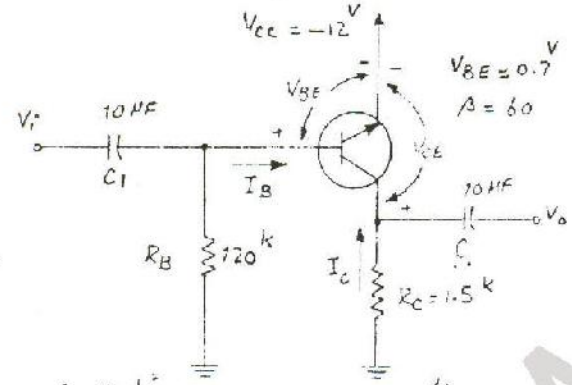
$$I_C = \beta I_B = 80(48.8) = 3.9^{mA} \approx I_E$$

$$V_E = V_{EE} - I_E R_E = 20 - (3.9)^{mA}(2)^k$$

$$= 20 - 7.8 = 12.2^V$$

شکل ۴-۳۵ : مدار بایس برای مثال ۴-۱۷ .

مثال ۴-۱۸ : جریان و ولتاژی بایس برای مدار نشان داده شده در شکل ۴-۳۶ پیدا کنید .



شکل ۴-۳۶ : مدار بایس برای مثال ۴-۱۸ .

حل : حلقه ورودی داریم :

$$-R_B I_B - V_{BE} + V_{CC} = 0$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12 - 0.7}{120^k} = 94^{\mu A}$$

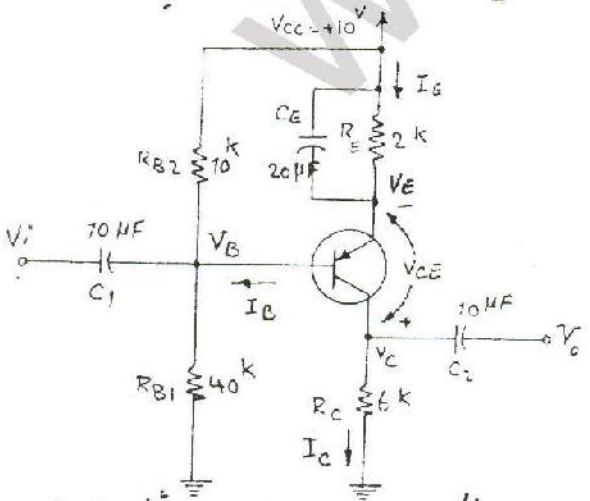
$$I_C = \beta I_B = 60(94^{\mu A}) = 5.6^{mA}$$

حلقه خروجی داریم :

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 12 - (5.6)^{mA}(1.5)^k =$$

$$12 - 8.5 = 3.5^V$$

مثال ۴-۱۹ : جریان و ولتاژی بایس برای مدار نشان داده شده در شکل ۴-۳۷ پیدا کنید (توجه کنید این نوع بایس ترکیبی است) .



شکل ۴-۳۷ : مدار بایس برای مثال ۴-۱۹ .

حل :

الف) $$V_B = [R_{B_1}/(R_{B_1} + R_{B_2})](V_{CC})$$

$$= [40/(10 + 40)](10) = 8^V$$

ب) $$V_E = V_B - V_{BE} = 8 - 0.2 = 8.2^V$$

ج) $$I_E = (V_{CC} - V_E)/R_E = \frac{10 - 8.2}{2} = 0.9^{mA}$$

$$\approx I_C$$

د) $$V_C = I_C R_C = (0.9)^{mA}(6)^k = 5.4^V$$

هـ) $$V_{CE} = V_C - V_E = 5.4 - 8.2 = -2.8^V$$

۷۷/

www.tmar.ir

مسائل

§۴-۴

۱- برای یک مدار بایاس تقسیم ولتاژ ترانزیستور pnp مقادیر جریانها و ولتاژهای بایاس را بدست آورید. برای این ترانزیستور فرض شود $\alpha = 0.985$ و $V_{BE} = -0.2^V$ باشد. عناصر مدار $R_E = 720^\Omega$، $R_C = 3.9^k$ و منابع تغذیه $V_{CC} = 9^V$ و $V_{EE} = 1^V$ می‌باشند. (به شکل ۴-۲ مراجعه شود.)

۲- ولتاژ کلکتور تقسیم برای یک مدار بایاس تقسیم ترانزیستور npn (نظیر شکل ۴-۵) با مقادیر زیر بدست آورید:

$V_{BE} = +0.7^V$، $\alpha = 0.995$، $V_{CC} = 22^V$، $V_{EE} = 9^V$، $R_C = 2.7^k$، $R_E = 1.8^k$.

§۴-۷

۳- برای یک مدار بایاس ثابت امیتر ترکیبی (نظیر شکل ۴-۶)، جریانها و ولتاژهای بایاس را با مقادیر زیر بدست آورید:

$R_B = 150^k$، $R_C = 2.1^k$، $V_{CC} = 9^V$، $V_{BE} = 0.7^V$، و $\beta = 45$.

۴- با استفاده از مدار بایاس ثابت، ترانزیستور npn (نظیر شکل ۴-۸)، ولتاژ بایاس کلکتور-امیتر (V_{CE}) را با مقادیر زیر بدست آورید:

$R_B = 250^k$، $R_C = 1.8^k$، $V_{CC} = 12^V$، $V_{BE} = 0.7^V$، و $\beta = 70$.

§۴-۸

۵- مقادیر جریانها و ولتاژهای بایاس را برای یک مدار بایاس با مقاومت امیتر (نظیر شکل ۴-۱۲) با مقادیر زیر بدست آورید:

$R_B = 47^k$، $R_E = 750^\Omega$، $R_C = 0.5^k$، $V_{BE} = 0.7^V$، $\beta = 55$، و $V_{CC} = 18^V$.

۶- ولتاژ کلکتور-امیتر (V_{CE}) را برای یک ترانزیستور npn در مدار بایاس با مقاومت امیتر (نظیر شکل ۴-۱۹) با مقادیر زیر بدست آورید:

$R_B = 75^k$، $R_E = 750^\Omega$، $R_C = 0.5^k$، $V_{BE} = 0.7^V$، $V_{CC} = 10^V$، و $\beta = 80$.

§۴-۹

۷- مقادیر جریانها و ولتاژهای بایاس را برای مداری (نظیر شکل ۴-۱۵) با مقادیر زیر حساب کنید:

$R_{B1} = 56^k$، $R_{B2} = 4.7^k$، $R_E = 750^\Omega$، $R_C = 6.8^k$، $V_{CC} = 24^V$، $V_{BE} = 0.7^V$، و $\beta = 55$.

۸- ولتاژ کلکتور، V_C، برای مدار بایاس (نظیر شکل ۴-۱۶) با مقادیر زیر را بدست آورید:

$R_{B1} = 12^k$، $R_{B2} = 1.5^k$، $R_E = 1^k$، $R_C = 4.7^k$، $V_{CC} = 9^V$، $V_{BE} = 0.7^V$، و $\beta = 75$.

§۴-۱۰

۹- جریانها و ولتاژهای بایاس را برای مداری (نظیر شکل ۴-۲۰) با مقادیر زیر بدست آورید:

www.tmar.ir

$\beta = 60$ و $V_{BE} = 0.7^V$ ، $V_{CC} = 10^V$ ، $R_C = 5^k$ ، $R_B = 100^k$

۱۰ - برای مدار بایس نظیر شکل ۴-۲۰ ولتاژ dc بین کلکتور و زمین (V_C) را با مقادیر زیر بدست آورید :

$\beta = 48$ و $V_{BE} = 0.7^V$ ، $V_{CC} = 15^V$ ، $R_C = 2.4^k$ ، $R_B = 68^k$

۱۱ - مقادیر جریانها و ولتاژ dc برای مدار شکل ۴-۲۱ با مقادیر زیر بدست آورید :

$V_{CC} = 16^V$ و $\beta = 40$ ، $V_{BE} = 0.7^V$ ، $R_E = 270^\Omega$ ، $R_C = 3.6^k$ ، $R_B = 200^{k\Omega}$

§۴-۱۱

۱۲ - برای مدار امیتر مالود نظیر شکل ۴-۲۲ جریانها و ولتاژهای dc را با مقادیر زیر محاسبه نمائید :

$\beta = 85$ و $V_{BE} = 0.7^V$ ، $V_{CC} = 9^V$ ، $R_E = 1.8^k$ ، $R_B = 240^k$

۱۳ - برای مدار امیتر مالود نظیر شکل ۴-۲۲ ولتاژ dc هر سر مقاومت امیتر را با مقادیر زیر بدست آورید ،

$\beta = 60$ و $V_{BE} = 0.7^V$ ، $V_{CC} = 25^V$ ، $R_E = 1.2^k$ ، $R_B = 91^k$

۱۴ - برای مدار بایس نظیر شکل ۴-۲۴ مقدار ولتاژ امیتر (نسبت به زمین) را با مقادیر زیر بدست آورید :

$\beta = 50$ و $V_{BE} = 0.7^V$ ، $V_{CC} = 15^V$ ، $R_E = 4.7^k$ ، $R_{B2} = 33^k$ ، $R_{B1} = 270^k$

§۴-۱۲

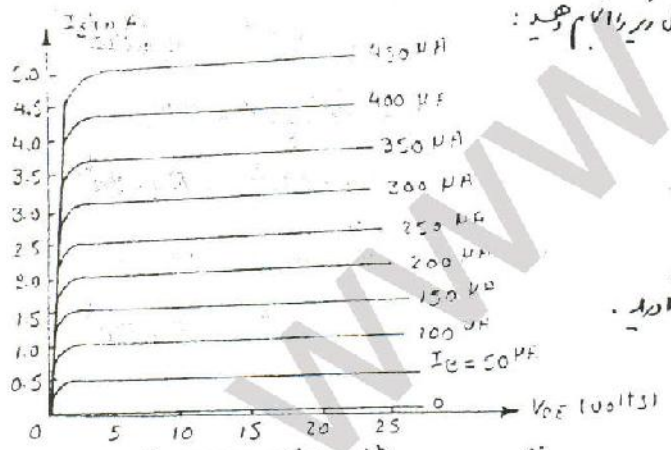
۱۵ - برای مدار بایس ثابت نظیر شکل (الف) ۴-۳۰ با مقادیر $R_B = 80^k$ ، $R_C = 4^k$ ، $V_{CC} = 20^V$ ، $V_{BE} = 0.7$ و مشخصات کلکتور ترانزیستور نشان داده شده در شکل ۴-۴۴ مراحل زیر را انجام دهید :

الف) خط بار dc را رسم کنید .

ب) نقطه کار را بدست آورید (نقطه Q) .

ج) برای $R_C = 8^k$ نقطه کار را بدست آورید .

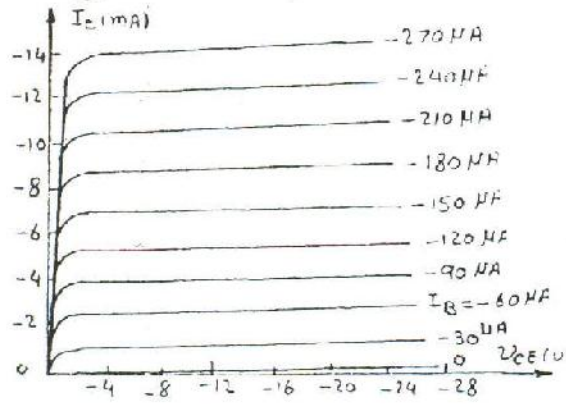
د) برای $V_{CC} = 15^V$ و ($R_C = 4^k$) نقطه کار را بدست آورید .



شکل ۴-۴۴ ، مشخصات کلکتور ترانزیستور مثال ۴-۱۵ .

۱۶ - برای مدار بایس - ثابت با استفاده از ترانزیستور pnp و روش ترسیمی نقطه کار را بدست آورید (از مشخصات کلکتور شکل ۴-۴۵ استفاده نمائید) . مقادیر عناصر مدار بصورت زیر میباشد .

$V_{BB} = -0.3^V$ و $V_{CC} = 20^V$ ، $R_C = 2^k$ ، $R_B = 150^k$



شکل ۴-۴۵ ، مشخصات کلکتور ترانزیستور مثال ۴-۱۶ .

www.itnar.ir

§ ٤-١٣

۱۷ - با استفاده از ترانزیستور 2N2192 یک بایاس ثابت امیتر مشترک طرح کنید. بهره جریان این ترانزیستور npn (β) در نقطه کار $I_{CQ} = 2^{mA}$ ، $V_{CEQ} = 10^{V}$ برابر 80 می‌باشد. از منبع تغذیه 22^{V} استفاده نمائید.

۱۸ - با استفاده از ترانزیستور 2N5234 که دارای بهره جریان 250 در نقطه کار $I_C = 10^{mA}$ ، $V_{CE} = 10^{V}$ می‌باشد، یک بایاس ثابت امیتر مشترک طرح نمائید. از منبع تغذیه 22^{V} استفاده کنید.

۱۹ - مقادیر مقاومت‌ها را برای مدار تقویت کننده با مقاومت امیتر، نظیر شکل ٤-۳۲ بدست بیاورید. از یک ترانزیستور npn سیلیکن با نام 2N5234 که دارای بهره جریان 250 در نقطه کار $I_C = 10^{mA}$ ، $V_{CE} = 20^{V}$ می‌باشد، استفاده نمائید. از منبع تغذیه 30^{V} استفاده کنید.

