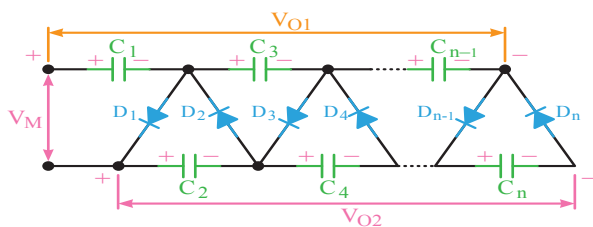


مثبت ولتاژ ثانویه‌ی ترانسفورماتور، خازن C_p از طریق دیود D_p به اندازه‌ی ولتاژ ماکزیمم (V_M) شارژ می‌شود. خازن C_p در مدت نیم سیکل منفی و از طریق دیود D_p به اندازه‌ی $2V_M$ شارژ می‌گردد (بعد از چند سیکل). در مدت نیم سیکل مثبت بعدی، خازن C_p از طریق دیود D_p به اندازه $2V_M$ شارژ می‌شود (بعد از چند سیکل) و در مدت نیم سیکل منفی خازن C_p از طریق دیود D_p به اندازه $2V_M$ شارژ می‌گردد (در این حالت ولتاژ ثانویه‌ی ترانسفورماتور و ولتاژ خازن C_p و C_p با هم جمع و به اندازه‌ی $4V_M$ می‌شوند که بین دو خازن C_p و C_p تقسیم می‌گردد). بنابراین، در این مدار ولتاژ هر خازن به اندازه‌ی $2V_M$ و ولتاژ معکوس هر دیود به اندازه‌ی $2V_M$ است. شکل ۳۵-۴، یک مدار n برابر کننده را نشان می‌دهد. خازن‌های ردیف بالا، نمایشگر اعداد فرد مقدار شارژ، نسبت به ابتدای مدار و خازن‌های ردیف پایین، نمایشگر اعداد زوج مقدار شارژ، نسبت به ابتدای مدار است.



شکل ۳۵-۴ مدار n برابر کننده ولتاژ

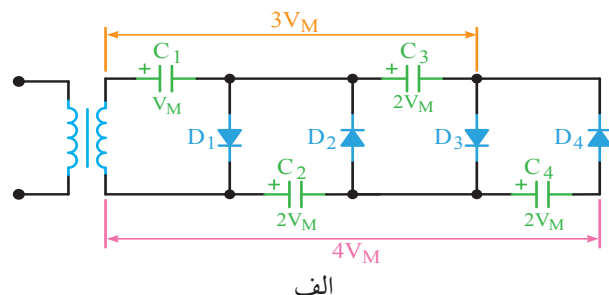
۴-۶ برش دهنده‌ها (Clippers)

در بسیاری از موارد، از جمله در دیجیتال و کامپیوتر لازم می‌شود که دامنه‌ی سیگنال‌ها از قسمت مثبت یا منفی یا هر دو به اندازه‌ی معینی محدود گردد. مدارات برش دهنده‌ها چنین عملی را انجام می‌دهند.

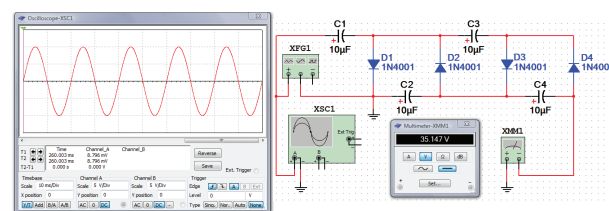
توسط ولتاژ یک سو شده‌ی تمام موج تغذیه می‌گردد). عیب عمده‌ی این مدار این است که دو خازن سری شده و مقدار ظرفیت کل، نصف می‌شود. مقدار حداکثر ولتاژی که دو سر هر دیود در بایاس معکوس قرار می‌گیرد، برابر $2V_M$ است.

۲-۵-۴ سه و چهار برابر کننده‌های ولتاژ: یک مدار

سه و چهار برابر کننده‌ی ولتاژ، در شکل ۳۴-۴-الف نشان داده شده است. در حقیقت این مدار، یک مدار دو برابر کننده‌ی ولتاژ است که در صفحات پیش مورد بررسی قرار گرفت. با این تفاوت که به ازای هر یک برابر افزایش ولتاژ، یک خازن و یک دیود به آن اضافه شده است. این مدار می‌تواند با اضافه شدن متوالی دیودها و خازن‌ها به عنوان یک مدار پنج و شش و ... برابر کننده، به کار آید. در شکل ۳۴-۴-ب، این مدار را که توسط نرم‌افزار مولتی سیم بسته شده است، مشاهده می‌کنید.



الف



ب

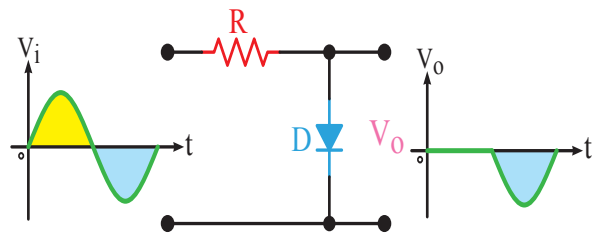
شکل ۳۴-۴ مدار سه و چهار برابر کننده ولتاژ

طرز کار مدار به طور ساده و خلاصه با توجه به شکل ۳۳-۴ به این صورت است که در مدت نیم سیکل

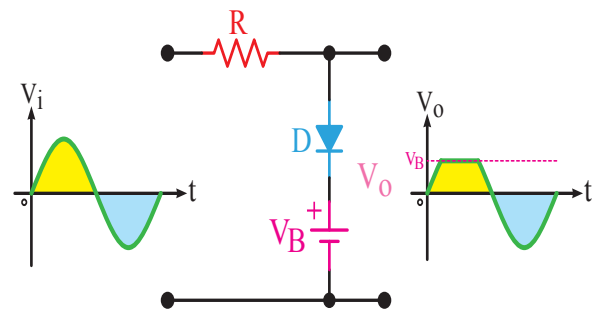
۱-۶-۴ برش دهنده موازی:

الف) مدار برش دهنده مثبت: مدار برش

دهنده مثبت، قادر است قسمت مثبت سیکل‌ها را، به هر مقدار که لازم باشد، محدود کند. شکل ۴-۳۶ الف و ب یک مدار برش دهنده مثبت را نشان می‌دهد. برای سادگی کار، دیود را ایده‌آل در نظر می‌گیریم.



