

جلسه چهارم: ترانزیستور

هدف: در این جلسه دانشجویان با مشخصات ترانزیستور و نحوه بایاس کردن آن آشنا می‌شوند.

وسایل مورد نیاز: منبع تغذیه، مالتی‌متر، سیگنال ژنراتور، اسیلوسکوپ، برد مورد، ترانزیستور معمولی، تعدادی مقاومت و خازن.

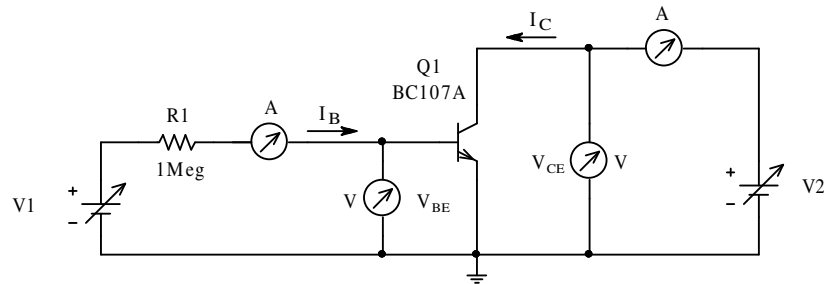
تذکر: دانشجویان باید قبل از حضور در آزمایشگاه، اطلاعات کلی در باره نحوه استفاده از وسایل آزمایشگاهی را داشته باشند. علاوه بر آن باید مباحث نظری مربوطه را فرا گرفته، قبل از حضور در آزمایشگاه مدارها را به کمک قوانین شبکه‌ها تحلیل و به کمک PSpice شبیه‌سازی کرده باشند.

آزمایش ۱-۴ مشخصه ترانزیستور

مشخصه خروجی^۱ یک ترانزیستور معمولی (مثلاً BC107)، را به کمک یک مشخصه نگار^۲، از

طریق نقطه یابی (اندازه گیری طبق مدار شکل ۱-۴) و با شبیه سازی بدست آورده در شکل ۲-۴

منعکس نمایید.



شکل ۱-۴ نحوه بدست آوردن مشخصه خروجی یک ترانزیستور

روش نقطه یابی:

۱- ولتاژ منبع V_1 را $V_1 \approx 0.4V$ انتخاب کرده، جریان بیس (I_B) و ولتاژ بیس - امیتر (V_{BE})

را اندازه بگیرید.

۲- ولتاژ منبع $V_2 = 0 \dots 2V$ تنظیم کرده، جریان کلکتور (I_C) و ولتاژ کلکتور - امیتر

(V_{CE}) را اندازه بگیرید. توجه کنید که فاصله قدم های ولتاژ لازم نیست یکسان باشد.

مقادیر اندازه گرفته شده را در جدول ۱-۴ یادداشت کنید.

۳- ولتاژ منبع V_1 را طوری تنظیم کنید که جریان بیس ۵ میکرو آمپر بیشتر از حالت قبل

شود.

۴- مراحل ۲ و ۳ را آنقدر تکرار کنید تا $I_B \approx 20\mu A$ شود.

۵- به طور کوتاه مدت V_2 را تا ۱۰ ولت افزایش داده، مقدار I_C را اندازه بگیرید.

تذکره ۱: در صورت محدود بودن تعداد مالتی مترهای موجود، می توان اول I_B و V_{BE} را اندازه

گرفت و سپس مالتی مترها را برای اندازه گیری I_C و V_{CE} به کار برد.

تذکره ۲: اگر به ازای $I_B \approx 20\mu A$ بیش از چند ده ثانیه $V_2 = 10V$ بماند به احتمال زیاد ترانزیستور

معیوب می شود!