۲۰ - یک مدار بایاس dc نظیر شکل ٤-۳۲ با استفاده از ترانزیستور npn 2N5235 طرح کنید. این ترانزیستور دارای بهره جریان 400 در $I_{CQ} = 10^{mA}$ ، $V_{CEQ} = 10^{V}$ می‌باشد. ولتاژ تغذیه را 22^{V} در نظر بگیرید.

§ ٤-١٤

۲۱ - مقدار ولتاژ dc کلکتور نسبت به زمین را برای مدار شکل ٤-۳٤ با مقادیر زیر بدست آورید:

$\beta = 30$ ، $R_C = 1.2^{k}$ ، $R_B = 47^{k}$ ، $V_{EE} = 15^{V}$.

۲۲ - مقدار ولتاژ بیس (نسبت به زمین) را برای مدار شکل ٤-۳۵ با مقادیر زیر بدست آورید:

$\beta = 20$ ، $V_{BE} = -0.2^{V}$ ، $V_{EE} = 12^{V}$ ، $R_B = 8.2^{k}$ ، $R_B = 120^{k}$.

۲۳ - جریان کلکتور را برای مدار شکل ٤-۳٦ با مقادیر زیر بدست آورید:

$\beta = 35$ ، $V_{BE} = 0.7$ ، $V_{CC} = 9^{V}$ ، $R_C = 1.8^{k}$ ، $R_B = 80^{k}$.

۲٤ - برای مدار شکل ٤-۳۷ ولتاژ کلکتور - امیتر را با مقادیر زیر بدست آورید:

$\beta = 200$ ، $V_{BE} = 0.7^{V}$ ، $V_{CC} = 18^{V}$ ، $R_C = 12^{k}$ ، $R_E = 3.9^{k}$ ، $R_2 = 15^{k}$ ، $R_1 = 120^{k}$.

www.tnar.ir

فصل ۵

تجزیه و تحلیل سیگنال کوچک

۵-۱ : مقدمه

در فصل چهارم درباره مدارهای ترانزیستوری، از نقطه نظر dc، بحث کردیم. حال به بررسی پاسخ[1] این مدارها برای ورودی متناوب سینوسی (سیگنال) می‌پردازیم.

اولین سئوال مهم در مورد سیگنال ورودی، مقدار دامنه آن می‌باشد. مقدار این دامنه، مشخص می‌کند که برای تجزیه و تحلیل ac مدار از کدام یک از روشهای سیگنال-کوچک[2] یا سیگنال-بزرگ[3] باید استفاده کرد. هیچ مرز خاصی بین این دو روش موجود نیست. ولی معمولاً، نوع کاربرد مدار، و دامنه مقادیر مورد نظر (i و v) در مقایسه با مقادیر مشخصه ترانزیستور، نوع روش مورد استفاده را تعیین می‌نماید. در این فصل، روش سیگنال-کوچک را بررسی کرده و در فصل هشتم در مورد کاربرد سیگنال بزرگ صحبت خواهیم کرد.

روش سیگنال-کوچک استفاده از مدار معادل[4] برای تجزیه و تحلیل مدار ترانزیستور می‌باشد. در این فصل در مورد این مدار معادل گفتگو خواهیم کرد. مدار معادل ترانزیستور از عناصر مختلف تشکیل شده و عملکرد واقعی ترانزیستور را در ناحیه کار مشخص تقریباً مدل سازی می‌کند. هدف ما این است که این مدار معادل را برای ترانزیستور بدست آوریم، سپس توانائی آنرا در مدار، حاکمترین ترانزیستور کرده، و سپس برای تجزیه و تحلیل مدار از روش‌های اساسی تحلیل مدارهای ac (تجزیه و تحلیل جریان شاخه‌ای[5]، تجزیه و تحلیل شبکه[6]، تجزیه و تحلیل گره[7]، و قضیه تونن[8]) استفاده کرده و طرز استفاده را تعیین نمائیم.

برای بدست آوردن مدار معادل ترانزیستور در سیستم مختلف وجود دارد. برای چندین سال موسسات آموزشی و صنعتی، بطور وسیعی از پارامترهای هیبرید[9] (که بزودی معرفی می‌شوند) استفاده می‌نمودند. الان نیز استفاده از این پارامترها در بدست آوردن مدار معادل، همچنان عمومیت دارد. روش دیگر استفاده از مدار معادلی است که پارامترهای آن مستقیماً توسط ثوابت کار ترانزیستور تعیین شده و دارای اهمیت یک فیزیک پایه‌ای می‌باشد. همزمان با سازندگان ترانزیستور در کاتالوگ‌ها مشخصات آن، پارامترهای هیبرید را برای ناحیه کار مشخص، تعیین می‌نمایند. در این ناحیه می‌توان عناصر (یا پارامترهای) مدار معادل را مستقیماً توسط پارامترهای هیبرید بدست آورد. لغت مدار معادل، با استفاده از پارامترهای هیبرید در این است که پارامترها معمولاً برای ناحیه خاصی داده شده و بنابراین عملکرد مدار معادل در آن ناحیه محدود می‌شود.

---

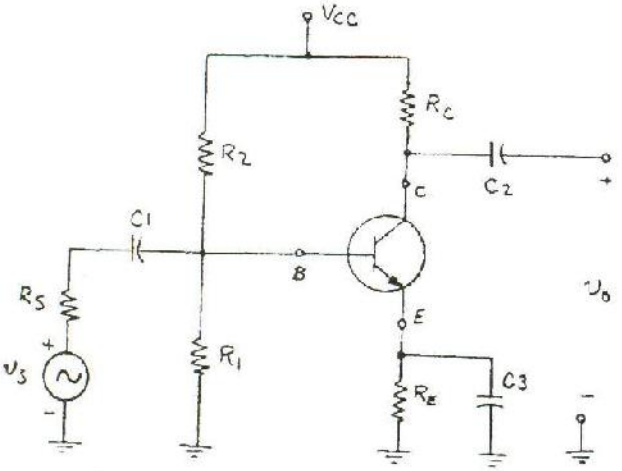
1) response
2) Small-Signal
3) large-Signal
4) equivalent circuit
5) branch current analysis
6) Mesh analysis
7) nodal analysis
8) Thévenin Theorem
9) hybrid parameters

www.tuner.ir

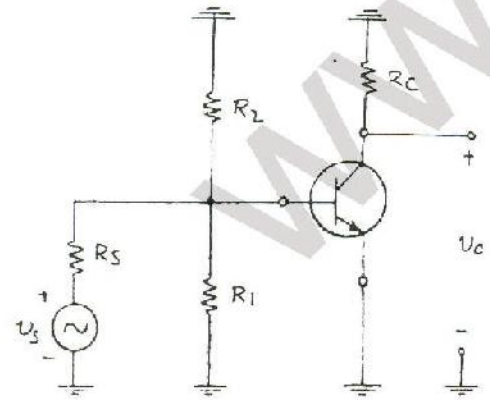
در بدترین حالت پارامترهای مدار معادل برای حرکت از ناحیه فعال تا ناحیه اشباع یا قطع، این پارامترها به نقاط خاصی داده شده در مشخصات سازنده محدود نمی‌شوند. در این کتاب برای ناحیه‌ای که پارامترها دیگر به آن نقاط سازنده مشخص شده، از هیچ مدار معادل استفاده شده است. اگر برای ناحیه کار مورد نظر این پارامترها مشخص نشده باشند، در اغلب موارد از مدارهای ارائه شده در شرایط کار مدار بایستی استفاده خواهد شد. باید در نظر داشت که این مدارهای معادل در ظاهر در کارهای خیلی شبیه هم هستند.

برای نشان دادن اثر مدار معادل ac در تجزیه و تحلیل، در بعد از نگاه جامع کلی، مدار شکل ۱-۵ را در نظر می‌گیریم و درباره آن بحث می‌کنیم، در نظر می‌گیریم. فعلاً فرض می‌کنیم برای ترانزیستور این مدار، قبلاً مدار معادل ac سیگنال کوچک به دست آورده شده است.

چون می‌خواهیم کار کلی مدار را فقط برای سیگنال ac بررسی کنیم، منابع dc را که در مدار هستند به زمین (اتصال کوتاه) در نظر گرفت، زیرا این منابع فقط سطوح dc خروجی را تعیین کرده و در مقدار تغییرات دامنه خروجی ac تأثیری ندارند. این عمل بررسی در شکل ۲-۵ نشان داده شده است. سطوح dc فقط برای تعیین نقطه کار مناسب، دارای اهمیت بودند. حال می‌خواهیم از این نقطه را تعیین کنیم، می‌توان برای تجزیه و تحلیل ac مدار، آنها را نادیده گرفت (اتصال کوتاه فرض نمود). علاوه بر این مقادیر خازنهای کوپلاژ[1] C_1 و C_2 و خازن بای پس[2] C_3 طوری در نظر گرفته می‌شوند که برای فرکانس سیگنال در حال کار دارای راکتانس[3] کوچکی باشند. منظور این است که این خازنها در مقایسه با مقاومت مدار آنها را مانند یک اتصال کوتاه جابجا کنیم.



شکل ۱-۵ : مدار ترانزیستوری برای بررسی مقدماتی.



شکل ۲-۵ : مدار شکل ۱-۵ با حذف منابع dc (اتصال کوتاه) و کاربرد مدار معادل اتصال کوتاه برای خازنها.

باید در نظر داشت که این عمل باعث اتصال کوتاه شدن مقاومت بایاس مستقیم R_E می‌گردد. با اتصال مرکز زمین‌ها به هم، مقاومتهای R_1 و R_2 هم موازی شده و مقاومت R_C طبق شکل ۳-۵ بین کلکتور و امیتر قرار خواهد گرفت. همه این نکات را بعداً تفصیلاً خواهیم گفت. اجزای مدار معادل ترانزیستور در شکل ۳-۵ به صورت بلوک نشان داده شده، عناصری مانند مقاومت، و منابع کنترل شده[4] و غیره می‌باشند که قبلاً با آنها آشنا شده‌ایم.

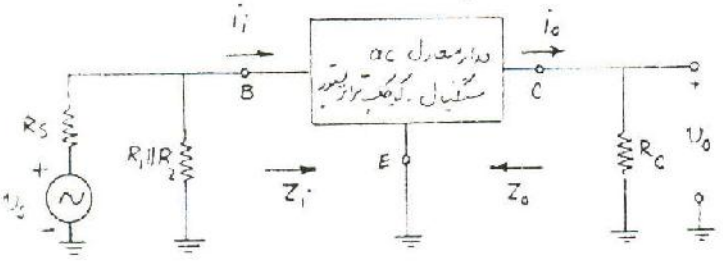
---

1) Coupling capacitor
2) bypass capacitor
3) reactance
4) controlled sources

www.tiran.ir

می‌توان از روش کار در تجزیه تحلیل مدار، نظیر قضیه جمع آثار[1] و قضیه تونن و غیره برای تعیین کمیت‌های مورد نظر استفاده نمود.

حال به بررسی مثبت شکل ۳-۵ پرداخته و کمیتهای مهم آن را تعیین می‌نمائیم. امپدانس‌های ورودی[2] و خروجی[3] Z_i و Z_o از کمیت‌هایی هستند که در باره تعیین گردد (شکل ۳-۵). هر قطعه‌ای که مرکب از دو ترمینال یک عنصر تعریف شده می‌باشد، می‌باید یک امپدانس ورودی و یک امپدانس خروجی داشته باشد. بنابراین باید بتوانیم رابطه بین جریان‌ها و ولتاژهای ورودی و خروجی را مشخص نمائیم. در این مدار $i_B = i_i$ و $i_o = i_c$ می‌باشد. نسبت این دو جریان مشخصه بهره (β) ترانزیستور را دارد. در شکل (ب) ۱۱-۳ ملاحظه کردیم که ولتاژ کلکتور - امیتر تأثیری (هرچند کم) بر رابطه ورودی بین i_B و v_{BE} دارد. بنابراین باید انتظار داشته باشیم که در این مدار معادل مقداری "فیدبک"[4] از خروجی به ورودی وجود داشته باشد. در قسمت بعدی با ذکر مقدمه مختصری در باره تئوری عناصر دو دهانه[5]، مدار معادل کاملی برای ترانزیستور بدست خواهیم آورد. این مدار معادل دارای پارامترهای خواهد بود که هر کدام از کمیت‌های فوق الذکر را در بر خواهد داشت.

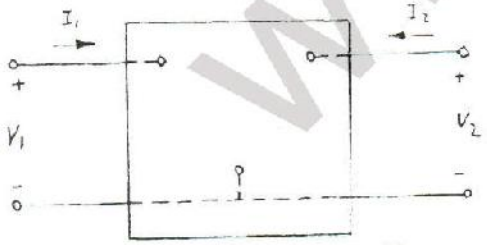


شکل ۳-۵ : مدار شکل ۲-۵ که برای تجزیه تحلیل سیگنال کوچک ac ترسیم شده است.

