

آزمایش شماره ۱

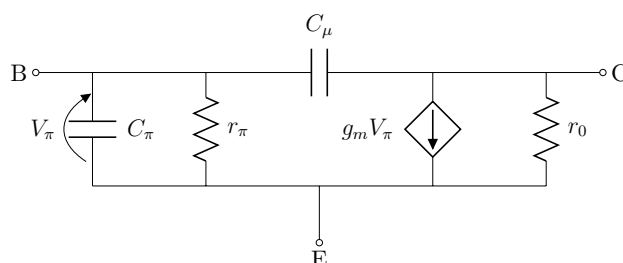
مدل ترانزیستور

- **هدف آزمایش:** اندازه گیری و محاسبه پارامترهای مدل π ترانزیستور دو قطبی پیوندی
- **قطعات مورد نیاز:** ترانزیستور BC547C، مقاومتهای 100Ω ، $100k\Omega$ ، $10k\Omega$ ، $1k\Omega$ ، 680Ω ، دو عدد، 470Ω و یک پتانسیومتر مولتی ترن $1k\Omega$ ، خازنهای $10\mu F$ ، $100\mu F$

۱.۱ مقدمه

مدل هایبرید π و یا مدل سیگنال کوچک ترانزیستور (دوقطبی پیوندی) در شکل ۱.۱ رسم شده است. در این آزمایش سعی داریم پارامترهایی که در این شکل دیده می‌شوند را به دست آوریم. این پارامترها عبارتند از: C_μ ، C_π ، r_π ، g_m

این کمیات را میتوان از روابط حاصل از تحلیل فرکانسی مدار و نیز استفاده از فرمولهای فیزیک



شکل ۱.۱: مدل سیگنال کوچک ترانزیستور دوقطبی پیوندی

الکترونیک، محاسبه نمود. برای نیل به این مهم باید طبق مراحل زیر اقدام کنیم:

۱. ابتدا جریان ترانزیستور را اندازه گرفته و g_m را با استفاده از فرمول $g_m = \frac{I_C}{V_T}$ محاسبه می کنیم.

۲. با اندازه گیری β ترانزیستور یا بهره جریان آن ($\frac{I_C}{I_B}$)، مقدار r_π را از فرمول $r_\pi = \frac{\beta V_T}{I_C}$ محاسبه شود.

۳. فرکانس ورودی را بالا میبریم تا بهره جریان به یک برسد. این فرکانس را عرض باند بهره واحد یا unity gain bandwidth می نامند و با f_T نمایش می دهند.

۴. با استفاده از فرمول $f_T = \frac{g_m}{2\pi(C_\pi + C_\mu)}$ میتوان مجموع $C_\pi + C_\mu$ را محاسبه کرد.

۵. با رابطه $C_\mu = \frac{C_{\mu 0}}{(1 + \frac{V_{CB}}{V_{0jc}})^m}$ میتوان C_μ را محاسبه کرد.

۶. مقدار مجموع دو خازن را از مقدار بدست آمده برای C_μ کم کنید تا C_π به دست آید.

در فرمول داده شده برای محاسبه C_μ چند پارامتر وجود دارد. مقدار پارامتر m بستگی به نوع پیوند دارد و معمولاً در محاسبات آن را ۰.۳۳ در نظر میگیرند. پارامتر $C_{\mu 0}$ ظرفیت پیوند CB در حالت مدار باز است که قابل اندازه گیری است. پارامتر V_{0jc} پتانسیل تماس پیوند CB است که بستگی به مقدار ناخالصی دارد و از فرمول $V_{0jc} = V_T \ln(\frac{N_A N_D}{n_i^2})$ و یا با استفاده از مولتی متر قابل اندازه گیری است. برای مطالعه بیشتر در زمینه تئوری این آزمایش میتوانید به بخش ۹.۲.۲ در صفحه ۷۰۶ کتاب مرجع [۱] و بخش ۹.۳.۲ در صفحه ۷۱۷ از همان کتاب مراجعه کنید.

برای کسب آمادگی جهت انجام آزمایش ابتدا برگ دانش^۱ مربوط به ترانزیستور BC547 را در پیوست این دستورکار مطالعه کنید. بر اساس نتایج مطالعه خود توضیح دهید که تفاوت بین مدل های با پسوند A، B و C چیست؟ مقدار فرکانس عرض باند بهره واحد f_T در چه حدودی است و به چه عاملی وابسته است؟

مقدار معقولی برای β ترانزیستور BC547C انتخاب کنید و شرایط بایاس DC مدار شکل ۳.۱ را برای جریان کلکتور ده میلی آمپری محاسبه کنید. درصدی از کل مقدار مقاومت متغیر R_2 را که باید با مقاومت R_1 سری نمود تا جریان کلکتور مقدار مطلوب گردد را به دست آورید. با مقدار مفروض β مقادیر g_m و r_π را محاسبه و یادداشت کنید. با استفاده از این مقادیر محاسبه شده بهره باند میانی مدار