جدول ۱-۴ مقادیر اندازه گیری شده مدار شکل ۱-۴

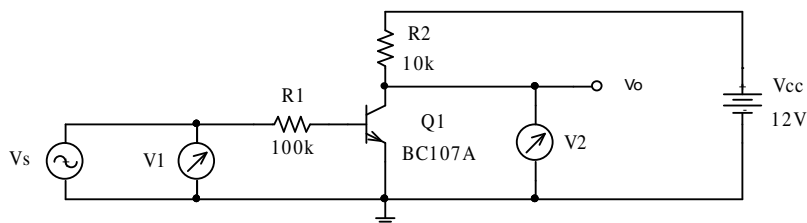
V_{CE} [V]	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.5	2
$I_C (V_{BE}=0.4V)$ [mA]									
$I_C (I_B=5\mu A)$ [mA]									
$I_C (I_B=10\mu A)$ [mA]									
$I_C (I_B=15\mu A)$ [mA]									
$I_C (I_B=20\mu A)$ [mA]									

الف
ب
ج
شکل ۲-۴ منحنی مشخصه یک ترانزیستور: الف- بکمک مشخصه نگار، ب- نقطه یابی و ج- شبیه سازی

آزمایش ۴-۲ مشخصه انتقالی مدار امیتر مشترک

مدار شکل ۴-۳ مدار امیتر مشترک^۱ نامیده می شود، زیرا پایه امیتر بین ورودی و خروجی مدار

مشترک است. مدار را بر روی برد بورد ببندید.



شکل ۴-۳ نحوه بدست آوردن مشخصه انتقالی مدار امیتر مشترک

الف- منبع V_S را یک منبع ولتاژ DC در محدوده $V_S = 0 \dots 3V$ انتخاب کنید. به کمک ولت متر

V_1 ولتاژ ورودی و به کمک ولت متر V_2 ولتاژ خروجی را اندازه گرفته، مقادیر را در جدول ۴-۲

یادداشت کنید. به کمک این جدول از طریق نقطه یابی مشخصه انتقالی مدار را در شکل ۴-۴ رسم

نمایید.

جدول ۴-۲ مقادیر اندازه گیری شده مدار شکل ۴-۳

$V_1 [V]$	0	0.5	0.6	0.7	0.8	1	1.2	1.3	1.4	2	3
$V_2 [V]$											

ب- منبع V_S را یک منبع ولتاژ سینوسی با دامنه $V_p = 3V$ و فرکانس $f_s = 10Hz$ انتخاب کنید.

ولتاژ ورودی را بجای ولت متر V_1 ، به ورودی X و ولتاژ خروجی را بجای ولت متر V_2 به ورودی

^۱ CE: Common Emitter

Y اسیلوسکپ اعمال کنید (حالت $X - Y$). نتیجه را مشاهده و در شکل ۴-۴ رسم نمایید. فرکانس f_s را تغییر داده اثر را مشاهده کنید.

الف
ب
ج
شکل ۴-۴ مشخصه انتقالی مدار شکل ۳-۴: الف- یکمک نقطه یابی، ب- اسیلوسکپ و ج- شبیه سازی

توضیح مشاهدات:

ج- منبع V_s را یک منبع ولتاژ سینوسی با دامنه $V_p = 1V$ و فرکانس $f_s = 1kHz$ انتخاب کنید. ولتاژ ورودی را بجای ولت متر V_1 ، به کانال ۱ (Y_1) و ولتاژ خروجی را بجای ولت متر V_2 به کانال ۲ (Y_2) اسیلوسکپ اعمال کنید (حالت کار عادی اسیلوسکپ). نتیجه را مشاهده و در شکل ۴-۵ رسم نمایید. دامنه ولتاژ و مقدار افسست آن را به طوری تغییر دهید که در خروجی (کانال ۲ اسیلوسکپ) یک سیگنال سینوسی قابل قبول مشاهده نمایید. حداکثر مقدار دامنه سیگنال خروجی (V_{op})، دامنه ولتاژ

ورودی (V_{sp})، ولتاژ افسست لازم برای بدست آوردن این سیگنال (V_{Ios}) و بهره ولتاژ ($A_{vs} = \frac{V_{op}}{V_{sp}}$) را

بدست آورید.

ب

الف

شکل ۴-۵ ولتاژ های ورودی (بالا) و خروجی (پایین) مدار شکل ۴-۳: الف- اندازه گیری و ب - شبیه سازی شده

توضیحات و نتیجه گیری:

$$V_{op} =$$

$$V_{sp} =$$

$$V_{Ios} =$$

$$A_{vs} =$$

آزمایش ۴-۳ بایاس کردن مدار امیتر مشترک

همانطور که در آزمایش قبل مشاهده شد، برای این که از ترانزیستور بتوان به عنوان یک تقویت کننده خطی استفاده کرد، ولتاژ ورودی باید دارای یک مولفه DC (آافست) تعریف شده ای باشد (تعیین نقطه کار). از آن جایی که مولفه DC اکثر منابع سیگنال صفر است، یا اگر صفر نباشد مقداری است که در حالت کلی با مقدار نقطه کار مطلوب مغایرت دارد، باید بطور مستقل از منبع سیگنال، ترانزیستور را بایاس^۱ کرد. برای این منظور مدارهای استانداردی وجود دارد که به مهمترین آنها می پردازیم.