۲-۵ : مدار معادل هایبرید ترانزیستور

مبحث زیر مقدمه‌ای است بر تئوری عناصر دو دهانه. برای عناصر سه ترمینال ترانزیستور، مطابق شکل ۴-۵، دو جفت سر (دو دهانه) وجود دارد که مورد نظر می‌باشد. برای راحتی کار، دو ترمینال چپ را ترمینال‌های ورودی و هر دو ترمینال راست را ترمینال‌های خروجی می‌نامیم. ملاحظه می‌شود که برای هر جفت سر، هر متغیر جریان و ولتاژ، می‌توان در نظر گرفت.

روش‌های مختلفی برای بیان ارتباط بین این چهار متغیر (دو متغیر ورودی و دو متغیر خروجی) وجود دارد. دستگاه معادلات (۱-۵) کمترین از این روش‌ها را نشان می‌دهد. این روشی است که در تجزیه تحلیل مدارهای ترانزیستوری بکار می‌رود و بنابراین در این قسمت مورد بررسی قرار خواهد گرفت.



شکل ۴-۵ : سیستم دو دهانه.

$$V_1 = h_{11} I_1 + h_{12} V_2 \qquad (\text{الف } ۱-۵)$$

$$I_2 = h_{21} I_1 + h_{22} V_2 \qquad (\text{ب } ۲-۵)$$

---

1) Superposition Theorem
2) input impedance
3) output impedance
4) Feedback
5) two-port Theory

www.tnar.ir

پارامترهایی که چهار متغیر را بهم مربوط می‌سازند پارامترهای h[1] نامیده می‌شوند. واژه h از هایبرید[2] (یعنی دورگه، مختلط) به این علت برای این پارامترها انتخاب شده که خلط متغیرهای ولتاژ و جریان را در هر معادله در یک رشته واحدهای اندازه‌گیری مختلف برای پارامترهای h مخیر می‌شود نشان دهد.

برای اینکه درک روشنی از پارامترهای h داشته باشیم و بدانیم هریک از این پارامترها معرف چگونه مقیاسی می‌باشد و چگونه می‌توان آنها را اندازه‌گیری کرد، هریک از آنها را جداگانه در روابط بدست آمده از بررسی می‌کنیم.

اگر در رابطه (الف-۱-۵) مقدار V_2 را مساوی صفر قرار دهیم (یعنی سر خروجی را اتصال کوتاه کنیم) و از این رابطه مقدار h_{11} را بدست آوریم، خواهیم داشت:

$$h_{11} = \frac{V_1}{I_1}\Big|_{V_2=0} \quad (\text{اهم}) \qquad (۵-۲)$$

این نسبت نشان می‌دهد که پارامتر h_{11} یک پارامتر امپدانس بوده و با واحد اهم[3] اندازه‌گیری می‌شود. چون این پارامتر نسبت ولتاژ ورودی به جریان ورودی در رابطه‌ای که خروجی اتصال کوتاه است، می‌باشد بنابراین آنرا پارامتر امپدانس ورودی اتصال کوتاه[4] می‌نامیم.

اگر I_1 را برابر صفر قرار دهیم یعنی سر ورودی را باز کنیم، در رابطه (الف-۱-۵) ضریب یا تقسیم h_{12} بدست آید:

$$h_{12} = \frac{V_1}{V_2}\Big|_{I_1=0} \qquad (۵-۳)$$

بنابراین پارامتر h_{12} نسبت ولتاژ ورودی به ولتاژ خروجی، وقتی که جریان ورودی صفر باشد، است. این پارامتر بعلت اینکه نسبت دو ولتاژ را نشان می‌دهد، فاقد واحد می‌باشد. h_{12} را پارامتر نسبت انتقال معکوس ولتاژ مدار باز[5] می‌نامند واژه معکوس به این دلیل بکار می‌رود تا نشان دهد که این پارامتر نسبت ولتاژ ورودی به خروجی است، نه خروجی به ورودی که معمولاً در مدارها مورد نظر می‌باشد.

اگر در رابطه (ب-۱-۵)، V_2 را به اتصال کوتاه کردن سر خروجی مساوی صفر قرار دهیم، خواهیم داشت:

$$h_{21} = \frac{I_2}{I_1}\Big|_{V_2=0} \qquad (۵-۴)$$

با وضع روابط فوق ملاحظه می‌شود که پارامتر h_{21} نسبت خروجی به ورودی را نشان می‌دهد و این بدست می‌آید برای [illegible]

---

۱) h-parameters
۲) hybrid
۳) ohm
۴) short-circuit input impedance parameter
۵) open-circuit reverse transfer voltage ratio parameter

www.itmar.ir

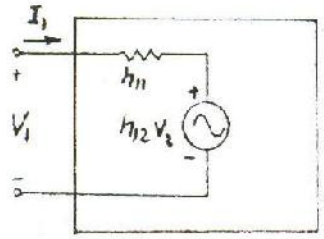
این پارامتر را اگر مواظب باشیم بهتر است پارامتر گسیل بنامیم زیرا h_{12} ، واحدی ندارد ، زیرا نسبت دو جریان را نشان می‌دهد . پارامتر h_{21} را معمولاً پارامتر نسبت انتقال مستقیم جریان اتصال کوتاه[1] می‌نامند .

آخرین پارامتر h_{22} است که مربوط آن را با باز کردن مدار ورودی یعنی با صفر قرار دادن جریان ورودی I_1 در رابطه (ب ۱-۵) بدست آورد :

$$h_{22} = \frac{I_2}{V_2}\Big|_{I_1=0} \qquad (\text{مهو}^{(2)})$$

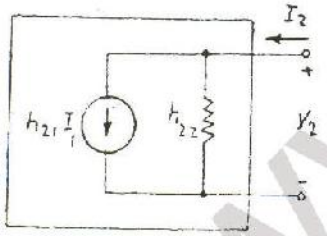
چون این پارامتر نسبت جریان خروجی به ولتاژ خروجی مشخص می‌کند ، لذا پارامتر گذردگانس[3] خروجی نیز واحد مهو نامیده می‌شود . این پارامتر را پارامتر گذردگانس خروجی مدار - باز[4] می‌نامند .

با توجه به اینکه رابطه (الف ۱-۵) بصورت مجموع ولتاژ نوشته شده یا به عبارت دیگر هیچ یک از جملات آن از جنس ولتاژ نمی‌باشد ، لذا با لگاریتم گرفتن از طرفین تساوی نمی‌توان مدار بدست آورد در این رابطه از آن صرف نظر . با انجام چنین عملی ، مدار نظیر شکل ۵-۵ بدست می‌آید . چون واحد پارامتر h_{11} اهم است ، لذا این پارامتر ، امپدانسی را نشان می‌دهد در برابر تراتر است بصورت مقاومت در شکل ۵-۵ ، نشان داده شده است . h_{12} که کمیت مدول واحد بوده و "فیدبک" ولتاژ خروجی را در مدار ورودی نشان می‌دهد .



شکل ۵-۵ : مدار معادل هایبرید فیدبک .

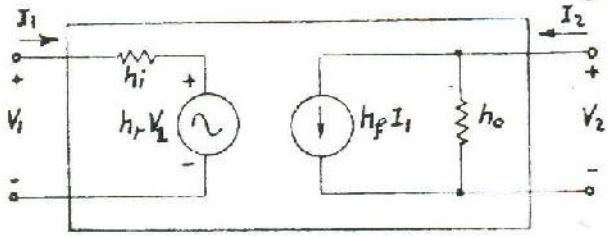
با توجه به رابطه (ب ۱-۵) ملاحظه می‌شود در معادلات این رابطه هیچ یک از جنس جریان نبوده و با لگاریتم گرفتن از طرفین رابطه می‌توان مدار نظیر شکل ۵-۶ بدست آورد که در این رابطه صرف نظر .



شکل ۵-۶ : مدار معادل هایبرید خروجی

چون h_{22} دارای واحد ادمیت[5] است ؛ بنابراین توسط علامت مقاومت نشان داده شده است . باید خاطرنشان کرد در مقدار مقاومت این پارامتر ، جذب اهم برابر عکس ادمیت ($\frac{1}{h_{22}}$) می‌باشد .

مدار معادل کامل "ac" برای عنصر خطی سه سر در شکل ۵-۷ با زیرنویسهای جدید برای پارامترهای h نشان داده شده است .



شکل ۵-۷ - مدار معادل هایبرید کامل .

---

1) Short-Circuit forward transfer current ratio parameter
2) mho
3) Conductance
4) open-circuit output conductance parameter

www.tinar.ir

نامگذاری بکار رفته در شکل ۷-۵ از نظر کاربرد عملی مناسب تر است، زیرا این نامگذاری پارامترهای h را به مطالب گفته شده در پاراگراف قبل مرتبط می سازد. انتساب حروف زیرنویس طبق روش زیر صورت گرفته است:

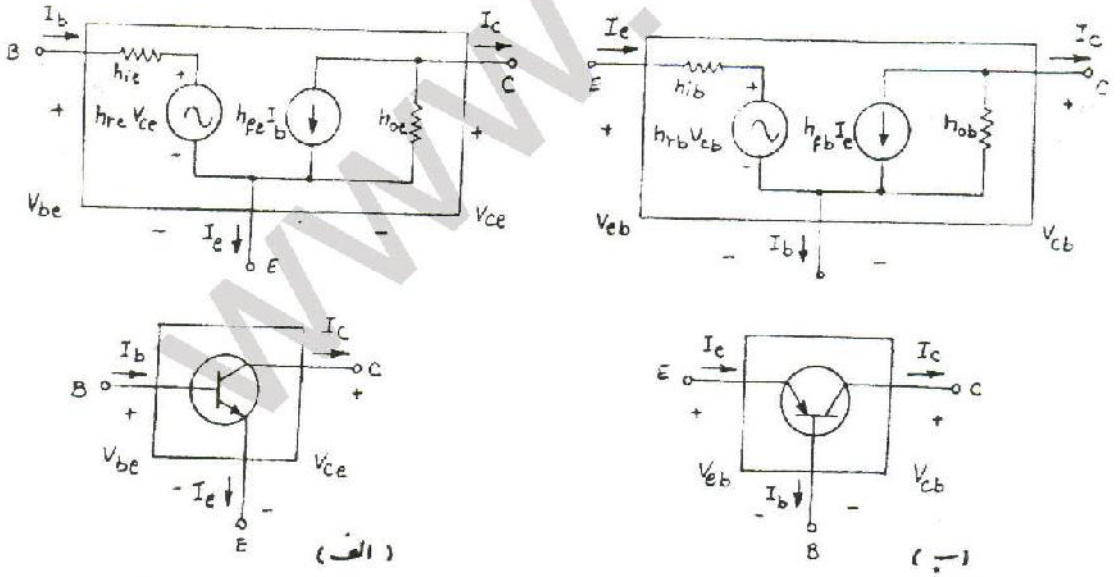
$h_{11} \longrightarrow$ مقاومت ورودی[1] $\longrightarrow h_i$

$h_{12} \longrightarrow$ نسبت انتقال ولتاژ معکوس[2] $\longrightarrow h_r$

$h_{21} \longrightarrow$ نسبت انتقال جریان مستقیم[3] $\longrightarrow h_f$

$h_{22} \longrightarrow$ هدایت خروجی[4] $\longrightarrow h_o$

مدار شکل ۷-۵ با مرتبط با هر عنصر سه سر خطی درخانه منبع بسته[5] درونی باشد، نگاری می. بنابراین برای ترانزیستور که دارای سه ترکیب اصلی (CC و CB و CE) است و هر سه ترکیب، ترکیبات سه سر می باشند، مرتبط مدار معادل نشان داده شده در شکل ۷-۵ را بصورت فرم نگاری می. ولی باید در نظر داشت در برابر هر ترکیب، پارامترهای h مقادیر متفاوت خواهند داشت. برای تشخیص دادن پارامتر h مربوط به کدام ترکیب از فوق الذکر، اندیس دوم سمت نامگذاری پارامترها[6] افزوده می شود. برای ترکیب بیس مشترک از حرف کوچک b و برای ترکیب امیتر مشترک و کلکتور مشترک به ترتیب از حروف کوچک e و c استفاده می شود. مدار معادل برای ترکیبهای بیس مشترک و امیتر مشترک با ضرورتهای[7] استاندارد در شکل ۸-۵ نشان داده شده اند. مدار شکل ۸-۵ را هم برای ترانزیستور pnp و هم برای ترانزیستور npn مرتبط نگاری می.



شکل ۸-۵ : مدار معادل هیبرید کامل: الف) امیتر مشترک؛ ب) بیس مشترک.

مدار معادل شکل ۷-۵ امروزه در بحث مطالعه ترکیبات از اهمیت خاصی برخوردار است. در بخشهای بعدی مکررا از این مدار

---

1) Input resistance
2) Reverse transfer voltage ratio
3) Forward transfer current ratio
4) Output conductance
5) independent sources
6) notation

استفاده خواهد شد . بنابراین ، بجز مدارهای مختلف اصلی آن ، همچنین معادله پارامترهای بکار رفته در آن [روابط (۵-۶) تا (۵-۹)] از اهمیت خواهد بود . این واقعیت در مدار شکل ۵-۷ هم از مدار نورتن[1] هم از مدار تونن استفاده شده ، دلیلی دیگر است بر اینکه این نوع مدارها را همیشه بیاد داشته باشیم . علاوه بر این مدارها ، دو نوع مدار معادل دیگر نیز ، مبنای مدارهای معادل با پارامترهای Z و مدار معادل با پارامترهای Y ، برای ترانزیستور وجود دارند که در این کتاب مورد بحث قرار نخواهند گرفت . در هر یک از این مدارهای معادل یا منابع ولتاژ بکار می روند و یا منابع جریان ، ولی در آن مدارها این دو نوع منبع هم مورد استفاده قرار می گیرند . در قسمت ۵-۳ مقادیر پارامترهای مختلف را برای مدار معادل سیگنال کوچک ترانزیستور ، از روی مشخصه های آن برای محاسبه کار تعیین خواهیم نمود .