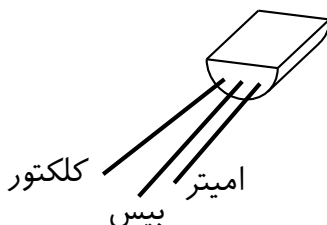
^۱Datasheet

۴.۱ را با اتصال کوتاه گرفتن خازنهای کوپلاژ و مدار باز گرفتن خازنهای داخلی ترانزیستور محاسبه کنید. اگر دامنه ورودی در 5 KHz برابر $200mV_{pp}$ باشد، آنگاه v_b و v_{out} چقدر خواهند بود؟ نسبتهای $\frac{v_{out}}{v_b}$ و $\frac{v_{out}}{v_{in}}$ چقدر میشوند؟ آیا با توجه به شرایط بایاس میتوانید مقداری برای f_T تخمین بزنید؟ با این تخمین فرکانس قطع بالا چقدر است؟

با مراجعه به پیوست افزودن مدل اسپایس به برنامه پروتئوس مدار این آزمایش را شبیه سازی کنید. آیا شبیه سازی به وسیله کامپیوتر میتواند شرایط بایاس محاسبه شده و مقدار بهره های بدست آمده به همراه فرکانس قطع بالائی را که محاسبه نموده اید، به شما نشان دهند؟

۲.۱ مراحل انجام آزمایش

۱. پیش از شروع به آزمایش از صحت و مقدار واقعی المانهای داده شده به شما، اطمینان حاصل کنید. مقدار مقاومتها را اندازه گیری و یادداشت کنید. آیا میتوانید مقدار خازنها را در آزمایشگاه اندازه گیری کنید؟ چگونه میتوان نوع ترانزیستور و ولتاژ اتصال آن را در آزمایشگاه مشخص نمود؟ ترتیب پایه های ترانزیستور در شکل ۲.۱ نشان داده شده است.