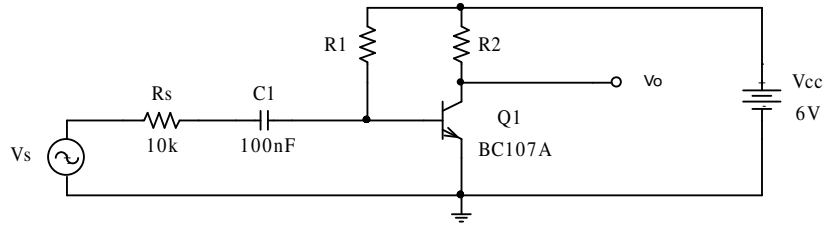
۴-۳-۱ بایاس جریان ثابت

در شکل ۴-۷ ساده ترین روش بایاس کردن نمایش داده شده است. در برخی کتب این مدار را "بایاس جریان ثابت"^۲ می نامند. با توجه به نتایج آزمایش ۴-۱، مقدار مقاومت های $R1$ و $R2$ در این مدار را طوری انتخاب کنید، که در نقطه کار $I_C \approx 4mA$ و $V_{CE} \approx 2V$ باشد.

$R1 =$

$R2 =$

^۱ Bias, Biasing
^۲ Fixed-Current Bias



شکل ۴-۷ ساده ترین نحوه بایاس کردن یک ترانزیستور

الف- مدار را بر روی برد بورد ببندید. سیگنال منبع (V_s) را یک سینوسی با فرکانس $f_s = 1kHz$ و دامنه $V_{sp} = 0V$ انتخاب کنید. ولتاژ خروجی (V_o) را بکمک ولت متر اندازه بگیرید و همزمان مقدار لحظه ای آنرا بر روی اسیلوسکوپ مشاهده نمایید. آیا مقادیر اندازه گرفته شده با مقادیر محاسبه شده مطابقت دارند؟ اگر خیر چرا؟ اگر جواب منفی است، مقادیر را طوری تغییر دهید که به خواسته های مسئله برسید.

توضیح:

مقادیر جدید:

$$R1 =$$

$$R2 =$$

ب- پس از آن که $V_o = V_{CE} \approx 2V$ حاصل شد، دامنه منبع سیگنال (V_{sp}) را افزایش دهید، تا حدی که خروجی هنوز یک سیگنال سینوسی باقی بماند. ولتاژ افسست منبع (V_{sos}) را تغییر دهید. چه تغییری در خروجی رخ می دهد؟ چرا؟

توضیح:

ج- بدون این که در شرایط مدار در بند «ب» تغییری دهید، با یک هویه داغ ترانزیستور را گرم کنید. دقت نمایید که اگر مدتی بیش از چندین ثانیه به ترانزیستور حرارت دهید امکان معیوب شدن آن وجود دارد! (مطمئن ترین راه محافظت ترانزیستور در مقابل افزایش دمای غیر مجاز، قرار دادن آن بین هویه و انگشت اشاره دست چپ است. دقت کنید که دست خود را نسوزانید!). شکل موج خروجی را بر روی اسیلوسکپ مشاهده کرده توضیح دهید.

توضیح:

الف

ب

شکل ۴-۸ اثر دما بر روی نقطه کار و در نتیجه شکل موج خروجی مدار شکل ۴-۷: الف- اندازه گیری و ب - شبیه سازی شده

د- پس از باز گشت حرارت ترانزیستور به دمای اتاق، ولتاژ خروجی $V_O = V_{CE}$ را اندازه بگیرید و شکل موج آنرا توسط اسیلوسکپ مشاهده کنید. آیا تغییری نسبت به بند «ب» مشاهده می شود؟ چرا؟ حال، بدون آن که تغییری در مدار ایجاد کنید، ترانزیستور را با یک ترانزیستور مشابه (BC107) تعویض کرده اندازه گیری را تکرار کنید. مجدداً اندازه گیری را با یک BC107 دیگر تکرار کنید. مشاهدات خود را توضیح داده نتیجه گیری نمایید.