۵-۳ : تعیین پارامترهای h بروش ترسیمی

با استفاده از مشتقات جزئی[2] میتوان پارامترهای h بکار رفته در مدار معادل سیگنال کوچک ترانزیستور ، در منطقه کار برای ترکیب امیتر مشترک را از روابط زیر بدست آورد :

$$h_{ie} = \frac{\partial v_1}{\partial i_1} = \frac{\partial v_{BE}}{\partial i_B} \approx \frac{\Delta v_{BE}}{\Delta i_B}\Big|_{v_{CE}=\text{ثابت}} \qquad (۵-۶)$$

$$h_{re} = \frac{\partial v_1}{\partial v_2} = \frac{\partial v_{BE}}{\partial v_C} \approx \frac{\Delta v_{BE}}{\Delta v_{CE}}\Big|_{i_B=\text{ثابت}} \qquad (۵-۷)$$

$$h_{fe} = \frac{\partial i_2}{\partial i_1} = \frac{\partial i_C}{\partial i_B} \approx \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B}\Big|_{v_{CE}=\text{ثابت}} \qquad (۵-۸)$$

$$h_{oe} = \frac{\partial i_2}{\partial v_2} = \frac{\partial i_C}{\partial v_{CE}} \approx \frac{\Delta i_C}{\Delta v_{CE}}\Big|_{i_B=\text{ثابت}} \qquad (۵-۹)$$

علامت Δ در روابط فوق برای نشان دادن تغییر کوچک کمیت مورد نظر در حوالی نقطه کار بکار رفته است . به عبارت دیگر برای سیگنال در حدود ، پارامترهای h در حوالی نقطه کار مدار تعیین میشوند تا مدار معادل بدست آمده دقیقترین مدار معادل ممکن باشد . ثابت بودن مقادیر V_{CE} و I_B در تعیین پارامترهای ، از آنجائی ، که در آن این پارامترها از روی مشخصه های ترانزیستور بدست میآیند را نشان میدهند . برای ترکیب های بیس مشترک و کلکتور مشترک نیز میتوان روابط فوق را با جایگزین کردن مقادیر مناسب بجای v_1 ، v_2 ، i_1 ، و i_2 بدست آورد . در ضمیمه الف جدولی داده شده است که در آن روابط بین پارامترهای هایبرید سه ترکیب اصلی موجود است . به عبارت دیگر اگر پارامترهای h برای ترکیب امیتر مشترک معلوم باشند ، در اینصورت با استفاده از این جدول میتوان پارامترهای h را برای ترکیبهای بیس مشترک یا کلکتور مشترک نیز تعیین نمود .

پارامترهای h_{ie} و h_{re} از روی مشخصه های ورودی بیس تعیین میشوند ، در حالیکه پارامترهای h_{fe} و h_{oe} را میتوان

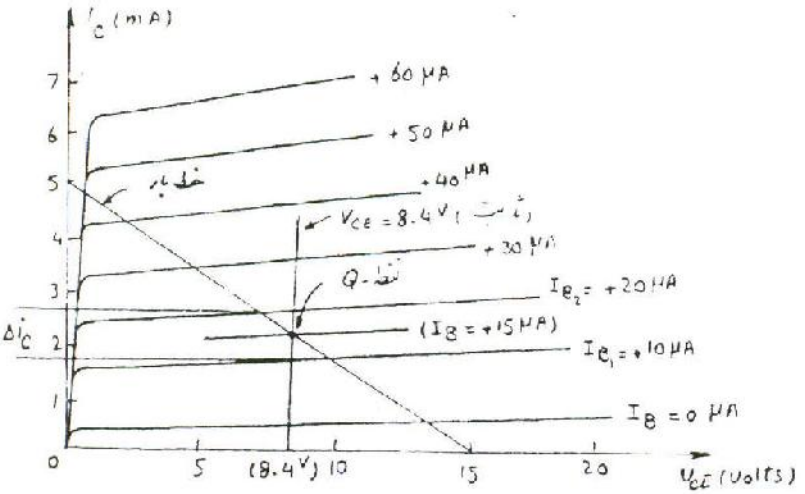
---

1) Norton

2) partial derivatives

www.tnar.ir

از روی مشخصه ای خروجی با گلکتور مشترک بدست آورد. چون معمولاً پارامتر h_{fe} از اهمیت بیشتری برخوردار است، لذا ابتدا عملیات مربوط به تعیین این پارامتر را با استفاده از معادلات (۵-۶) تا (۵-۹) بررسی می‌کنیم. قدم اول در تعیین هر یک از چهار پارامتر h، پیدا کردن نقطه کار ترانزیستور می‌باشد که در شکل ۵-۹ نشان داده شده است. برای بایاس نقطه ثابت لازم است V_{CE} در معادله (۵-۸) ثابت در تغییرات ولتاژ و جریان بیس بررسی خط عمود بر محور V_{CE} از نقطه کار (Q) عبور می‌کند و در آن V_{CE} ثابت است، در نظر گرفته شود. سپس با توجه به رابطه (۵-۸) مقادیر مشخص برای تعیین h_{fe} باید مقدار تغییرات کوچک جریان کلکتور را در برابر تغییرات کوچک جریان بیس بدست آوریم. برای اینکه این پارامتر با دقت زیادی تعیین شده، لازم است در این تغییرات حتی الامکان کوچک در نظر گرفته شود.



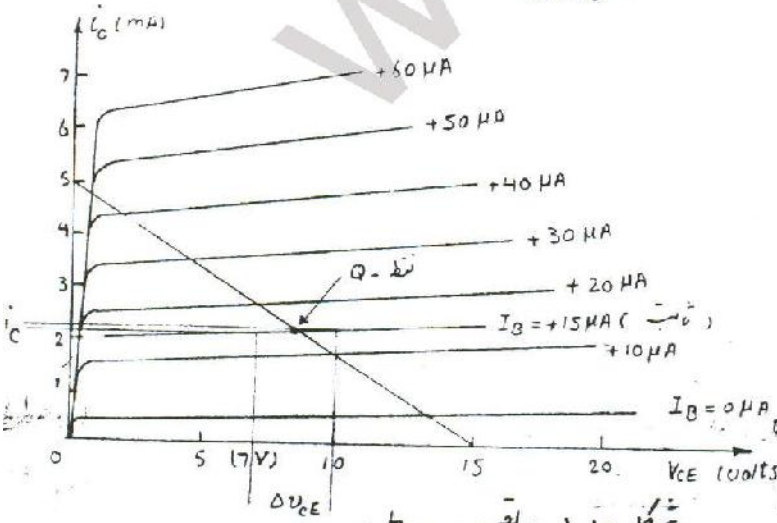
شکل ۵-۹ : تعیین h_{fe}.

در شکل ۵-۹ تغییرات I_B در حاصل I_{B1} و I_{B2} و روی خط راست عمود گذرنده از V_{CE} در نظر گرفته شده تغییرات متناظر در جریان کلکتور، با رسم خطوط افقی از محل تلاقی جریان I_{B1} و I_{B2} با خط ثابت V_{CE} و اندازه گرفتن Δi_C از روی محور جریان کلکتور بدست آمده است. با قرار دادن این تغییرات در رابطه (۵-۸) بدست می‌آوریم:

$$|h_{fe}| = \frac{\Delta i_C}{\Delta I_B}\Big|_{V_{CE}=\text{ثابت}} = \frac{(2.7-1.7)\times10^{-3}}{(20-10)\times10^{-6}}\Big|_{V_{CE}=8.4^{V}}$$

$$= \frac{10^{-3}}{10\times10^{-6}} = 100$$

در شکل ۵-۱۰ خطوط افقی موازی با محور I_B در نقطه کار عبور داده شده، تا اینکه مقدار ثابت I_B در رابطه (۵-۹) برای تعیین h_{oe} لازم است، بدست آید. تغییرات برای V_{CE} در نظر گرفته شده و بعد از نقاط تلاقی این خطوط با منحنی I_B ثابت، خطوط عمود بر محور V_{CE} رسم می‌شوند تا محور عمودی (جریان i_C) را قطع کنند.



شکل ۵-۱۰ : تعیین h_{oe}.

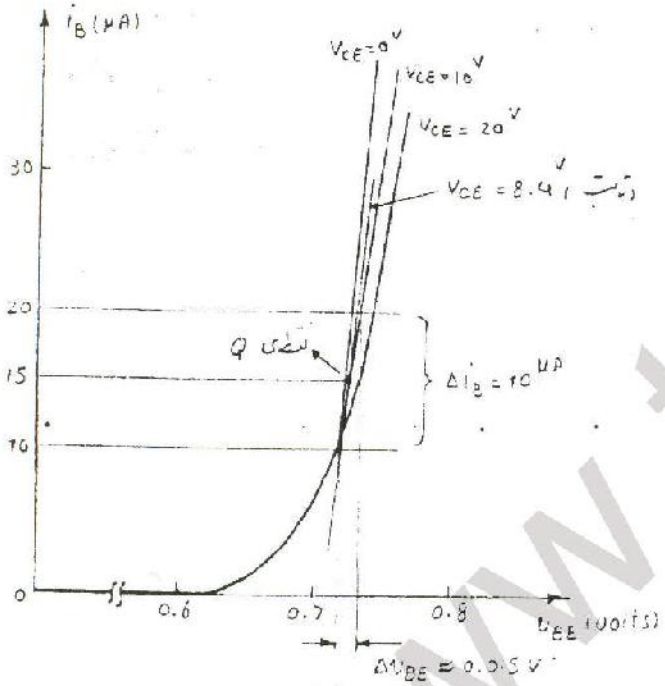
www.tinar.ir

با قرارداد ن مقادیر تعیین شده از روی شکل ۵-۱۰ در رابطه (۵-۹) خواهیم داشت :

$$|h_{oe}| = \frac{\Delta i_C}{\Delta v_{CE}}\Big|_{i_B = \text{ثابت}} = \frac{(2.2 - 2.1)\times 10^{-3}}{10 - 7}\Big|_{I_B = +15\,\mu A}$$

$$= \frac{0.1 \times 10^{-3}}{3} = 33\ \mu A/V$$

برای تعیین پارامترهای h_{ie} و h_{re} ابتدا باید نقطه کار را در روی مشخصه ورودی مشخص بدست بیاوریم (شکل ۵-۱۱). برای برقراری شرط (V_{CE} ثابت) در رابطه ۵-۶، خط موازی برمحور $V_{CE} = 8.4\ V$ در نقطه کار Q رسم می‌کنیم، سپس تغییرات کوچکی برای v_{BE} در نظر گرفته و تغییرات i_B را به ازای آن بدست میآوریم. با قرار دادن مقادیر بدست آمده در رابطه (۵-۶) خواهیم داشت :



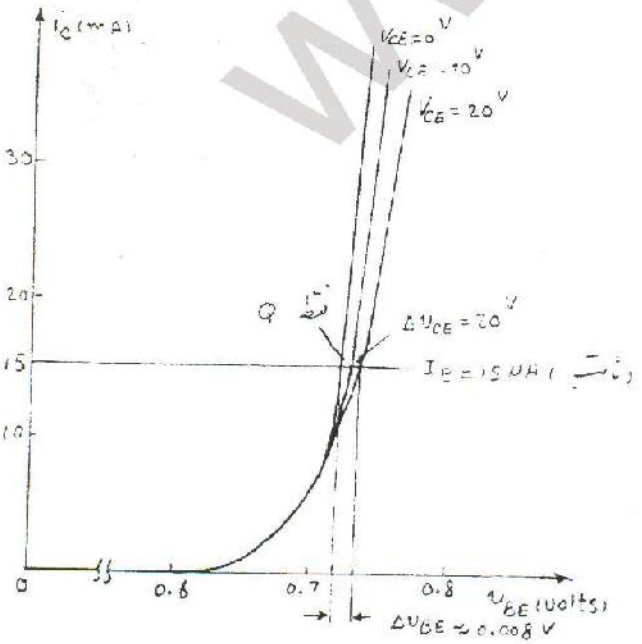
شکل ۵-۱۱ : تعیین h_{ie} .

$$|h_{ie}| = \frac{\Delta v_{BE}}{\Delta i_B}\Big|_{V_{CE} = \text{ثابت}}$$

$$= \frac{(732 - 716)\times 10^{-3}}{(20 - 10)\times 10^{-6}}\Big|_{V_{CE} = 8.4^V}$$

$$= \frac{16 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-6}} = 1.6\ k$$

آخرین پارامتر h_{re} است در مورد آن با استفاده از رسم یک خط افقی در راستای نقطه Q که $I_B = 15\ \mu A$ می‌گذرد، بدست آورد. طبیعی است در ابتدا تغییرات بسیار v_{CE} باید در نظر گرفته و سپس تغییرات متناظر برای v_{BE} را مطابق شکل ۵-۱۲ تعیین نمود. با قرار دادن مقادیر بدست آمده در رابطه (۵-۷) خواهیم داشت :



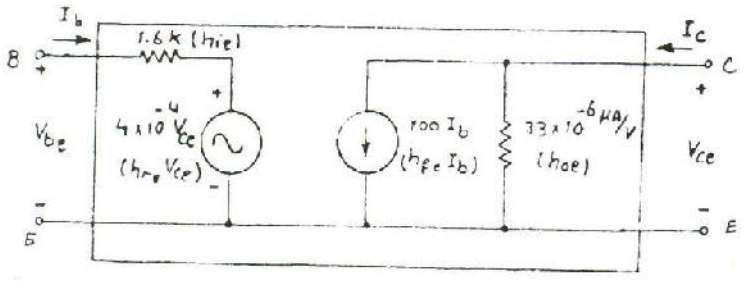
شکل ۵-۱۲ : تعیین h_{re} .

$$|h_{re}| = \frac{\Delta v_{BE}}{\Delta v_{CE}}\Big|_{i_B = \text{ثابت}}$$

$$= \frac{(730 - 722)\times 10^{-3}}{20 - 0}$$

$$= \frac{8 \times 10^{-3}}{20} = 4 \times 10^{-4}$$

www.tmar.ir



شکل ۵-۱۳ : مدار معادل هایبرید کامل برای ترانزیستور در تشخیصات آن در شکل ۵-۹ تا ۵-۱۲ نشان داده شده است .