الف- مدار برش دهنده نیم سیکل مثبت

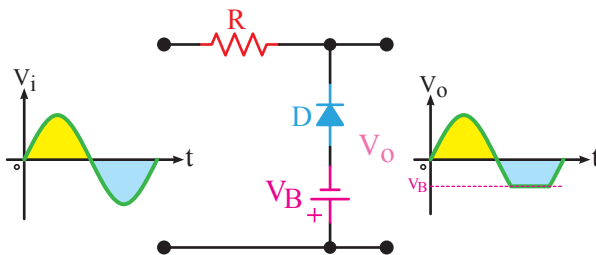


ب- مدار برش دهنده قسمتی از نیم سیکل مثبت

شکل ۴-۳۶ مدار برش دهنده مثبت

ب) برش دهنده منفی: شکل ۴-۳۷ این مدار

را همراه با شکل موج ورودی و خروجی نشان می‌دهد. در نیم سیکل مثبت دیود قطع است. بنابراین، ولتاژ خروجی از نظر مقدار و جهت، با ولتاژ ورودی برابر است. در نیم سیکل منفی، زمانی که ولتاژ منفی از V_B بیش‌تر می‌شود ولتاژ آند دیود، از کاتد آن مثبت‌تر می‌شود، هم چنین دیود هادی می‌شود (کلید بسته می‌شود) و ولتاژ باتری با خروجی موازی می‌گردد. لذا ولتاژ خروجی به اندازه V_B ثابت می‌ماند تا این که ولتاژ منفی از مقدار V_B کم‌تر گردد. به محض این که ولتاژ منفی از V_B کم‌تر شد، دیود، قطع و ولتاژ خروجی مجدداً عین ولتاژ ورودی می‌شود.



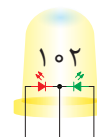
شکل ۴-۳۷ مدار برش دهنده قسمتی از نیم سیکل منفی

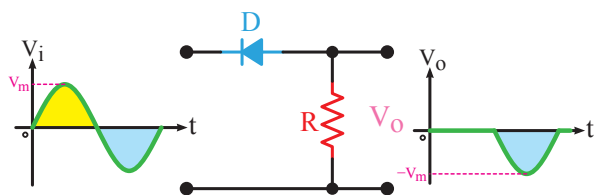
۲-۶-۴ برش دهنده دو طرفه: اگر یک مدار برش

دهنده مثبت و یک برش دهنده منفی را به طور موازی با یکدیگر ببندیم، می‌توانیم سیگنال را از دو طرف برش دهیم. شکل ۴-۳۸، یک مدار برش دهنده دو طرفه را همراه با ولتاژ ورودی و خروجی نشان می‌دهد.

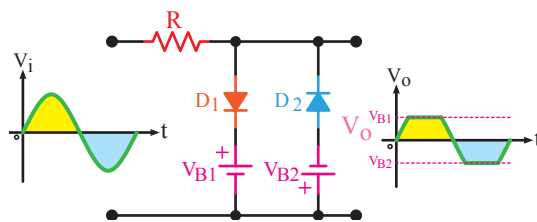
مدار برش دهنده دو طرفه را می‌توانیم با استفاده از دو دیود زنر نیز انجام دهیم. شکل ۴-۳۹ یک برش دهنده دو طرفه با استفاده از دیود زنر را نشان می‌دهد.

اگر سیگنال ورودی، از V_B کوچک‌تر باشد دیود در بایاس معکوس قرار گرفته و قطع است. لذا ولتاژ خروجی با ولتاژ ورودی برابر است. اگر ولتاژ ورودی از V_B بیش‌تر شد دیود هادی می‌شود و ولتاژ خروجی، به اندازه ولتاژ باتری ثابت می‌ماند (هدایت دیود، به منزله‌ی یک کلید بسته است، زمانی که کلید بسته شود ولتاژ باتری با خروجی موازی می‌گردد). در مدت نیم سیکل منفی دیود قطع و ولتاژ خروجی همان ولتاژ ورودی است.



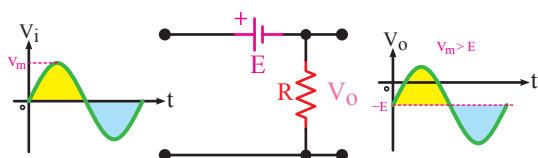


شکل ۴-۴۱ برش دهنده‌ی سری برای نیم سیکل مثبت

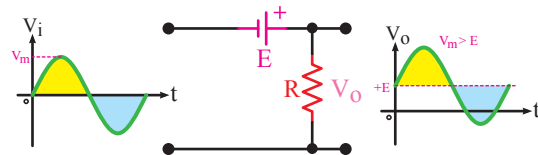


شکل ۴-۳۸ مدار برش دهنده‌ی دو طرفه

چنان چه طبق شکل ۴-۴۲ و ۴-۴۳ یک منبع AC را با یک باتری سری کنیم ولتاژ خروجی از مجموع دو ولتاژ به دست می‌آید. به عبارت دیگر، موج AC روی موج DC سوار می‌شود.

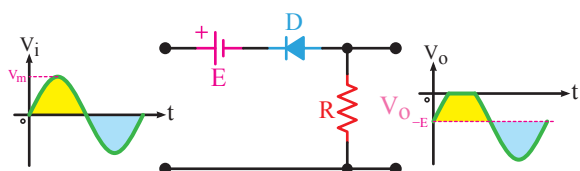


شکل ۴-۴۲ منبع ولتاژ AC سری با DC



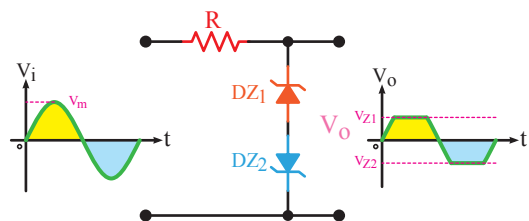
شکل ۴-۴۳ منبع ولتاژ AC سری با DC

حال چنان چه بخواهیم قسمتی از نیم سیکل مثبت یا منفی را برش دهیم، لازم است در مدار، دیودی را سری کنیم، در این حالت با توجه به این که دیود می‌تواند فقط نیم سیکل مثبت یا منفی را عبور دهد قسمتی از نیم سیکل بریده خواهد شد. در شکل ۴-۴۴، برش دهنده‌ی قسمتی از نیم سیکل مثبت و در شکل ۴-۴۵ برش دهنده‌ی قسمتی از نیم سیکل منفی را ملاحظه می‌کنید.



شکل ۴-۴۴ برش دهنده‌ی قسمتی از نیم سیکل مثبت

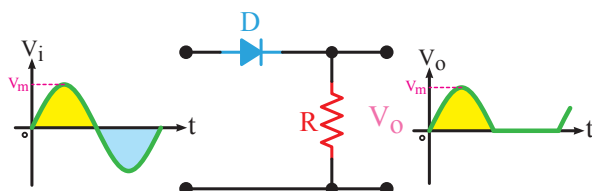
تمرین: طرز کار مدار شکل ۴-۳۹ را توضیح دهید. چنانچه در هر یک از مدارات برش دهنده (مثبت و منفی) جهت باتری یا دیود را عوض کنیم، یا این که خروجی را از مقاومت سری شده بگیریم، شکل موج تمامی حالات با یکدیگر، متفاوت است.



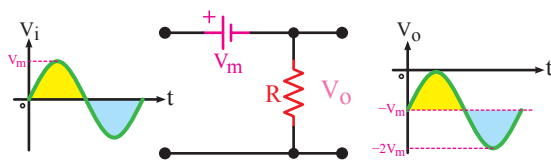
شکل ۴-۳۹ برش دهنده‌ی مثبت و منفی با استفاده از دیود زener

۴-۶-۳ برش دهنده‌های سری: در صورتی که عنصر

برش دهنده (دیود) با خروجی به صورت سری بسته شود مدار را برش دهنده‌ی سری می‌نامند. مدارهای یک‌سوساز نیم موج از نوع برش دهنده‌های سری هستند که می‌توانند نیم سیکل مثبت یا نیم سیکل منفی را برش دهند. در شکل ۴-۴۰ و ۴-۴۱ این مدارها را ملاحظه می‌کنید.