توضیحات و نتیجه گیری:

۴-۳-۲ بایاس کلکتور فیدبک

عیوب مدار شکل ۷-۴ (کدام؟) با تغییر جزئی در مدار به صورت مدار شکل ۹-۴، تا حدودی بر

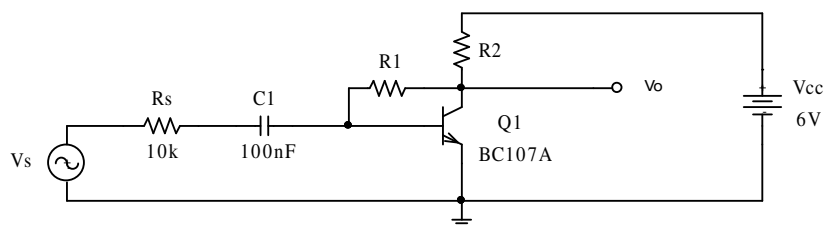
طرف می شوند. در برخی کتب این مدار به مدار "کلکتور فیدبک^۱" مشهور است.

با توجه به نتایج آزمایش ۴-۱، مقدار مقاومت های $R1$ و $R2$ در این مدار را طوری انتخاب کنید،

که در نقطه کار $I_C \approx 4mA$ و $V_{CE} \approx 2V$ باشد.

$R1 =$

$R2 =$



شکل ۹-۴ مدار کلکتور فیدبک

الف- مدار را بر روی برد ببنیدید. سیگنال منبع (V_s) را یک سینوسی با فرکانس $f_s = 1kHz$

و دامنه $V_{sp} = 0V$ انتخاب کنید. ولتاژ خروجی (V_o) را بکمک ولت متر اندازه بگیرید و همزمان مقدار

لحظه ای آنرا بر روی اسیلوسکوپ مشاهده نمایید. آیا مقادیر اندازه گرفته شده با مقادیر محاسبه شده

مطابقت دارند؟ اگر خیر چرا؟ اگر جواب منفی است، مقادیر را طوری تغییر دهید که به خواسته های

مسئله برسید.

^۱ Collector-Feedback

توضیح:

مقادیر جدید:

$$R1 =$$

$$R2 =$$

ب- پس از آن که $V_O = V_{CE} \approx 2V$ حاصل شد، دامنه منبع سیگنال (V_{sp}) را افزایش دهید، تا حدی که خروجی هنوز یک سیگنال سینوسی باقی بماند. ولتاژ افسست منبع (V_{sos}) را تغییر دهید. چه تغییری در خروجی رخ می دهد؟ چرا؟

توضیح:

ج- بدون این که در شرایط مدار در بند «ب» تغییری دهید، با یک هویه داغ ترانزیستور را گرم کنید. دقت نمایید که اگر مدتی بیش از چندین ثانیه به ترانزیستور حرارت دهید امکان معیوب شدن آن وجود دارد! (مطمئن ترین راه محافظت ترانزیستور در مقابل افزایش دمای غیر مجاز، قرار دادن آن بین هویه و انگشت اشاره دست چپ است. دقت کنید که دست خود را نسوزانید!). شکل موج خروجی را بر روی اسیلوسکپ مشاهده کرده توضیح دهید.

توضیح:

الف

ب

شکل ۴-۱۰ اثر دما بر روی نقطه کار و در نتیجه شکل موج خروجی مدار شکل ۴-۹: الف- اندازه گیری و ب - شبیه سازی شده

د- پس از باز گشت حرارت ترانزیستور به دمای اتاق، ولتاژ خروجی $V_O = V_{CE}$ را اندازه بگیرید و

شکل موج آنرا توسط اسیلوسکوپ مشاهده کنید. آیا تغییری نسبت به بند «ب» مشاهده می شود؟ چرا؟

حال، بدون آن که تغییری در مدار ایجاد کنید، ترانزیستور را با یک ترانزیستور مشابه (BC107)

تعویض کرده اندازه گیری را تکرار کنید. مجدداً اندازه گیری را با یک BC107 دیگر تکرار کنید.