برای ترانزیستور در تشخیصات آن در شکل ۵-۹ تا ۵-۱۲ نشان داده شده، مدار معادل هایبرید برای سیگنال کوچک نظیر شکل ۵-۱۳ خواهد بود .

همانطوری که قبلاً هم گفته شد برای ترکیب‌های بیس مشترک و کلکتور مشترک نیز همین

با استفاده از روابط اصلی ، و با قرارداد متغیرها و تخصیص مناسب پارامترها می‌توان بدست آورد .

مقادیر عددی هر یک از پارامترهای فوق الذکر برای تعدادی از ترانزیستورها در محدوده کاری برای هر یک از ترکیبات (CC , CB , CE) در جدول ۵-۱ داده شده است . علامت منفی برای h_f نمایانگر این واقعیت است که در رابطه (۵-۸) با افزایش یک کمیت ، مقدار کمیت دیگر کاهش می‌یابد .

جدول ۵-۱ مقادیر عددی برای ترکیبات CE ، CC و CB ترانزیستور

پارامتر	CE	CC	CB
h_i	1 k	1 K	20 Ω
h_r	2.5×10^{-4}	≈ 1	3.0×10^{-4}
h_f	50	-50	-0.98
h_o	25 MA/V	25 MA/V	0.5 MA/V
$1/h_o$	40 K	40 K	2 M

با مراجعه به آنچه قبلاً گفته شد (قسمت ۴-۳ : عمر تقویت کنندگی ترانزیستور) ملاحظه می‌شود که مقاومت ورودی تقویت کننده بیس مشترک کم است در حالیکه مقاومت خروجی آن زیاد است . همچنین ولتاژ تقویت اضافی کرده . برای این ترکیب خیلی کمک به راحتی می‌باشد . برای ترکیب امیتر مشترک و کلکتور مشترک امپدانس ورودی خیلی بیشتر از ترکیب بیس مشترک است مقاومت خروجی و ورودی در حدود 40 تا 1 می‌باشد. برای ترکیب بیس مشترک و امیتر مشترک h_r خیلی کم می‌باشد . ترانزیستورهای سیلیکونی دارای h_{fe} از حدود 20 تا 600 می‌باشند . برای هر ترانزیستور ، همین کارخانه‌ها که ترانزیستور را تولید می‌کنند ، پارامترهای h را تهیه می‌کنند . اثر حرارت و جریان و ولتاژ کلکتور بر پارامترهای h را در قسمت ۵-۴ مورد بررسی قرار خواهیم داد .

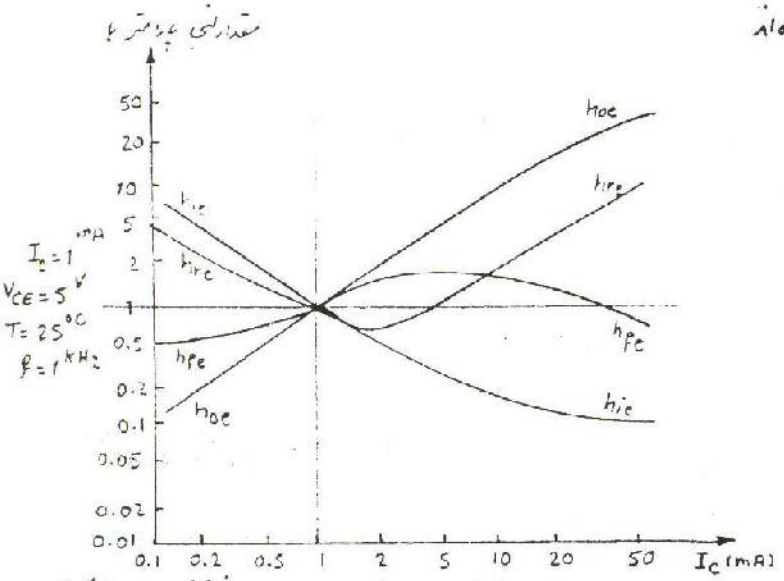
۵-۴ : تغییرات پارامترهای ترانزیستور

بررسی این دو تغییرات پارامترهای h بر اثر تغییر حرارت ، فرکانس ، ولتاژ و جریان کلکتور را مختصراً خواهیم داد .

www.ttnar.ir

حساب ترکیب پیچیده‌تری این منحنی‌ها در این سطح از بررسی ما، منحنی‌های تغییرات پارامترهای h برحسب درجه حرارت هستند، جریان کلکتور، ولتاژ کلکتور ثابت می‌باشد.

در شکل ۵-۱۴ اثر جریان کلکتور روی تغییرات پارامترهای h نشان داده شده است. در این شکل منحنیها بصورت نرمالیزه[1] شده‌اند تا تغییرات نسبی مقدار آنها با تغییر جریان کلکتور به آسانی قابل تخمین باشد. روی هر یک از منحنی‌ها نقطه‌ای شکل ۵-۱۴ همراه نقطه کاری پارامترها در آن تعیین شده‌اند، منحنی‌ها برای یک محیط خاص نقطه کار در نظر گرفته شده‌اند $I_C = 1.0\ mA$ ، $V_{CE} = 5.0\ V$ می‌باشد. چون درجه حرارت و فرکانس نیز روی پارامترهای h اثر می‌گذارند، بنابراین این کمیتها نیز روی منحنی‌ها مشخص شده‌اند. در جریان



شکل ۵-۱۴ : تغییرات پارامترهای h بر اثر تغییر جریان کلکتور.

$0.1\ mA$ مقدار h_{fe} تقریباً نصف یا 50% مقدار اصلی آن در جریان $1.0\ mA$ می‌باشد. در صورتی که در $3\ mA$، این مقدار 1.5 برابر شده و یا به 150% مقدار اصلی خود افزایش می‌یابد. بعبارت دیگر h_{fe} از مقدار $0.5 \times 50 = 25$ به مقدار $1.5 \times 50 = 75$ تغییر کرده، در صورتی که جریان I_C از $0.1\ mA$ به $3\ mA$ رسیده است. در قسمت ۵-۶ ملاحظه خواهیم کرد که در بیشتر کاربردها تقریباً نسبت به تغییرات از اثرات پارامترهای h_{re} و h_{oe} در مقدار معادل صرف نظر نمود. ولی اگر نقطه کار ترانزیستور را در $I_C = 50\ mA$ در نظر بگیریم، مشاهده می‌کنیم که مقدار h_{re} تقریباً 11 برابر مقدار آن در نقطه کار Q قبلی می‌شود، لذا به مقداری می‌رسد که ممکن است دیگر نتوانیم از آن صرف نظر نمائیم. اگر همین شرایط را برای پارامتر h_{oe} در نظر بگیریم ملاحظه می‌شود که مقدار این پارامتر تقریباً 35 برابر افزایش می‌یابد. این افزایش در مقدار h_{oe} اندازه مقاومت خروجی ترانزیستور را تا اندازه�ی کاهش خواهد داد که ممکن است با اندازه مقاومت بار[2] نقطه‌ای شود. در نهایت نیز نمی‌توان این پارامتر را از مدار معادل حذف نمود.

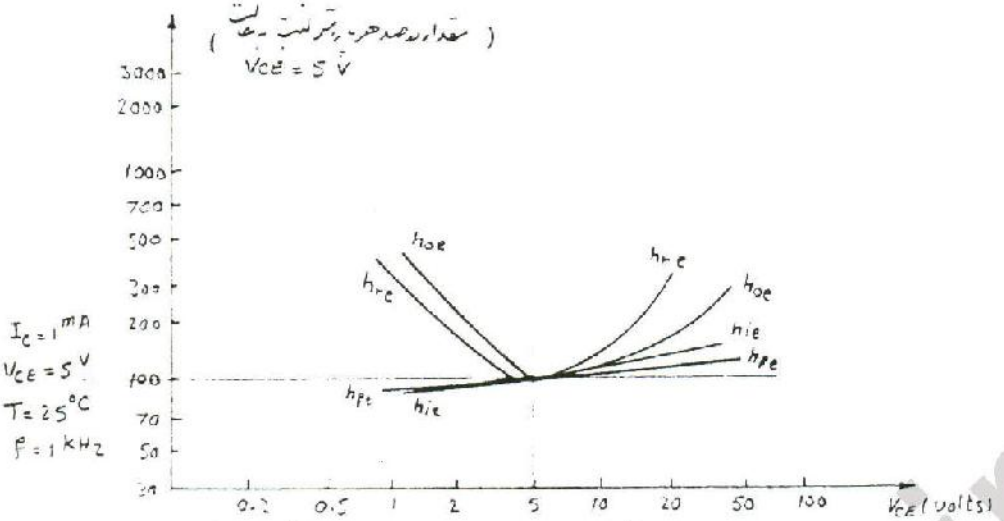
شکل ۵-۱۵ تغییرات مقدار پارامترهای h نرمالیزه شده را برحسب تغییرات ولتاژ کلکتور نشان می‌دهد. این دسته از منحنی‌ها نیز نسبت به همان نقطه کار شکل ۵-۱۴ نرمالیزه شده‌اند تا امکان مقایسه بین این دو دسته منحنی باشد. با دقت به شکل ۵-۱۵ مشاهده می‌شود که مقادیر h_{fe} و h_{ie} نسبتاً ثابت بوده درحالیکه تغییرات h_{oe} و h_{re} در محدوده نقطه کار مورد نظر، خیلی زیاد می‌باشد. بعبارت دیگر پارامترهای h_{oe} و h_{re} بیشتر از پارامترهای h_{ie} و h_{fe} نسبت به تغییرات ولتاژ کلکتور حساس می‌باشند.

در شکل ۵-۱۶ تغییرات پارامترهای h برحسب تغییرات درجه حرارت بصورت رسم شده است. مقادیر نرمالیزه نسبت به مقادیر اطاق[3] تعیین

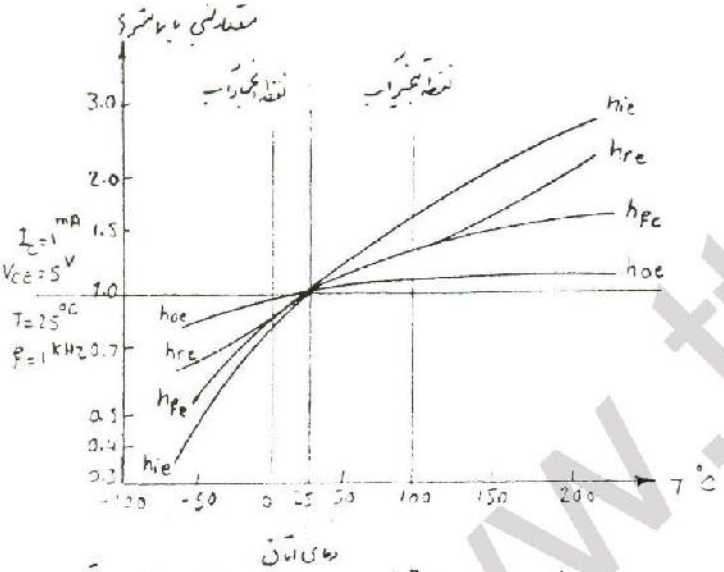
---

1) normalized
2) load resistor
3) room temperature

www.tnar.ir



شکل ۵-۱۵ : تغییرات پارامترهای ایبرد برحسب ولتاژ کلکتور امیتر



شکل ۵-۱۶ : تغییرات پارامترهای h برحسب دمای حرارت .

$T = 25^{\circ}C$ انتخاب شده اند . در این شکل برخلاف شکل‌های ۵-۱۴ و ۵-۱۵ محدوده تغییر پارامترها نیز نشان داده شده است . عموماً با افزایش دمای حرارت ، افزایش می‌یابند . پارامتر h_{oe} مربوط شده . در حدود h_{ie} دارای بیشترین تغییرات برابر حرارت است . با در نظر گرفتن این واقعیت در h_{fe} از 50% مقدار نرمالیزه آن در دمای حرارت $-50^{\circ}C$ به 150% این مقدار در $150^{\circ}C$ افزایش می‌یابد ، این مطلب است در طرح مدارهای ترانزیستوری ، در برابر حرارت کار[1] باید دقت در نظر گرفته شود .