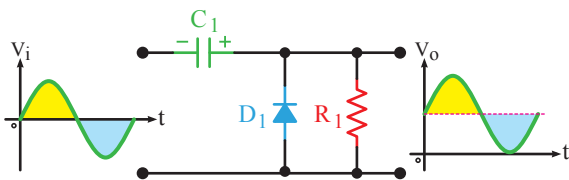


شکل ۴-۴۰ برش دهنده‌ی سری برای نیم سیکل منفی



شکل ۴-۴۸ مدار مهار کننده‌ی منفی

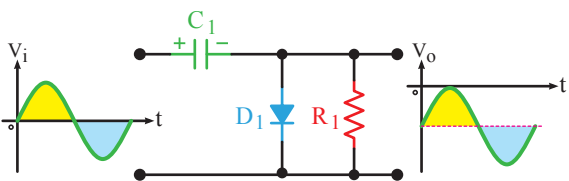
اما در عمل، در مهار کننده‌ها از باتری استفاده نمی‌شود، بلکه به جای آن خازن و دیود مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۴-۴۹، یک مهار کننده‌ی مثبت را با استفاده از خازن نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴۹ مهار کننده‌ی مثبت با استفاده از خازن

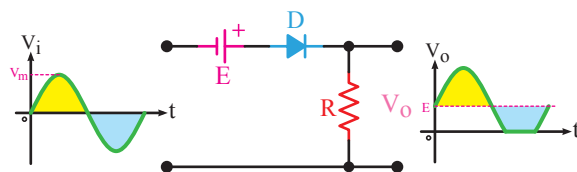
طرز کار مدار، به طور ایده‌آل و ساده، به این صورت است که در مدت نیم سیکل منفی، خازن C از طریق دیود D تا مقدار V_m شارژ می‌شود (دیود D در این مدت اتصال کوتاه است).

قطب‌های ولتاژ شارژ شده در شکل نشان داده شده است. در مدت نیم سیکل مثبت، دیود D قطع است. ولتاژ سیگنال با ولتاژ خازن جمع می‌شود (ولتاژ شارژ شده در خازن در اینجا به منزله‌ی یک باتری است) و شکل موج به صورت بالا در می‌آید ($V_{dc} + V_{ac}$). شکل ۴-۵۰ یک مدار مهار کننده منفی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۵۰ مهار کننده‌ی منفی با استفاده از خازن

در مدار مهار کننده‌ی منفی، خازن در نیم سیکل مثبت، شارژ می‌شود و در نیم سیکل منفی به منزله‌ی



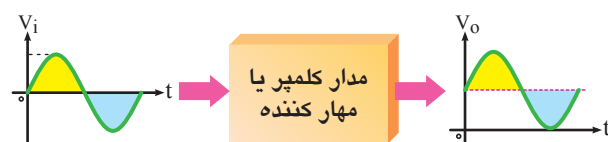
شکل ۴-۴۵ برش دهنده‌ی قسمتی از نیم سیکل منفی

اجرای کار نرم افزاری

با استفاده از نرم‌افزار مولتی سیم انواع مدارهای برش دهنده را شبیه سازی کنید و آن را برای دانش‌آموزان به نمایش در آورید.

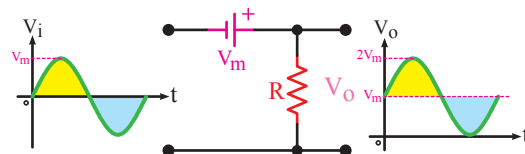
۴-۷ مدارهای مهار کننده (Clampers)

در مدار مهار کننده، تنها کاری که انجام می‌گیرد اضافه شدن مؤلفه‌ی dc به سیگنال است. عمل مهار کنندگی در شکل ۴-۴۶ نشان داده شده است. توجه داشته باشید که در مهار کننده‌ها باید ولتاژ DC باتری با V_m (مقدار ماکزیمم دامنه‌ی موج AC) برابر باشد.

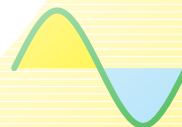
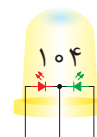


شکل ۴-۴۶ عمل مهار کنندگی

در حقیقت مهار کننده، فقط روی سیگنال، یک تغییر مکان عمودی می‌دهد. این تغییر مکان می‌تواند به سمت بالای خط صفر (مثبت) و یا زیر خط صفر (منفی) باشد، که به ترتیب مهار کننده‌ی مثبت و منفی نام دارند. شکل ۴-۴۷، مهار کننده‌ی مثبت و شکل ۴-۴۸ مهار کننده‌ی منفی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴۷ مدار مهار کننده‌ی مثبت



به دنبال آن تعدادی شماره خواهد آمد که با مراجعه به جدول می‌توان مشخصات الکتریکی آن‌ها را به دست آورد. در این روش، جنس و نوع دیود مشخص نیست. برای مثال، دیود $1S3010A$ دیود زنر است (در موارد زیادی برای دیودهای زنر حرف A را در انتهای شماره‌ها می‌آورند) و دیود $1S310$ یک دیود معمولی و دیود $1S2049$ دیود واراکتور است.

۲-۸-۴ روش اروپایی: در روش اروپایی، تا سال ۱۹۶۰ تمامی دیودها را با حروف OA با تعدادی شماره به دنبال آن مشخص می‌کردند، که با مراجعه به جدول می‌توانستیم مشخصات الکتریکی آن‌ها را به دست آوریم. مانند دیود $OA34$. اما از سال ۱۹۶۰ به بعد این روش نام‌گذاری تغییر کرد. نحوه‌ی تغییر به این صورت بود: دیودهایی که بیش‌تر در مدارات رادیو و تلویزیون به کار می‌روند، با دو حرف و سه شماره مشخص می‌شوند و دیودهایی که کاربرد آن‌ها در مدارات مخصوصی است با سه حرف و دو شماره معین می‌گردند. در ذیل روش نام‌گذاری دو حرفی و سه شماره‌ای خواهد آمد.

حرف اول، جنس نیمه هادی به کار رفته در دیود را مشخص می‌کند، اگر دیود از جنس ژرمانیم باشد آن را با حرف A و اگر از جنس سیلیسیم باشد با حرف B مشخص می‌نمایند. **حرف دوم** نوع دیود را مشخص می‌کند.

A- دیود معمولی یکسو کننده Y- دیود یک سوکننده‌ی قدرت B- دیود واراکتور Z- دیود زنر. (شکل ۴-۵۲)

یک باتری محسوب می‌شود. در صورتی که بخواهیم سیگنال‌ها به اندازه‌ی V ولت بالاتر یا پایین‌تر از مبدأ (صفر ولت) باشند، کافی است منبع ثابتی با مقدار V ولت با دیود سری کنیم.