مشاهدات خود را توضیح داده نتیجه گیری نمایید.

توضیحات و نتیجه گیری:

ه- مزایا و معایب مدارهای شکل های ۴-۷ و ۴-۹ را با هم مقایسه کنید.

توضیح:

۳-۳-۴ مدار بایاس سر خود

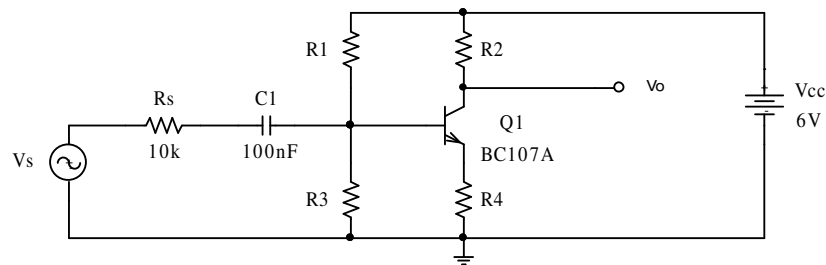
یکی از مدارهایی که در عمل خیلی متداول است و علاوه بر مدار امیتر مشترک در مدارهای بیس مشترک و کلکتور مشترک نیز مورد استفاده قرار می گیرد، مدار "بایاس سر خود"^۱ است. این مدار در شکل ۱۱-۴ نمایش داده شده است. با توجه به نتایج آزمایش ۴-۱، مقدار مقاومت های R_1 ، R_2 ، R_3 و R_4 در این مدار را طوری انتخاب کنید، که در نقطه کار $I_{R1} \approx 10 \cdot I_B$ ، $V_{CE} \approx 2V$ ، $I_C \approx 4mA$ و $V_{R4} \approx 1V$ باشد.

$R_1 =$

$R_2 =$

$R_3 =$

$R_4 =$



شکل ۱۱-۴ مدار بایاس سر خود

^۱ Collector-Feedback

الف- مدار را بر روی برد مورد ببندید. سیگنال منبع (V_s) را یک سینوسی با فرکانس $f_s = 1kHz$ و دامنه $V_{sp} = 0V$ انتخاب کنید. ولتاژ خروجی (V_o) را بکمک ولت متر اندازه بگیرید و همزمان مقدار لحظه ای آنرا بر روی اسیلوسکوپ مشاهده نمایید. آیا مقادیر اندازه گرفته شده با مقادیر محاسبه شده مطابقت دارند؟ اگر خیر چرا؟ اگر جواب منفی است، مقادیر را طوری تغییر دهید که به خواسته های مسئله برسید.

توضیح:

مقادیر جدید:

$$R1 =$$

$$R2 =$$

$$R3 =$$

$$R4 =$$

ب- پس از آن که $V_o = V_{CE} \approx 2V$ حاصل شد، دامنه منبع سیگنال (V_{sp}) را افزایش دهید، تا حدی که خروجی هنوز یک سیگنال سینوسی باقی بماند. ولتاژ افسست منبع (V_{sos}) را تغییر دهید. چه تغییری در خروجی رخ می دهد؟ چرا؟

توضیح:

ج- بدون این که در شرایط مدار در بند «ب» تغییری دهید، با یک هویه داغ ترانزیستور را گرم کنید. دقت کنید که ترانزیستور بر اثر گرما معیوب نشود. شکل موج خروجی را بر روی اسیلوسکپ مشاهده کرده توضیح دهید.

توضیح:

الف
ب
شکل ۴-۱۱ اثر دما بر روی نقطه کار و در نتیجه شکل موج خروجی مدار شکل ۴-۱۰: الف- اندازه گیری و ب- شبیه سازی شده

د- پس از بازگشت حرارت ترانزیستور به دمای اتاق، ولتاژ خروجی (V_O) را اندازه بگیرید. حال، بدون آن که تغییری در مدار ایجاد کنید، ترانزیستور را با یک ترانزیستور مشابه ($BC107$) تعویض کرده اندازه گیری را تکرار کنید. مجدداً اندازه گیری را با یک $BC107$ دیگر تکرار کنید. مشاهدات خود را توضیح داده نتیجه گیری نمایید.

توضیحات و نتیجه گیری (مقایسه با مدارهای قبل):