۵-۵ : تجزیه و تحلیل سیگنال - کوچک تقویت کننده‌ی اساسی ترانزیستوری با استفاده از مدار معادل هایبرید

در این قسمت یک تقویت کننده اساسی ترانزیستوری با استفاده از مدار معادل هایبرید مورد بررسی قرار خواهد گرفت . در این جا نوع ترکیب ترانزیستور (امیتر مشترک ، بیس مشترک ، یا کلکتور مشترک) مورد نظر نیست و نتایج بدست آمده از این بررسی قابل استفاده برای هر یک از ترکیبات فوق خواهد بود . [illegible]

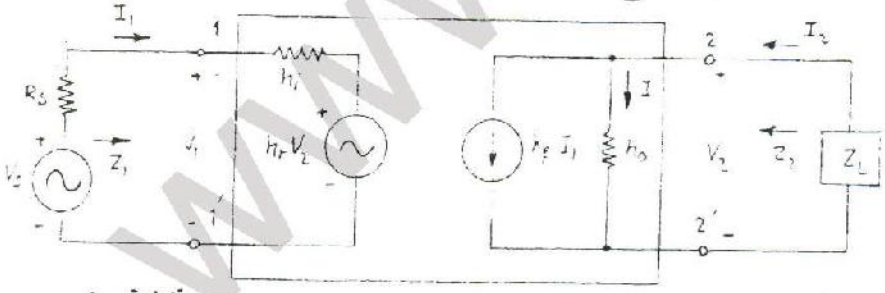
1) operating temprature

در شکل ۱۷-۵ نشان داده شده است ، تمام تقویت کننده با عناصر دو دهانه می باشند ، یعنی که جفت سر ورودی و یک جفت سر خروجی دارند . برای هر تقویت کننده معمولاً شش کمیت مورد نظر می باشد : بهره تقویت جریان ، بهره تقویت ولتاژ ، امپدانس ورودی ، امپدانس خروجی ، بهره تقویت توان[1] ، و روابط فاز[2] در میان قسمت های کمیتها با منفی مورد بررسی قرار خواهد داد . امپدانس بار Z_L می تواند هر ترکیبی از عناصر مقاومتی و راکتیو[3] باشد . در شکل ۱۷-۵ مقادیر نشان داده شده برای ولتاژ و جریان ، همگی مقادیر موثر کمیتهای متناوب سینوسی می باشند . مقاومت R_s ، مجموع مقاومتهای داخلی منبع V_s و هر مقاومت دیگری که با آن سری شده باشد را نشان می دهد . باید ذکر داد در تجزیه و تحلیل مدارها ، برای ورودی سینوسی - کوچک فرض بر این خواهد شد ، که در مورد مقادیر dc و نوع بایس کردن مدار نخواهد شد . ولی برای اینکه نتایج بدست آمده دقیق باشد ، باید نقطه کار را تعیین کرده و توسط آن پارامترهای h را مشخص نمود .

شکل ۱۷-۵ : ترکیب تقویت کننده اصلی ترانزیستوری .

$$\text{بهره تقویت جریان} \qquad A_i = \left(\frac{I_2}{I_1}\right)$$

با قرار دادن مدار معادل هایبریدی ترانزیستور در شکل ۱۷-۵ ، مدار شکل ۱۸-۵ بدست خواهد آمد .



شکل ۱۸-۵ : مدار شکل ۱۷-۵ در آن مدار معادل هایبرید جایگزین ترانزیستور در نظر گرفته شده است .

با بدست آوردن جریان خروجی گرهی در مدار خروجی ، خواهیم داشت ،

$$I_2 = h_f I_1 + I = h_f I_1 + h_o V_2$$

با قرار دادن $V_2 = -I_2 Z_L$ در رابطه فوق ، بدست میآوریم :

$$I_2 = h_f I_1 - h_o Z_L I_2$$

---

1) power gain
2) phase relationships

www.tnar.ir

علامت منفی برای پاسخ در این رابطه ظاهر شده است که جهت I_2 که در شکل ۵-۱۸ نشان داده شده است ایجاد اختلاف پتانسیلی در دوسر بار Z_L مرتبط در خلاف جهت نشان داده شده برای پتانسیل، در این شکل است.

با دوباره نوشتن این رابطه، بدست خواهیم آورد:

$$I_2 + h_o Z_L I_2 = h_f I_1$$

و

$$I_2 (1 + h_o Z_L) = h_f I_1$$

بنابراین

$$A_i = \frac{I_2}{I_1} = \frac{h_f}{1 + h_o Z_L} \qquad (۵-۱۰)$$

در حد تقویت ولتاژ $A_v = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)$

با اعمال قانون ولتاژ کیرشهف در مدار ورودی، خواهیم داشت:

$$V_1 = I_1 h_i + h_r V_2$$

با قرار دادن $I_1 = [(1 + h_o Z_L) I_2 / h_f]$ از رابطه (۵-۱۰) و $I_2 = -(V_2/Z_L)$ در رابطه فوق نتیجه مرتبط:

$$V_1 = \frac{-(1 + h_o Z_L) h_i}{h_f Z_L} V_2 + h_r V_2$$

اگر اندازه این رابطه نسبت V_2/V_1 را بدست آوریم، خواهیم داشت:

$$A_v = \frac{V_2}{V_1} = \frac{-h_f Z_L}{h_i + (h_i h_o - h_f h_r) Z_L} \qquad (۵-۱۱)$$

امپدانس ورودی $Z_1 = \left(\frac{V_1}{I_1}\right)$

در مدار ورودی داریم:

$$V_1 = h_i I_1 + h_r V_2$$

با قرار دادن $V_2 = -I_2 Z_L$ خواهیم داشت:

$$V_1 = h_i I_1 - h_r Z_L I_2$$

از تعریف $A_i = \frac{I_2}{I_1}$ نوشته شده برای $I_2 = A_i I_1$ مرتبط. با قرار دادن این مقدار برای I_2 در رابطه فوق، بدست خواهد آمد:

$$V_1 = h_i I_1 - h_r Z_L A_i I_1$$

اگر اندازه این رابطه نسبت V_1/I_1 بدست بیاوریم، نتیجه مرتبط:

www.tnal.ir

$$Z_1 = \frac{V_1}{I_1} = h_i - h_r Z_L A_i$$

با قرار دادن $A_i = \frac{h_f}{1 + h_o Z_L}$ نتیجه خواهد شد :

$$Z_1 = \frac{V_1}{I_1} = h_i - \frac{h_f h_r Z_L}{1 + h_o Z_L} \qquad (۵-۱۲)$$

امپدانس خروجی $Z_2 = \left(\frac{V_2}{I_2}\right)$

امپدانس خروجی یک تقویت کننده نسبت ولتاژ خروجی به جریان خروجی است هنگامیکه سیگنال (V_S) مساوی صفر قرار داده شود (طبق تعریف) .

در مدار ورودی با $V_S = 0$ خواهیم داشت :

$$I_1 = \frac{-h_r V_2}{R_S + h_i}$$

با قرار دادن این رابطه در رابطه زیر که از مدار خروجی بدست میآید ، نتیجه مرحله :

$$I_2 = h_f I_1 + h_o V_2$$

$$I_2 = \frac{-h_f h_r V_2}{R_S + h_i} + h_o V_2$$

و یا تشکیل نسبت $\frac{V_2}{I_2}$ خواهیم داشت :

$$Z_2 = \left.\frac{V_2}{I_2}\right|_{V_S = 0} = \frac{1}{h_o - \left(\frac{h_f h_r}{h_i + R_S}\right)} \qquad (۵-۱۳)$$

بنابراین ادمیتانس خروجی[1] برابر خواهد بود با :

$$Y_2 = \left.\frac{I_2}{V_2}\right|_{V_S = 0} = h_o - \frac{h_f h_r}{h_i + R_S} \qquad (۵-۱۴)$$

درجه تقویت توان $A_p = \left(\frac{P_L}{P_i}\right)$

توان تحویل شده به بار برابر است با $V_L I_L \cos\theta$ ، و برای جهت گرفتن داده شده در شکل این مقدار برابر $-V_2 I_2 \cos\theta$ خواهد بود . در اینجا نیز همان علتی که در مورد A_i گفته ، علامت منفی بکار گرفته میشود . این نشان میدهد که بار توان جذب میکند و به مدار توان نمیدهد . اگر بخواهیم حقیقت را در مورد بارهای مقاومتی خالص متمرکز کنیم ، در اینصورت $\cos\theta = 1$ خواهد بود و $P_L = P_2 = -V_2 I_2$ خواهد شد . توان در برابر است با $V_1 I_1$ ، بنابراین خواهیم داشت :

---

1) output admittance

www.tnar.ir

$$A_p = \frac{P_L}{P_i} = \frac{-V_2 I_2}{V_1 I_1} \qquad (۵-۱۵)$$

از طرفی داریم :

$$A_v = \frac{V_2}{V_1} \quad , \quad A_i = \frac{I_2}{I_1}$$

بنابراین

$$A_p = \left[-\frac{V_2}{V_1} \right] \left[\frac{I_2}{I_1} \right]$$

یعنی حاصلضرب راست :

$$A_p = -A_v A_i \qquad (۵-۱۶)$$

اگر این رابطه را برحسب پارامترهای h بنویسیم حاصلضرب راست :

$$A_p = \frac{h_f^2 Z_L}{(1 + h_o Z_L)[h_i + (h_i h_o - h_f h_r) Z_L]} \qquad (۵-۱۷)$$

اگر در نظر داشته باشیم که

$$V_2 = -I_2 Z_L$$

و $I_2 = A_i I_1$ را در آن جایگزین نماییم نتیجه می‌شود که :

$$V_2 = -A_i I_1 Z_L$$

و

$$A_v = \frac{V_2}{V_1} = \frac{-A_i I_1 Z_L}{V_1} = \frac{-A_i Z_L}{V_1 / I_1} = \frac{-A_i Z_L}{Z_1}$$

بنابراین :

$$A_p = -\left(-\frac{A_i Z_L}{Z_1} \right) A_i$$

و در نتیجه :

$$A_p = \frac{A_i^2 Z_L}{Z_1} \qquad (۵-۱۸)$$

(Z_1 و Z_L مقاومتی هستند)

روابط فاز

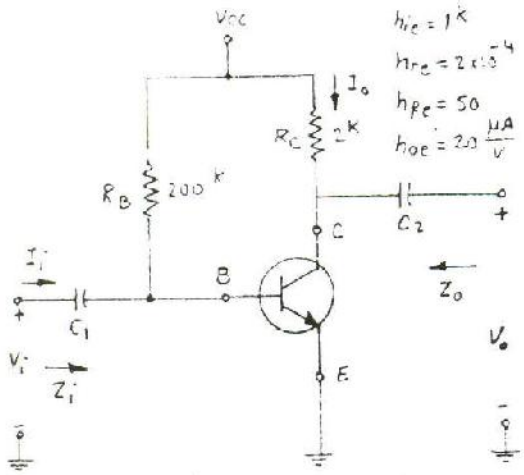
روابط فازی بین جریان یا ولتاژ خروجی و جریان یا ولتاژ ورودی را تحت عنوان بهره‌گیری از روابط (۵-۱۰) و (۵-۱۱) و (۵-۱۵) و ... به صورت ساده‌تر بدست آورد .

$$A_i = \frac{h_f}{1 + h_o Z_L}$$

www.itmar.ir

$$A_V = \frac{-h_f Z_L}{h_i + (h_i h_o - h_f h_r) Z_L}$$

همانطور که در قسمت ۵-۳ تجزیه شد، تمام پارامترهای h مثبت می‌باشند و تنها h_f در ترکیب بیس مشترک، و کلکتور مشترک دارای مقدار منفی است. بنابراین از روابط فوق ملاحظه می‌شود که برای ترکیب امیتر مشترک، جریان خروجی با جریان ورودی هم‌فاز (علیرغم اینکه ولتاژ خروجی از نظر علامت منفی در رابطه فوق) با ورودی 180° اختلاف فاز دارد. برای ترکیب‌های بیس مشترک و کلکتور مشترک به علت منفی بودن h_f عکس مطلب فوق صادق است. بهرحال باید بخاطر داشت که در این مطلب فقط مربوط به مثبت بودن ولتاژ و جریان تعریف شده توسط شکل ۵-۱۷ می‌باشد.



شکل ۵-۱۹ : مدار مثال ۵-۱ .

مثال ۵-۱ : کمیت‌های زیر را برای مدار بایس ثابت نشان داده شده در شکل ۵-۱۹ بدست آورید :

الف) در جهت تقویت جریان $A_i = I_o/I_i$.

ب) در جهت تقویت ولتاژ $A_v = V_o/V_i$.

ج) امپدانس ورودی Z_i .