تمرین: طرز کار مدارهای فوق را بنویسید.

اجرای کار نرم افزاری

با استفاده از نرم‌افزار مولتی سیم انواع مدارهای مهار کننده را شبیه‌سازی کنید و برای دانش‌آموزان به نمایش در آورید.

۴-۸ نام‌گذاری دیودها

برای نام‌گذاری دیودها، معمولاً سه روش وجود دارد. هر چند، برخی از کارخانجات سازنده در گوشه و کنار دنیا از روش‌های دیگری برای نام‌گذاری استفاده می‌نمایند. این سه روش مطابق شکل ۴-۵۱ عبارتند از:

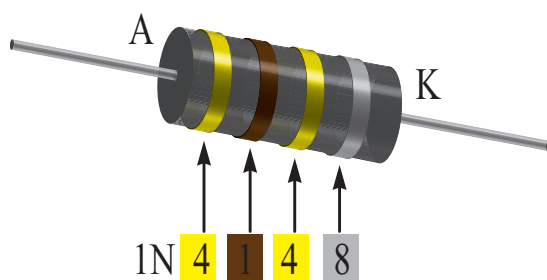
- ۱- روش ژاپنی
- ۲- روش اروپایی
- ۳- روش آمریکایی



شکل ۴-۵۱ روش‌های نام‌گذاری دیود
اینک چگونگی نام‌گذاری هر یک از سه روش فوق را توضیح می‌دهیم:

۱-۴-۸ روش ژاپنی: در این روش نام‌گذاری از عدد ۱ و حرف S، که به دنبال آن می‌آید استفاده می‌شود و

۱N، از کدهای رنگی استفاده می‌شود. زمانی که از کد رنگی استفاده می‌شود از چاپ حرف و عدد ۱N صرف نظر می‌گردد. کدهای رنگی مانند مقاومت‌ها هستند، با این تفاوت که شماره‌ی رنگ‌ها به دنبال هم قرار می‌گیرند، مثلاً شکل ۴-۵۳ دیود ۱N۴۱۴۸ را مشخص می‌کند.

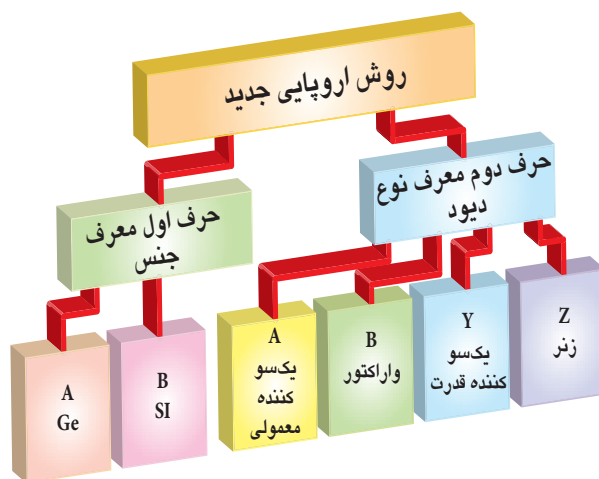


شکل ۴-۵۳ دیود ۱N۴۱۴۸ با کد رنگی

۴-۹ به دست آوردن مقادیر حد از روی جدول

برای به دست آوردن مشخصه‌های الکتریکی دیود، باید با توجه به شماره‌ی دیود، به جدول‌های مربوط مراجعه نمود. یکی از این جدول‌ها که حاوی مشخصات دیودهاست و در بازار به فراوانی یافت می‌شود، کتاب *Semiconductor Hand book* است. در این کتاب، جنس دیود، نام شرکت سازنده، کاربرد و شکل ظاهری دیود آمده است. در ضمن انواع دیودهای معمولی با نام‌گذاری‌های مختلف و دیودهای زنر و واراكتور نیز آمده است.

در جدول ۴-۲، چگونگی استخراج اطلاعات و مشخصات الکتریکی آمده است. تعدادی از اطلاعات، که در این جدول آمده است، در کارهای معمولی کاربرد ندارند. در جدول ۴-۳ کاربرد انواع دیودها، با توجه به شماره‌ی کاربرد در جدول ۴-۲ آمده است.



شکل ۴-۵۲ نام‌گذاری دیودها به روش اروپایی جدید

بعد از حروف، شماره‌هایی آورده می‌شود که می‌توان با مراجعه به جدول، مشخصات الکتریکی آن را به دست آورد. در ذیل تعدادی از دیودها، که به این روش نام‌گذاری شده‌اند، آمده است.

دیود معمولی یک سوکننده‌ی ژرمانیمی AA۱۱۶
 دیود معمولی یک سوکننده‌ی سیلیسیومی BA۳۱۶
 دیود یک سوکننده‌ی قدرت BY۱۲۷
 دیود زنر BZ۱۰۰

یادآوری می‌شود در اکثر مواقع در مورد نام‌گذاری دیود زنر، ولتاژ زنر را نیز روی آن قید می‌نمایند.

۴-۸-۳ روش آمریکایی: در این روش از عدد ۱

و حرف N و تعدادی شماره، که به دنبال آن می‌آید، استفاده می‌شود. در این روش جنس و نوع دیود مشخص نیست. مانند ۱N۴۰۰۶ که یک دیود یک‌سوکننده است. با توجه به شماره‌ای که بعد از ۱N می‌آید، می‌توان با مراجعه به جدول مربوطه، مشخصات الکتریکی و نوع دیود را تعیین کرد. بعضی مواقع نیز به جای ارقام بعد از

جدول ۲-۴ مشخصات دیود

TYPE	Manufacturer	Germanium Silicon	V_R	I_F	I_{FRM}	T_j	R_{thj-a}	I_F at	V_F	C_D at	V_R	t_{rr} from	I_F to	V_R at	R_L	USE	CASE
1N4148	Ph	S	75	150	450	200		10	1	2	0	4n	10	6	100	7	27
شماره دیود	نام کارخانه سازنده	جنس دیود															شکل ظاهری و ابعاد دیود که در ذیل همین صفحات، با توجه به شماره‌ای که قید شده است، رسم شده‌اند.
S	سیلیسیم																کاربرد مراجعه به جدول ۴-۲
G	زرمانیم																مقاومت بار ↑
	ماکزیم ولتاژ معکوس مجاز																ولتاژ معکوس ↑
	مقدار متوسط جریان مجاز																جریان عبوری از مدار به ازای ↑
	مقدار ماکزیمم جریان مجاز تکراری																زمان بازیابی دیود ↑
	ماکزیمم درجه حرارت قابل تحمل محل پیوند PN																این مقدار ولتاژ معکوس
	مقاومت حرارتی دیود از محل پیوند PN به محیط																ظرفیت خازن محل اتصال PN به ازای
	به ازای عبور این جریان از دیود																
	افت ولتاژ دو سر دیود به وجود می‌آید																

۴-۱۰ الگوی پرسش

۴-۱۰-۱ یک سوسازی را تعریف کنید و انواع آن

را نام ببرید.

۴-۱۰-۲ یک سوسازی نیم موج را با رسم شکل و

شکل موج‌های ورودی و خروجی، توضیح دهید.