شکل ۲.۱: ترتیب پایه های ترانزیستور

$R_1 =$

$R_2 =$

$R_3 =$

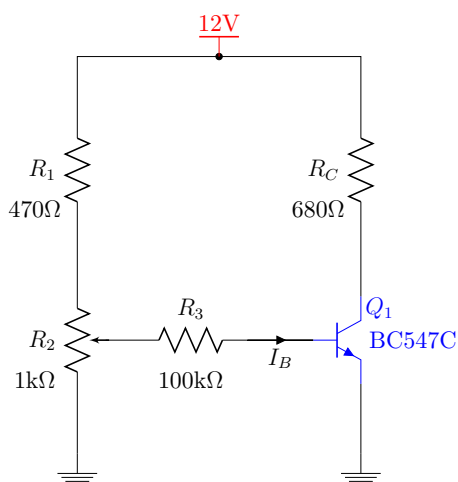
$R_C =$

$R_S =$

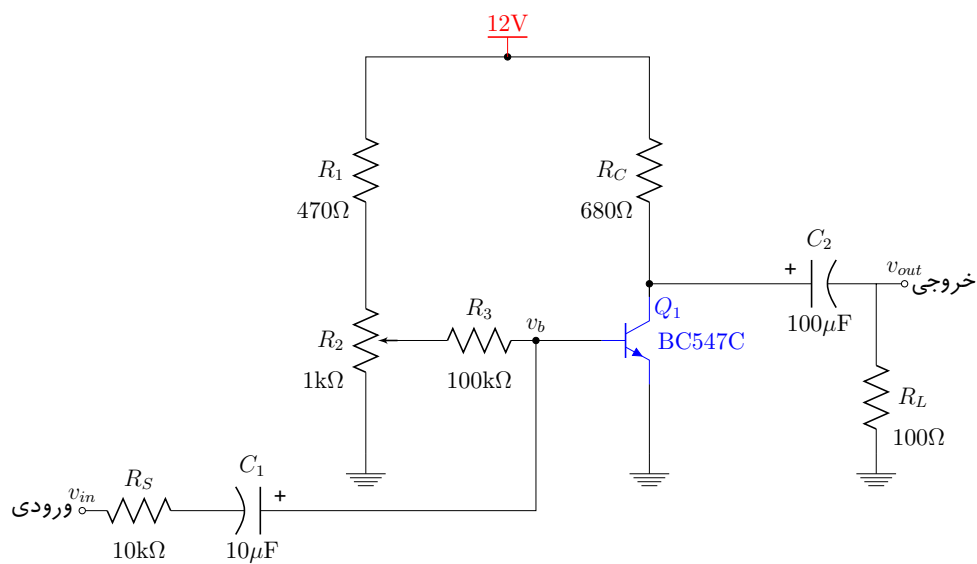
$R_L =$

$C_1 =$

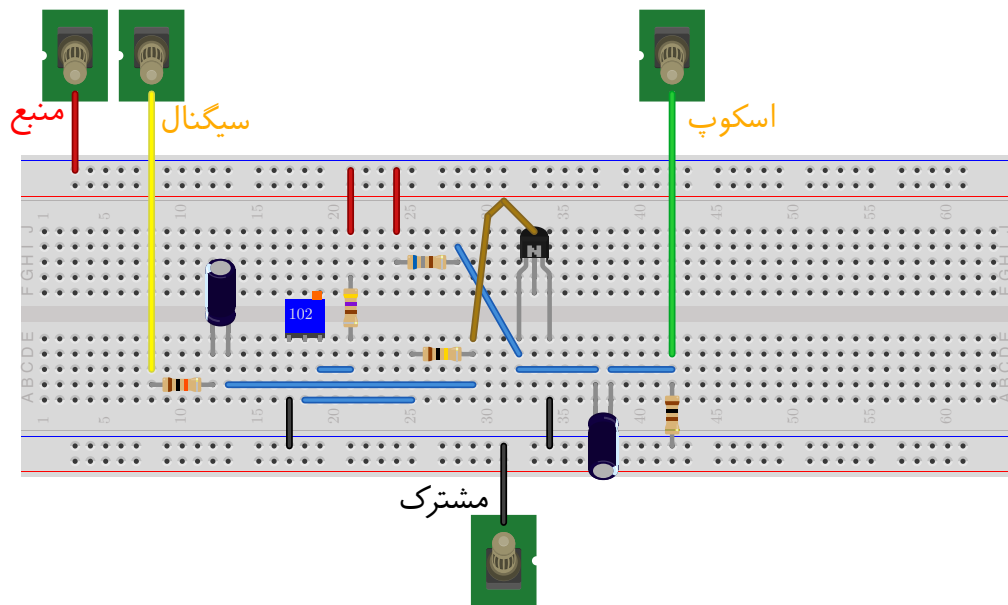
$C_2 =$



شکل ۳.۱: مدار بایاس ترانزیستور دوقطبی



شکل ۴.۱: مدار آزمون متناوب برای ترانزیستور دوقطبی بایاس شده



شکل ۵.۱: پیشنهاد نحوه بستن بر روی بردبرد

۲. مدار شکل شماره ۳.۱ را ببندید. جهت سهولت عیب یابی می‌توانید از نحوه بستن نمایش داده شده در شکل ۵.۱ پیروی کنید. البته شکل ۵.۱ مشابه مدار ۴.۱ است، ولی شما می‌تواند المانهای مدار ۴.۱ را بعد اضافه کنید. پتانسیومتر مولتی ترن یک کیلو اهم را به گونه‌ای تنظیم کنید که جریان کلکتور ترانزیستور ده میلی آمپر گردد. مدل ترانزیستور تابع شرایط بایاس است و با تغییر آن شاهد تغییر پارامترهای مدل ترانزیستور خواهیم بود. در ادامه آزمایش مراقب باشید که شرایط بایاس ترانزیستور ثابت بماند. مقادیر خواسته شده را در محل خاص مشخص شده یادداشت کنید.

$$I_C =$$

$$V_{CE} =$$

$$I_B =$$

$$V_{BE} =$$

۳. منبع تغذیه را قطع کنید و مقاومت R_C را از 680Ω به $1k\Omega$ تغییر دهید و با اتصال مجدد منبع تغذیه، مقادیر جدید جریان کلکتور و ولتاژ کلکتور امیتر را یادداشت کنید و آنها را به ترتیب I_{C2} و V_{CE2} نامگذاری کنید. پتانسیومتر مولتی ترن همان مقدار تنظیم شده در مرحله قبل باقی بماند. اگر مقادیر جریان کلکتور و ولتاژ کلکتور امیتر را زمانی که مقاومت کلکتور 680Ω است را با I_{C1} و V_{CE1} نشان دهیم، آنگاه از فرمول زیر ولتاژ Early را حساب کنید.

$$V_A = \frac{V_{CE1} - V_{CE2} \frac{I_{C1}}{I_{C2}}}{\frac{I_{C1}}{I_{C2}} - 1} \quad (1.1)$$