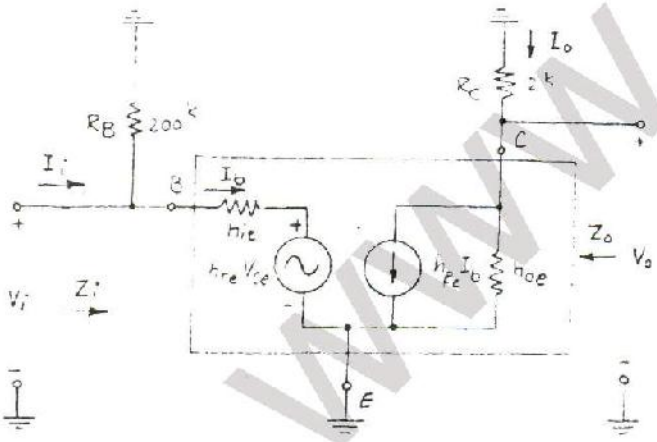
د) امپدانس خروجی Z_o .

ه) در جهت تقویت توان .

حل : با جایگزین کردن منبع dc بجای باتری با اتصال کوتاه و قرار دادن مدار معادل هیبریدی ترانزیستور، مدار شکل ۵-۲۰ بدست میاید.

اگر مدار شکل ۵-۲۰ را دوباره رسم کنیم مدار مشروحتر مدار شکل ۵-۲۱ بدست میاید.

اکنون روابط اصلی هیبرید را برای مدار شکل ۵-۲۱ نگاه می‌کنیم تا نتایج مورد نظر را بدست بیاوریم.

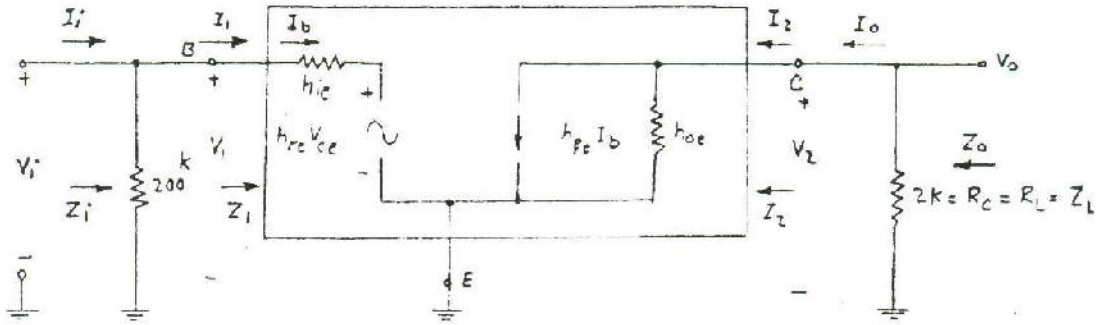


شکل ۵-۲۰ : مدار شکل ۵-۱۹ بعد از جایگزینی مدار معادل هیبرید ترانزیستور کوچک بجای ترانزیستور.

با شباهت مدار شکل ۵-۲۱ و مدار اساسی شکل ۵-۱۸ دقت نمائید. با مقایسه این دو مدار می‌توان از نتایج بدست آمده برای مدار شکل ۵-۱۸، برای حل این مدار نیز استفاده نمود.

الف) برای تعیین A_i ابتدا باید Z_i را محاسبه نمائیم :

www.ttnar.ir



شکل ۲۱-۵ : مدار شکل ۲۰-۵ که دوباره رسم شده است .

$$Z_1 = h_{ie} - \frac{h_{fe}h_{re}Z_L}{1+h_{oe}Z_L} = 1\times10^3 - \frac{(50)(2\times10^{-4})(2\times10^3)}{1+(20\times10^{-6})(2\times10^3)}$$

$$= 1\times10^3 - \frac{20}{1.04} \approx 981\ \Omega$$

چون $200\ k \gg 0.981\ k$ است لذا $I_i \simeq I_1$ یعنی جریان تقسیم نمی‌شود .

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} \simeq \frac{I_o}{I_1} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{h_{fe}}{1+h_{oe}Z_L} = \frac{50}{1+(20\times10^{-6})(2\times10^3)}$$

$$= \frac{50}{1.04} \approx 48.1$$

ب)

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{-h_{fe}Z_L}{h_{ie}+(h_{ie}h_{oe}-h_{fe}h_{re})Z_L}$$

$$= \frac{-50(2\times10^3)}{1\times10^3+[(1\times10^3)(20\times10^{-6})-(50)(2\times10^{-4})]2\times10^3}$$

$$= \frac{-100\times10^3}{1\times10^3+20} \simeq -98$$

ج)

$$Z_i = 200\ k \parallel Z_1 \simeq Z_1 = 0.981\ k$$

د)

$$Z_o = 2\ k \parallel Z_2$$

در شکل

$$Z_2 = \frac{1}{h_{oe}-\frac{h_{fe}h_{re}}{h_{ie}+R_S}} = \frac{1}{20\times10^{-6}-\frac{(50)(2\times10^{-4})}{1\times10^3+0}}$$

$$= \frac{1}{(20\times10^{-6})-(10\times10^{-6})} = \frac{1}{10\times10^{-6}} = 100\ k$$

$$Z_o = 2\ k \parallel 100\ k = 1.96\ k$$

ه)

$$A_p = A_i A_V = (48.1)(-98) = -4713.8$$

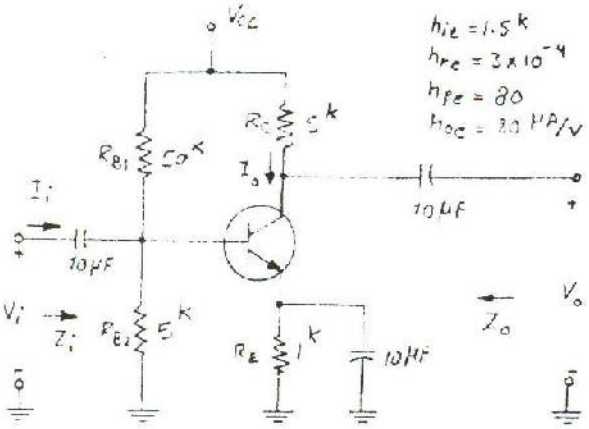
مثال ۵-۲ : مقادیر زیر را برای مدار شکل ۵-۲۲ بدست آورید :

الف) $A_v = V_o / V_i$

ب) $A_i = I_o / I_i$

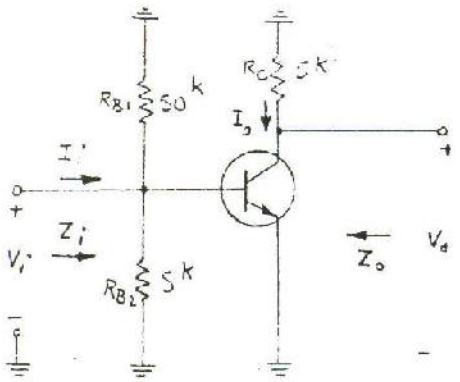
ج) Z_i

د) Z_o



شکل ۵-۲۲ : مدار مثال ۵-۲ .

حل : با قرار دادن مدار اتصال کوتاه برای منبع dc و حذف آن در این مدار ، مدار شکل ۵-۲۳ بدست میآید :



شکل ۵-۲۳ : مدار شکل ۵-۲۲ که دوباره برای تجزیه و تحلیل سیگنال کوچک ac رسم شده است .

با قرار دادن مدار معادل هایبرید برای ترانزیستور شکل ۵-۲۴ نتیجه میشود :

الف)

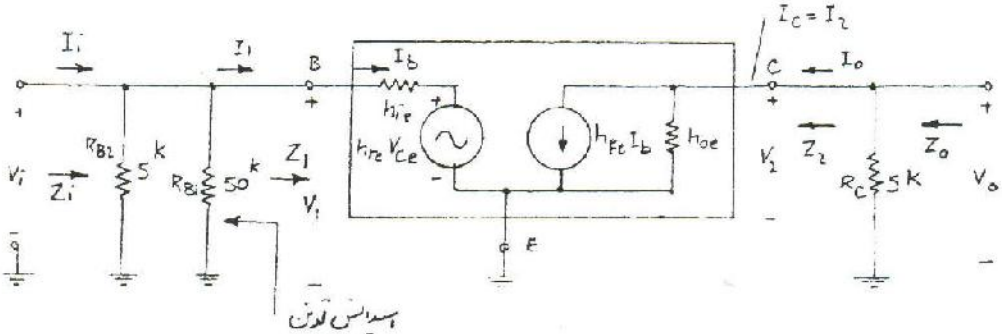
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{-h_{fe} Z_L}{h_{ie} + (h_{ie} h_{oe} - h_{fe} h_{re}) Z_L} =$$

$$\frac{-80(5\times10^{3})}{1.5\times10^{3} + [(1.5\times10^{3})(20\times10^{-6}) - (80)(3\times10^{-4})](5\times10^{3})}$$

$$= \frac{-400\times10^{3}}{1.5\times10^{3} + (6\times10^{-3})(5\times10^{3})} = \frac{-400\times10^{3}}{1.5\times10^{3} + 30}$$

$$= \frac{-400\times10^{3}}{1530} = -261.44$$

ب) برای تعیین رابطه بین I_i و I_1 ابتدا باید Z_1 را تعیین کرد :



شکل ۵-۲۴ : مدار شکل ۵-۲۳ پس از جایگزینی مدار معادل هایبرید بجای ترانزیستور .

www.ttnar.ir

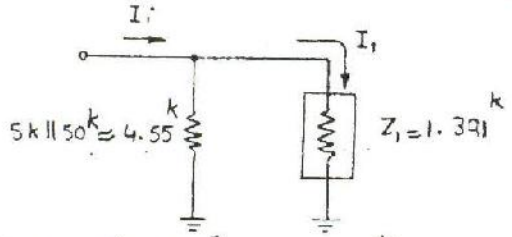
$$Z_i = h_{ie} - \frac{h_{fe} h_{re} Z_L}{1 + h_{oe} Z_L} = 1.5 \times 10^3 - \frac{(80)(3 \times 10^{-4})(5 \times 10^3)}{1 + (20 \times 10^{-6})(5 \times 10^3)}$$

$$= 1.5 \times 10^3 - \frac{120}{1 + 0.1} = 1.5 \times 10^3 - \frac{120}{1.1}$$

$$= 1.5 \times 10^3 - 109.09$$

$$Z_i \approx 1391\ \Omega$$

با استفاده از قانون تقسیم جریان[1] به مدار معادل شکل ۵-۲۵ مراجعه کنید :



شکل ۵-۲۵ : تعیین رابطه بین I_1 و I_i برای مدار شکل ۵-۲۴ .

$$I_1 = \frac{4.55^k\, I_i}{4.55^k + 1.391^k} \approx 0.766 I_i$$

در این صورت ضریب تقویت جریان بصورت زیر خواهد بود :

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_2}{I_i} = \left[\frac{I_1}{I_i}\right]\left[\frac{I_2}{I_1}\right] =$$

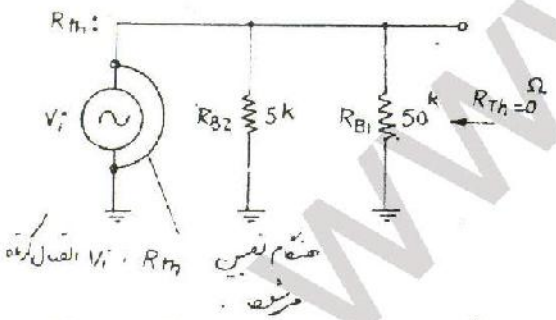
$$[0.766]\left[\frac{h_{fe}}{1 + h_{oe} R_L}\right] =$$

$$[0.766]\left[\frac{80}{1 + (20 \times 10^{-6})(5 \times 10^3)}\right] =$$

$$[0.766]\left[\frac{80}{1 + 0.1}\right] = \frac{61.28}{1.1} \approx 55.71$$

ج) $$Z_i = 5^k \| 50^k \| Z_1 = 4.55k \| 1.391^k \approx 1.065$$

د) برای تعیین Z_2 ابتدا باید R_S را بدان صورتی در شکل ۵-۱۸ نشان داده شده است بدست بیاوریم . همانند مثال قبل ، این مقاومت همان مقاومت تونن است در مدار شکل ۵-۲۴ نیز داده شده در شکل ۵-۲۶ قبلاً رسم شده است .