۴-۱۰-۳ حداکثر ولتاژ معکوس دو سر دیود یک

سوساز نیم موج، چه قدر است؟

۴-۱۰-۴ یک سوساز تمام موج را توضیح دهید.

شکل مدار و شکل موج‌های ورودی و خروجی آن را

رسم کنید.

۴-۱۰-۵ رابطه‌ی حداکثر ولتاژ معکوس دیود در

یک سوکننده‌ی تمام موج را بنویسید.

۴-۱۰-۶ یک سوساز پل را توضیح دهید و آن را با

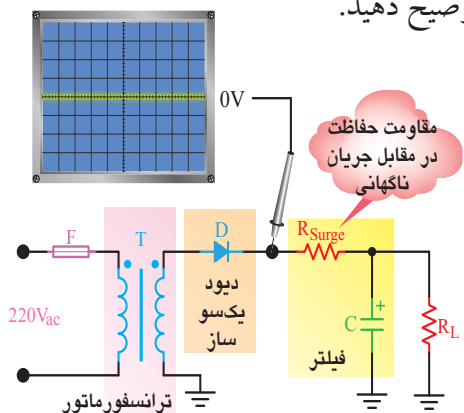
یک سوکننده‌های تمام موج مقایسه کنید.

۴-۱۰-۷ صافی (فیلتر) را تعریف کنید و اثرات آن

جدول ۳-۴ کاربرد انواع دیودها

کاربرد ستون use در جدول ۲-۴	شرح
1	آشکار کننده‌ی نسبی (FM)
2	کاربرد در مدارات لاجیک
3	آشکار کننده‌ی ویدئو
4	تثبیت کننده
5	کاربرد در سوئیچ (کلید)
6	کاربرد در سیگنال‌های ضعیف
7	کاربرد در سوئیچ با سرعت زیاد
8	یک سو کننده‌ی معمولی
9	ولتاژ زیاد
10	کاربرد در تلویزیون
11	کاربرد در فرکانس‌های زیاد

۴-۱۰-۱۸ با توجه به شکل موج نشان داده شده در شکل ۴-۵۶ وضعیت دیود را از نظر اتصال کوتاه یا باز بودن توضیح دهید.



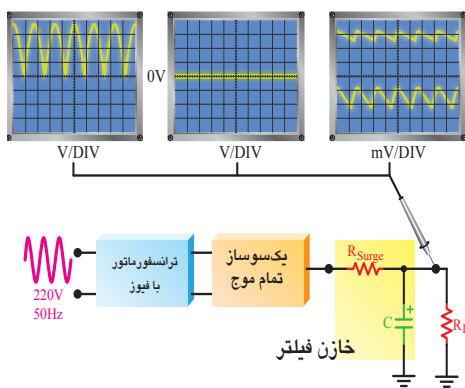
شکل ۴-۵۶ یک سو ساز نیم موج با صافی خازنی



برای دسترسی به سئوالات امتحانی می توانید به سایت <http://all.medu.ir> مراجعه کنید.

۴-۱۱ برای هنرجویان علاقه مند

۴-۱۱-۱ با توجه به شکل موج های نشان داده شده در شکل های ۴-۵۷، ۴-۵۸ و ۴-۵۹، در هر حالت بیان کنید آیا مدار یک سو ساز و صافی سالم هستند یا معیوب؟ در صورت معیوب بودن آیا دیود قطع یا اتصال کوتاه است؟ آیا خازن صافی قطع است یا نشستی دارد؟



شکل ۴-۵۷ بلوک دیاگرام در یک سو ساز تمام موج با صافی

را در یک سو کننده های نیم موج، تمام موج و پل با هم مقایسه کنید.

۴-۱۰-۸ اصول کار چند برابر کننده های ولتاژ را توضیح دهید.

۴-۱۰-۹ یک مدار ۷ برابر کننده ی ولتاژ رسم کنید و درباره ی آن توضیح دهید.

۴-۱۰-۱۰ کاربرد چند برابر کننده های ولتاژ را نام ببرید.

۴-۱۰-۱۱ اصول کار مدارهای محدود کننده را توضیح دهید.

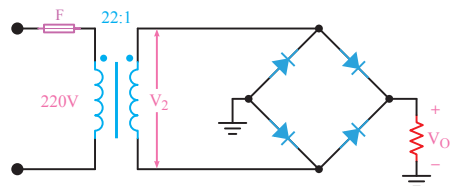
۴-۱۰-۱۲ کاربرد مدارهای قیچی کننده را بنویسید.

۴-۱۰-۱۳ برش دهنده های مثبت و منفی و دو طرفه را با رسم شکل توضیح دهید.

۴-۱۰-۱۴ روش های نام گذاری دیود را نام ببرید.

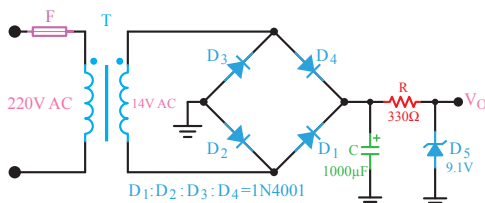
۴-۱۰-۱۵ طرز استفاده از کاتالوگ و جدول های مربوط به دیودها را با ذکر مثال توضیح دهید.

۴-۱۰-۱۶ اگر نسبت دور ترانسفورماتور ۲۲:۱ باشد میانگین ولتاژ دو سر بار و PIV هر دیود چه قدر است؟ دیودها ایده آل هستند. (شکل ۴-۵۴)

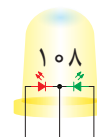


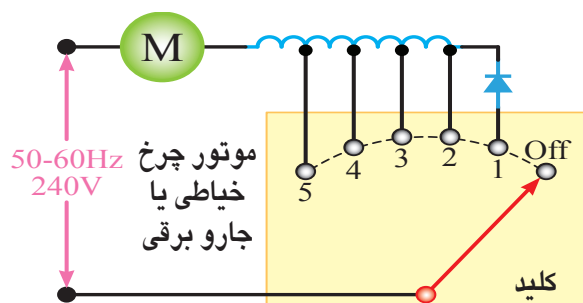
شکل ۴-۵۴ مدار یک سو ساز تمام موج پل با بار

۴-۱۰-۱۷ با توجه به مدار شکل ۴-۵۵ که مربوط به منبع تغذیه ی ۹ ولت است. در صورت ایده آل بودن دیود، ولتاژ کار خازن چند ولت باید باشد؟



شکل ۴-۵۵ منبع تغذیه ۹ ولت





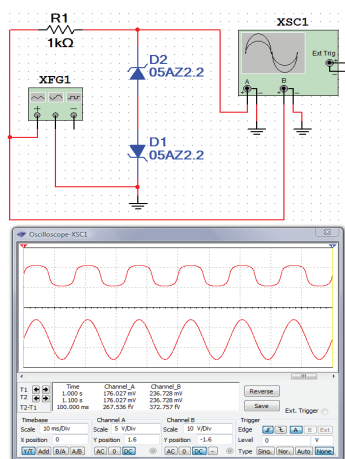
شکل ۴-۶۱ نقش دیود در کنترل دور موتور

۴-۱۲ کار با نرم افزار مولتی سیم

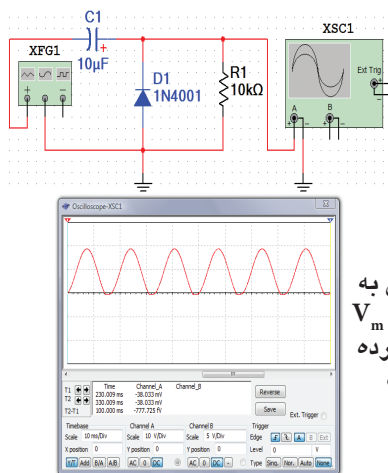
در شکل ۴-۶۲ مدار برش دهنده با دیود زنر و در

شکل ۴-۶۳ مدار مهار کننده را مشاهده می کنید. این

مدارها و سایر مدارها را می توانید با استفاده از نرم افزار تجربه کنید.