۴. مدار شکل شماره ۳.۱ با مقاومت کلکتور 680Ω را مطابق مدار نمایش داده شده در شکل شماره ۴.۱ کامل کنید. این مدارات اضافی سبب تزویج سیگنال متناوب ورودی و خروجی به مدار بایاس ترانزیستوری میشود. با استفاده از مولد سیگنال، یک موج سینوسی با فرکانس 5 KHz ایجاد کنید و به ورودی مدار وصل کنید. دامنه ورودی را 200 mV قرار دهید و مطمئن شوید که خروجی دچار اعوجاج نشده است.

$$v_{in} =$$

$$v_{out} =$$

$$v_{out}/v_{in} =$$

۵. فرکانس ورودی را بالا ببرید تا دامنه شکل موج خروجی برابر با $\frac{\sqrt{2}}{2}$ مقدار خود در فرکانس 5 KHz شود. این فرکانس که همان فرکانس قطع بالای تقویت کننده است را یادداشت کنید.

$$f_H =$$

۶. در فرکانس f_H ولتاژ بیس ترانزیستور را با اسیلوسکوپ مشاهده کنید و دامنه اش را یادداشت کنید. آیا با وصل پروب اسیلوسکوپ از ورودی به بیس ترانزیستور شاهد تغییر دامنه خروجی بودید؟ اگر جواب مثبت است، دلیل آن را تحقیق کنید.

$$v_b =$$

$$A_i = \frac{i_c}{i_b}$$

با توجه به این نتایج میتوان f_T را به صورت تقریبی محاسبه کرد:

$$f_T = \frac{g_m}{2\pi(C_\pi + C_\mu)} \approx |A_i| \times f_H =$$

۷. در برخی مراجع آمده است که بهتر است بهره جریان را در فرکانس $5f_H$ اندازه گیری کنند. بنظر شما چه دلیلی میتواند داشته باشد؟ فرکانس را به $5f_H$ افزایش دهید و بهره جریان را اندازه گیری کنید.

$$A_i = \frac{i_C}{i_B} =$$

۸. با توجه به مرحله قبل میتوان f_T را به صورت تقریبی محاسبه کرد:

$$f_T = \frac{g_m}{2\pi(C_\pi + C_\mu)} \approx 5 \times |A_i| \times f_H =$$

۹. یک روش اندازه گیری C_μ استفاده از خاصیت خازن میلر است که با تغییر مقدار بهره ولتاژ، اثر این خازن روی فرکانس قطع عوض میشود. اگر بهره ولتاژ و فرکانس قطع این مدار را که تاکنون بدست آورده اید با $A_{V_{HG}}$ و $f_{H_{HG}}$ نشان دهیم و سپس یک مقاومت 100Ω دیگر را با R_L موازی کنیم تا بهره کم شود و مقدار بهره جدید و فرکانس قطع جدید را با $A_{V_{LG}}$ و $f_{H_{LG}}$ نشان دهیم. با جایگذاری این مقادیر در فرمول زیر میتوان این خازن را بدست آورد.

$$C_\mu = \frac{1}{2\pi(r_\pi + 10k)} \frac{1}{(A_{V_{HG}} - A_{V_{LG}})} \left(\frac{1}{f_{H_{HG}}} - \frac{1}{f_{H_{LG}}} \right) \quad (2.1)$$

۱۰. با استفاده از مولتی متر، پتانسیل تماس پیوند کلکتور-بیس را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{0jc} =$$

به نام خدا



گزارش کار آزمایشگاه الکترونیک ۳

مدل ترانزیستور

استاد:

شماره دانشجویی:

نام و نام خانوادگی:

نمره:

تاریخ تحویل:

شماره گروه:

۱. نتایج عملی

(آ) نتایج عددی

مقادیر اندازه گیری شده را بنویسید

$I_C =$

$V_{CE} =$

$f_H =$

$\beta_0 =$

$A_v =$

$A_{i(5f_H)} =$

$V_{0jc} =$

با توجه به روابط موجود در مقدمه و نتایج بالا، پارامترهای خواسته شده را محاسبه و

یادداشت کنید. جزئیات محاسبه این پارامترها را بنویسید.

$$g_m =$$

$$r_\pi =$$

$$f_T =$$

$$C_\mu =$$

$$C_\pi =$$

۲. به سؤالات زیر پاسخ دهید:

(آ) پارامترهای مدل هیبرید π علاوه بر بایاس به چه عواملی دیگری بستگی دارند؟

(ب) با روش ثابت زمانی و فرض وجود قطب غالب و با استفاده از نتایج آزمایش C_π را محاسبه کنید.

(ج) فرمول ۱.۱ را اثبات کنید.

(د) فرمول ۲.۱ را اثبات کنید. این فرمول با چه تقریبی صادق است؟

(ه) رابطه $f_T = \frac{g_m}{2\pi(C_\pi + C_\mu)}$ را اثبات کنید.