شکل ۵-۲۶ ، تعیین R_{th} برای قسمتی از مدار نشان داده شده در شکل ۵-۲۴ .

$$R_S = R_{Th} = 0$$

بنابراین

$$Z_2 = \frac{1}{h_{oe} - \frac{h_{fe} h_{re}}{h_{ie} + R_S}} =$$

$$= \frac{1}{20 \times 10^{-6} - \frac{80(3 \times 10^{-4})}{1.5 \times 10^3}}$$

$$\frac{1}{20 \times 10^{-6} - 16 \times 10^{-6}} = \frac{1}{4 \times 10^{-6}} \qquad \therefore Z_2 = 250^k$$

$$Z_o = Z_2 \| 5^k = 250^k \| 5^k \approx 4.9^k$$

1) current divider

www.ttnar.ir

بنابراین

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \left[\frac{I_o}{I_2}\right]\left[\frac{I_2}{I_i}\right] = \left[\frac{I_o}{I_2}\right]\left[\frac{I_1}{I_i}\right]\left[\frac{I_2}{I_1}\right]$$

$$= [0.2][0.96]\left[\frac{h_{fb}}{1+h_{ob}Z_L}\right] = [0.192]\left[\frac{-0.98}{1+(0.4\times10^{-6})(4\times10^3)}\right]$$

$$= \frac{-0.188}{1+1.6\times10^{-3}} = \frac{-0.188}{1.0016} \approx -0.188$$

ب)

$$A_{V_1} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{-h_{fb}Z_L}{h_{ib}+(h_{ib}h_{ob}-h_{fb}h_{rb})Z_L}$$

$$= \frac{-(-0.98)(4\times10^3)}{40+(16\times10^{-6}+198\times10^{-6})(4\times10^3)}$$

$$= \frac{3.92\times10^3}{40+(16\times10^{-6}+198\times10^{-6})(4\times10^3)}$$

$$= \frac{3.92\times10^3}{40+(214\times10^{-6})(4\times10^3)} = \frac{3.92\times10^3}{40+0.856} = 96$$

ج)

$$Z_i = 1^k \| Z_1 = 1^k \| 40.8^\Omega \approx 39.3^\Omega$$

د)

$$Z_2 = \frac{1}{h_{ob}-\frac{h_{fb}h_{rb}}{h_{ib}+R_S}} = \frac{1}{0.4\times10^{-6}-\frac{(-0.98)(200\times10^{-6})}{40+0}}$$

$$= \frac{1}{0.4\times10^{-6}-\frac{-196\times10^{-6}}{40}} = \frac{1}{0.4\times10^{-6}+4.9\times10^{-6}}$$

$$= \frac{1}{5.3\times10^{-6}}$$

$$Z_2 \approx 189^k$$

و)

$$Z_o = 5^k \| Z_2 = 5^k \| 189^k \approx 4.87^k$$

۶-۵ تقریب هایی که اغلب هنگام استفاده از مدارل هایبرید و روابط مربوط به آن بکار میروند

[illegible] ۱۴

بنابراین

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \left[\frac{I_o}{I_2}\right]\left[\frac{I_2}{I_i}\right] = \left[\frac{I_o}{I_2}\right]\left[\frac{I_1}{I_i}\right]\left[\frac{I_2}{I_1}\right]$$

$$= [0.2][0.96]\left[\frac{h_{fb}}{1+h_{ob}Z_L}\right] = [0.192]\left[\frac{-0.98}{1+(0.4\times10^{-6})(4\times10^{3})}\right]$$

$$= \frac{-0.188}{1+1.6\times10^{-3}} = \frac{-0.188}{1.0016} \approx -0.188$$

ب)

$$A_{V_1} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_2}{V_i} = \frac{-h_{fb}Z_L}{h_{ib}+(h_{ib}h_{ob}-h_{fb}h_{rb})Z_L}$$

$$= \frac{-(-0.98)(4\times10^{3})}{40+(16\times10^{-6}+198\times10^{-6})(4\times10^{3})}$$

$$= \frac{3.92\times10^{3}}{40+(16\times10^{-6}+198\times10^{-6})(4\times10^{3})}$$

$$= \frac{3.92\times10^{3}}{40+(214\times10^{-6})(4\times10^{3})} = \frac{3.92\times10^{3}}{40+0.856} = 96$$

ج) $Z_i = 1^{k} \| Z_1 = 1^{k} \| 40.8^{\Omega} \approx 39.3^{\Omega}$

د)

$$Z_2 = \frac{1}{h_{ob}-\frac{h_{fb}h_{rb}}{h_{ib}+R_s}} = \frac{1}{0.4\times10^{-6}-\frac{(-0.98)(200\times10^{-6})}{40+0}}$$

$$= \frac{1}{0.4\times10^{-6}-\frac{-196\times10^{-6}}{40}} = \frac{1}{0.4\times10^{-6}+4.9\times10^{-6}}$$

$$= \frac{1}{5.3\times10^{-6}}$$

$$Z_2 \approx 189^{k}$$

ه

$$Z_o = 5^{k} \| Z_2 = 5^{k} \| 189^{k} \approx 4.87^{k}$$

۶-۵ ـ تقریب حالی که اغلب هنگام استفاده از مدار معادل هایبرید و روابط مربوط به آن بکار میروند

[illegible] ۱۹۷

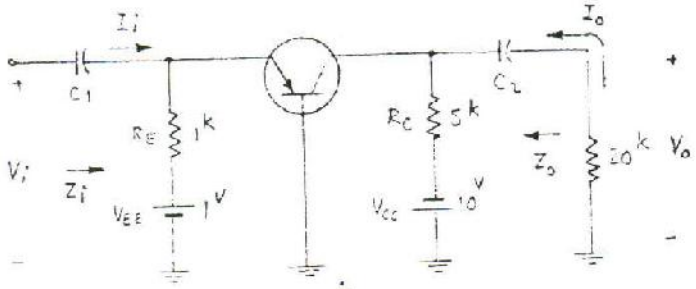
مثال ۳-۵ : برای ترکیب سری میتر نشان داده شده در شکل ۲۷-۵ کمیتهای زیر را بدست آورید :

الف) $A_i = \frac{I_o}{I_i}$

ب) $A_{V_i} = \frac{V_o}{V_i}$

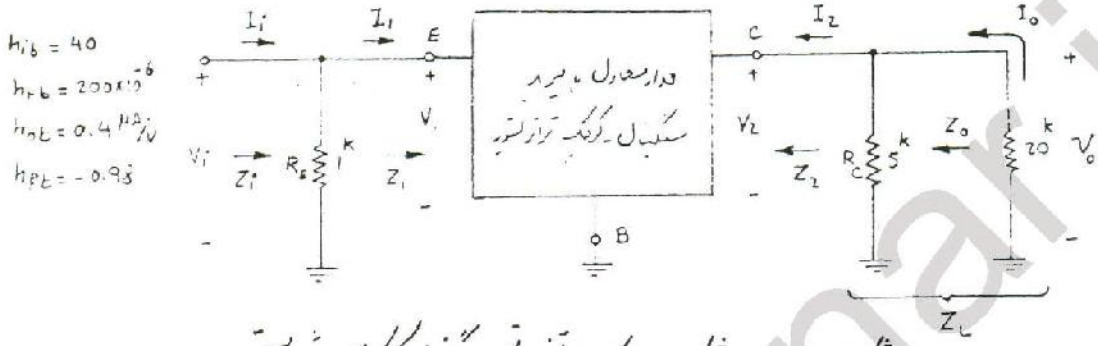
ج) Z_i

د) Z_o



شکل ۲۷-۵ : مدار مثال ۳-۵ .

حل : با جایگزین کردن منابع dc با خازنها بسیط مدار اتصال کوتاه ، مدار شکل ۲۸-۵ بدست میاید .



شکل ۲۸-۵ : مدار شکل ۲۷-۵ که برای تجزیه و تحلیل سنگنال کوچک رسم شده است .

الف) بار معادل برای این تقویت کننده برابر است با :

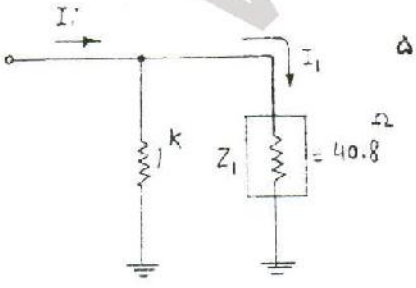
$$Z_L = R_L = 5^K \parallel 20^K = 4^K$$

$$Z_1 = h_{ib} - \frac{h_{fb} h_{rb} Z_L}{1 + h_{ob} Z_L} = 40 - \frac{(-0.98)(200 \times 10^{-6})(4 \times 10^3)}{1 + (0.4 \times 10^{-6})(4 \times 10^3)}$$

$$= 40 - \frac{(-785 \times 10^{-3})}{1 + 1.6 \times 10^{-3}} = 40 + \frac{785 \times 10^{-3}}{1.0016}$$

$$Z_1 \approx 40.8\ \Omega$$

با بدست آوردن رابطه بین I_1 و I_i رابطه تقسیم جریان برای مدار شکل ۲۹-۵ مرتبط میکنیم ، داریم :



شکل ۲۹-۵ : تعیین رابطه بین I_1 و I_i برای مدار شکل ۲۸-۵ .

$$I_1 = \frac{1^K (I_i)}{1^K + 40.8\ \Omega} = \frac{1^K (I_i)}{1040.8} \approx 0.96\, I_i$$

و با استفاده از قاعده تقسیم جریان در شکل ۲۸-۵ میتوان رابطه بین I_o و I_2 را بدست آورد :

$$I_o = \frac{5^K (I_2)}{5^K + 20^K} = 0.2\, I_2$$

www.tmar.ir

دقیق از همان ابتدا در حین توسط کمیسار فرمه تریاخته شده باشند، متفاوت نیست و همچنین این پارامترها در اثر حرارت و نقطه کار نیز تغییر کنند، راه حل تقریبی اغلب بهمان اندازه راه حل کامل، دقیق خواهد بود. برای بدست آوردن دقت این تقریبها لازم است در بعضی از تقریبها که در بکار خواهند رفت، پارامترهای ترانزیستور در جدول ۵-۱ داده شده، بکار خواهند رفت. در اینجا این پارامترها را دوباره آورده ایم:

$$h_{fe} = 50, \qquad h_{ie} = 1000\,\Omega, \qquad h_{re} = 2.5\times10^{-4}, \qquad h_{oe} = 25\ \mu A/V$$

برای دنبال کردن بررسی مان، فرض میکنیم در امپدانس داخلی منبع V_s برابر $1K$، و مقاومت بار Z_L مساوی $2K$ میباشد.

بهره تقویت جریان A_i

$$A_i = \frac{h_{fe}}{(1 + h_{oe} Z_L)} \qquad (۵-۱۰ \text{ رابطه})$$

با قرار دادن مقادیر:

$$(1 + h_{oe} Z_L) = [1 + (25\times10^{-6})(2\times10^{3})] = (1 + 50\times10^{-3})$$

$$= (1 + 0.05) \approx 1$$

و

$$A_i = \frac{h_{fe}}{(1 + h_{oe} Z_L)} \approx \frac{50}{1} = 50$$

نتیجه:

$$A_i \approx h_{fe} \qquad (۵-۱۲)$$

(توجه کنید که از جمله $h_{oe} Z_L$ بخاطر مقادیر کم h_{oe} در رابطه (۵-۱۰) میتوان صرف نظر نمود).

بهره تقویت ولتاژ A_v

$$A_v = \frac{-h_{fe} Z_L}{h_{ie} + (h_{ie} h_{oe} - h_{fe} h_{re}) Z_L} \qquad (۵-۱۱ \text{ رابطه})$$

با قرار دادن مقادیر:

$$(h_{ie} h_{oe} - h_{fe} h_{re}) = [(1\times10^{3})(25\times10^{-6}) - (50)(2.5\times10^{-4})]$$

$$= (25\times10^{-3} - 125\times10^{-4}) = 125\times10^{-4}$$

$$h_{ie} + (h_{ie} h_{oe} - h_{fe} h_{re}) Z_L = 1000 + (125\times10^{-4})(2\times10^{3})$$

و

$$= 1000 + 25 \approx 1000 = h_{ie}$$

$$A_v \approx \frac{-50\,(2\times10^{3})}{1\times10^{3}} = -100$$

و

نتیجه:

www.tmar.ir

$$A_V \approx \frac{-h_{fe}}{h_{ie}} Z_L \qquad (۵-۲۰)$$

چون کوچک بودن h_{re} و h_{oe} از جمله $Z_L(h_{ie}h_{oe} - h_{fe}h_{re})$ در رابطه (۵-۱۱) در مقایسه با h_{ie} می‌توان صرف نظر نمود.

امپدانس ورودی Z_1

$$Z_1 = h_{ie} - \frac{h_{fe}h_{re}Z_L}{1 + h_{oe}Z_L} \qquad (\text{رابطه } ۵-۱۲)$$

با قرار دادن مقادیر روی رابطه داریم:

$$h_{fe}h_{re}Z_L = (50)(2.5\times10^{-4})(2\times10^{3}) = 25$$

و

$$\frac{h_{fe}h_{re}Z_L}{(1+h_{oe}Z_L)\approx1} \approx \frac{25}{1} = 25$$

و

$$Z_1 = h_{ie} - \frac{h_{fe}h_{re}Z_L}{1+h_{oe}Z_L} = 1000 - 25 \approx 1000 = h_{ie}$$

بنابراین:

$$Z_1 \approx h_{ie} \qquad (۵-۲۱)$$

امپدانس خروجی Z_2

$$Z_2 = \frac{1}{h_{oe} - \frac{h_{fe}h_{re}}{h_{ie}+R_S}} \qquad (\text{رابطه } ۵-۱۳)$$

رابطه (۵-۱۳) را می‌توان به صورت دیگری نیز نوشت:

$$Z_2 = \frac{h_{ie}+R_S}{h_{oe}(h_{ie}+R_S) - h_{fe}h_{re}}$$

با قرار دادن مقادیر خواهیم داشت:

$$h_{oe}(h_{ie}+R_S) - h_{fe}h_{re} = 25\times10^{-6}(1000+1000) - 50(2.5\times10^{-9})$$

$$= 50\times10^{-3} - 12.5\times10^{-3}$$

[illegible] رابطه [illegible] مقدار $h_{fe}h_{re}$ و $h_{oe}(h_{ie}+R_S)$ [illegible] می‌توان جمله کوچکتر را در مقابل [illegible]

بنابراین، تقریب مشخصی بین Z_2 وجود ندارد. ولی اغلب برای بدست آوردن [illegible] مقدار امپدانس خروجی از رابطه زیر استفاده می‌کنند:

www.ttnar.ir