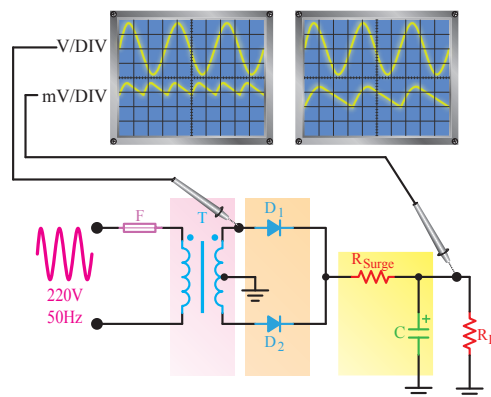


شکل ۴-۶۲ مدار برش دهنده، که توسط نرم افزار مولتی سیم رسم شده است

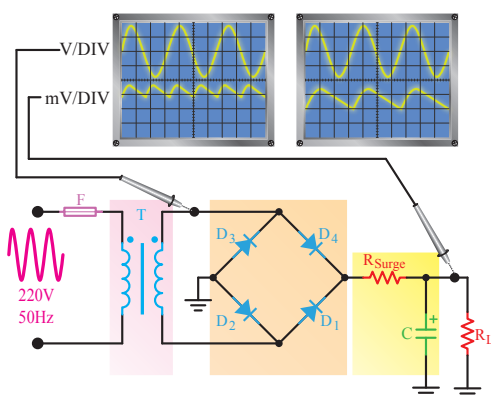


موج خروجی به اندازه V_m جهش کرده است

شکل ۴-۶۳ مهار کننده



شکل ۴-۵۸ مدار یک سوساز تمام موج با ترانس سر وسط و صافی خازنی



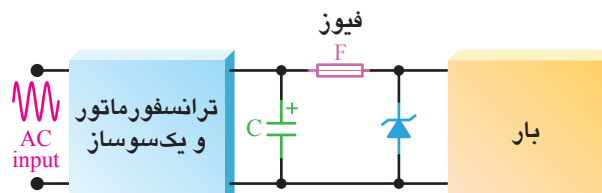
شکل ۴-۵۹ یک سوساز تمام موج پل با صافی خازنی و بار

۴-۱۱-۲ در مدار شکل ۴-۶۰ اگر ولتاژ ورودی

زیاد شود، ولتاژ خروجی منبع تغذیه از ولتاژ شکست زنر

بیش تر می شود، در این حالت در مدار چه اتفاقی رخ

می دهد؟ کاربرد مدار چیست؟



شکل ۴-۶۰ نقش دیود زنر به عنوان محافظ در منابع تغذیه

۴-۱۱-۳ در مدار شکل ۴-۶۱، در کدام حالت دور

موتور کم ترین مقدار را داراست؟ PIV دیود را محاسبه کنید.

ترانزیستور

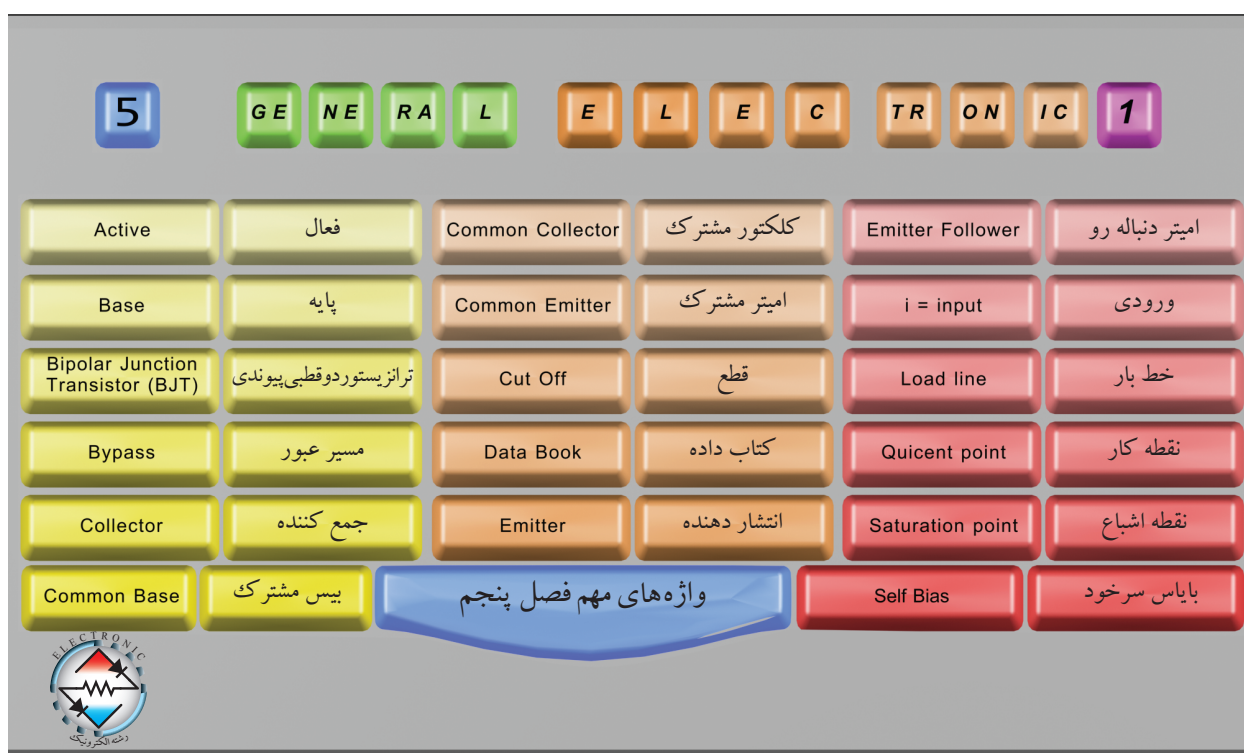
هدف کلی

آموزش ساختمان ترانزیستور و کاربرد آن در مدارهای تقویت کننده

هدف های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیرنده انتظار بنویسد.

می رود که:

- ۱- تاریخچه ای اختراع ترانزیستور را شرح دهد.
- ۲- ترانزیستور را تعریف کند.
- ۳- برتری های ترانزیستور بر لامپ های الکترونی را نام ببرد.
- ۴- ساختمان ترانزیستور را شرح دهد.
- ۵- معادل دیودی ترانزیستور را شرح دهد.
- ۶- ساختمان ترانزیستور PNP و NPN را شرح دهد.
- ۷- بایاس ترانزیستور را تشریح کند.
- ۸- نماد مداری (علامت اختصاری) ترانزیستور را توضیح دهد.
- ۹- جهت جریان در ترانزیستور را توضیح دهد.
- ۱۰- ولتاژهای روی پایه های ترانزیستور را نام گذاری کند.
- ۱۱- انواع آرایش های ترانزیستور را با شکل ساده شرح دهد.
- ۱۲- منحنی های مشخصه ترانزیستور را در آرایش امیتر مشترک شرح دهد.
- ۱۳- نواحی کار ترانزیستور (قطع، فعال و اشباع) را شرح دهد.
- ۱۴- نواحی کار ترانزیستور را روی مشخصه خروجی ترانزیستور نشان دهد.
- ۱۵- نقطه ی کار DC را شرح دهد.
- ۱۶- مختصات نقطه ی کار DC را بنویسد.
- ۱۷- خط بار DC را شرح دهد.
- ۱۸- معادله ی خط بار DC را در یک تقویت کننده بنویسد.
- ۱۹- خط بار DC را روی منحنی مشخصه خروجی رسم کند.
- ۲۰- نقطه ی کار را روی خط بار انتخاب کند و مختصات آن را
- ۲۱- انواع روش های بایاس ترانزیستور را شرح دهد.
- ۲۲- مقاومت های بایاس را با معلوم بودن مختصات نقطه ی کار در بایاس مستقیم و اتوماتیک محاسبه کند.
- ۲۳- ولتاژها و جریان های پایه های ترانزیستور را در بایاس سرخود محاسبه کند.
- ۲۴- نحوه ی تقویت یک سیگنال متناوب را توسط ترانزیستور تشریح کند.
- ۲۵- از روی سه منحنی مشخصه ی ترانزیستور (که در یک مختصات رسم شده اند) نقطه کار DC و نحوه ی تقویت سیگنال AC را تشریح کند.
- ۲۶- با انتخاب یک نوع بایاس (بایاس سرخود) سه نوع آرایش ترانزیستور را با اعمال سیگنال متناوب ترسیم کند.
- ۲۷- روابط بین جریان ها و ولتاژها را در ترانزیستور شرح دهد.
- ۲۸- برخی مشخصات سه نوع آرایش ترانزیستور را در جدولی با هم مقایسه کند.
- ۲۹- کلاس های مختلف تقویت کنندگی را به صورت بلوکی و فقط با رسم شکل موج ورودی و خروجی توضیح دهد.
- ۳۰- مقادیر حد در ترانزیستور را شرح دهد.
- ۳۱- نحوه ی استفاده از Data book را شرح دهد.
- ۳۲- به الگوی پرسش پاسخ دهد.
- ۳۳- هدف های مربوط به حیطه ی عاطفی که در فصل اول آمده است را اجراء نماید.



۱-۵ پیش گفتار

صنعت اصلی و مهم با قابلیت توسعه‌ی بسیار، مورد توجه قرار گرفت. در ۲۳ دسامبر ۱۹۴۷ صنعت الکترونیک به موفقیت جدیدی دست یافت. در بعد از ظهر این روز والتر براتین و جان باردین عمل تقویت سیگنال را توسط اولین ترانزیستوری، که در لابراتوار کمپانی بل، طراحی و ساخته شده بود، انجام دادند. این ترانزیستور در شکل ۱-۵ نشان داده شده است.

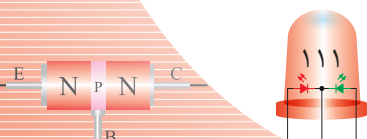
یکی دیگر از قطعات اساسی و پُر کاربرد در الکترونیک، ترانزیستور است. ترانزیستور به عنوان سوئیچ، تقویت کننده، تثبیت کننده‌ی ولتاژ و ... در مدارهای الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این فصل به ساختمان ترانزیستور، بایاسینگ، خط بار، محاسبات مربوط به بایاسینگ و موارد کاربرد آن در تقویت کننده‌های ساده می‌پردازیم.

۲-۵ تاریخچه‌ی اختراع ترانزیستور (Transistor)

در سال ۱۹۰۴ تا ۱۹۴۷ لامپ‌ها تنها وسایل الکترونیکی‌ای بودند که برای تقویت مورد استفاده قرار می‌گرفتند. در سال ۱۹۰۶، لامپ سه قطبی توسط لی دی فورست ساخته شد و در سال ۱۹۳۰ لامپ‌های چهار قطبی (تترود) و پنج قطبی (پنتود) نیز ساخته شدند. در سال‌های بعد، صنعت الکترونیک به منزله‌ی یک



شکل ۱-۵ اولین ترانزیستور ساخته شده در سال ۱۹۴۷



۳-۵ برتری‌های ترانزیستور بر لامپ‌های الکترونی

بعد از اختراع ترانزیستور، برتری‌های این المان نسبت به لامپ‌های الکترونی، به زودی آشکار گشت. به طوری که رادیو و تلویزیون و هم چنین مدارهای الکترونیکی ترانزیستوری، بلافاصله ساخته شدند. در زیر به برخی از برتری‌های ترانزیستور نسبت به لامپ الکترونی اشاره شده است.

(الف) کوچک تر و سبک تر بودن.

(ب) احتیاج نداشتن به فیلامان و در نتیجه، نداشتن تلفات حرارتی ناشی از گرم کردن فیلامان.

(ج) احتیاج نداشتن به مدت زمان جهت گرم شدن فیلامان.

(د) کار کردن در ولتاژهای بسیار کم.

(ه) داشتن تحمل جریان زیاد.

(و) استحکام زیاد و داشتن عمر طولانی.

(ز) ساده بودن سیم کشی طرح‌های ترانزیستوری.

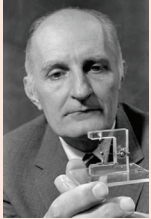
باید توجه داشت که لامپ‌ها نیز نسبت به ترانزیستورها از برتری‌هایی برخوردارند، از جمله قدرت بسیار بالا، تغییر نکردن نقطه‌ی کار بر اثر گرما و ... ولی ترانزیستور با داشتن برتری‌های فوق در قدرت‌های کم و متوسط جانشین لامپ‌ها شده است. در شکل ۲-۵ ابعاد و شکل ظاهری یک لامپ و یک ترانزیستور نشان داده شده است.



شکل ۲-۵ مقایسه‌ی شکل ظاهری ترانزیستور و لامپ



جان باردین



ویلیام شاکلی



والتر برایتین



نفر نشسته شاکلی و دونفر ایستاده باردین و برایتین در آزمایشگاه

آقای دکتر جان باردین **John Bardeen** در سال ۱۹۰۸ در

آمریکا متولد شد. او دوبار توانست جایزه‌ی نوبل را دریافت کند. بار

اول در سال ۱۹۵۶ به اتفاق آقایان

ویلیام شاکلی **William Shochly**

و والتر برایتین **Walter Brattain** به

خاطر اختراع ترانزیستور موفق به

دریافت جایزه‌ی نوبل شد. برای

بار دوم در سال ۱۹۷۲ مجدداً

به اتفاق آقایان لئون نیل کوپر

Leon Neil Kooper و جان روبرت

شریفر **John Robert Shriffer** به

خاطر اختراع ابر رسانا جایزه‌ی

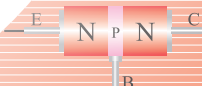
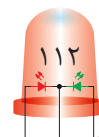
نوبل را اخذ نمود. آقای باردین در

سال ۱۹۹۱ دارفانی را وداع گفت.

۴-۵ ساختمان ترانزیستور

ترانزیستور معمولی، یک المان سه پایه است که از سه کریستال نیمه هادی نوع N و P، که در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند، تشکیل شده است. ترتیب قرار گرفتن نیمه هادی‌ها در کنار هم، به دو صورت انجام پذیر است:

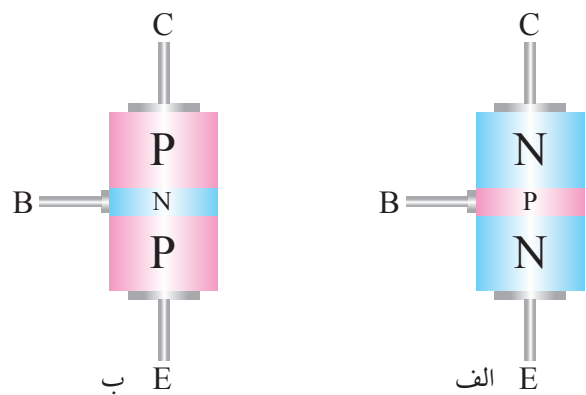
(الف) دو قطعه نیمه هادی نوع N در دو طرف و نیمه



هادی نوع P در وسط.

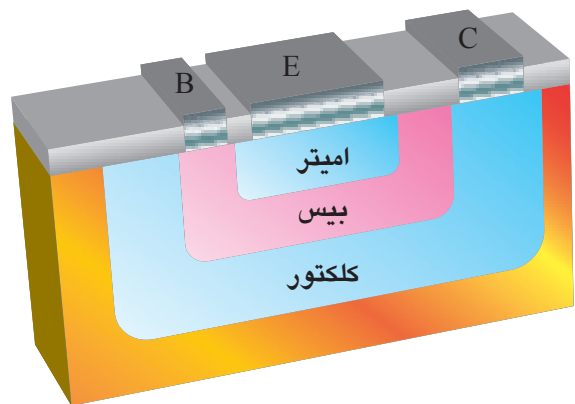
(ب) دو قطعه نیمه هادی نوع P در دو طرف و نیمه هادی نوع N در وسط.

در حالت (الف)، ترانزیستور را NPN و در حالت (ب)، ترانزیستور را PNP می‌نامند. شکل ۳-۵ ترتیب قرار گرفتن نیمه هادی‌ها را کنار هم نشان می‌دهد.



شکل ۳-۵ ساختمان ترانزیستور

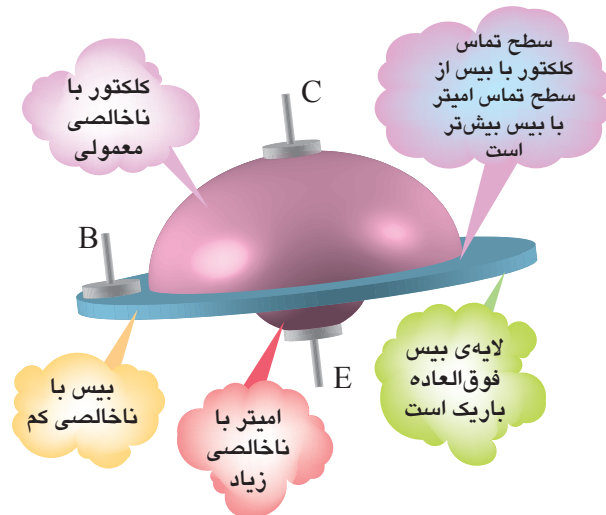
در شکل ۴-۵، لایه‌های ترانزیستور را مشاهده می‌کنید. پایه‌های خروجی ترانزیستور را به ترتیب امیتر (منتشر کننده = Emitter)، بیس (پایه = Base) و کلکتور (جمع کننده = collector) نام‌گذاری کرده‌اند. امیتر را با حرف E، بیس را با حرف B و کلکتور را با حرف C نشان می‌دهند.



شکل ۴-۵ لایه‌های ترانزیستور

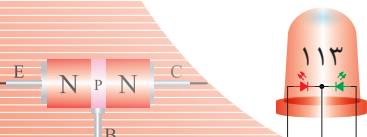
نیمه هادی نوع P یا N که به عنوان امیتر به کار می‌رود، نسبت به لایه‌ی بیس و کلکتور، ناخالصی بیش‌تری دارد. ضخامت این لایه حدود چند ده میکرون است (عملاً حدود $200-20\mu\text{m}$) و سطح تماس آن نیز به میزان فرکانس و قدرت ترانزیستور بستگی دارد.

لایه‌ی بیس، نسبت به کلکتور و امیتر، ناخالصی کم‌تری دارد و ضخامت آن نیز به مراتب از امیتر و کلکتور کم‌تر است و عملاً از چند میکرون تجاوز نمی‌کند. ناخالصی لایه‌ی کلکتور از امیتر کمتر و از بیس بیش‌تر است. ضخامت این لایه به مراتب از امیتر بزرگ‌تر است، زیرا تقریباً تمامی تلفات حرارتی ترانزیستور در کلکتور ایجاد می‌شود. شکل ۵-۵ تصویری از نسبت تقریبی لایه‌ها را نشان می‌دهد. سطح تماس کلکتور با بیس، حدوداً نه برابر سطح تماس امیتر با بیس است.



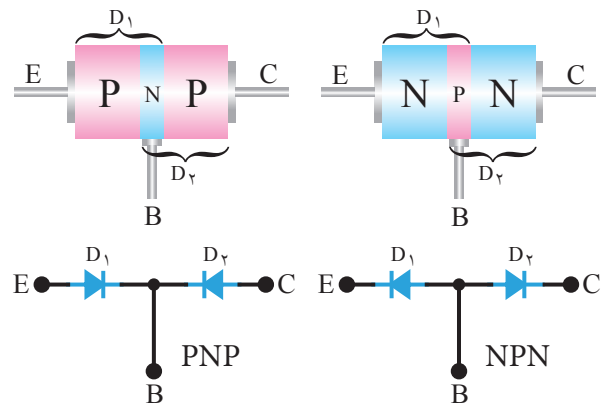
شکل ۵-۵ نمایش نسبت تقریبی لایه‌های ترانزیستور

این نوع ترانزیستورها را به اختصار BJT (Bipolar Junction Transistor) می‌نامند. عبارت Bipolar یا دو قطبی، از عملکرد الکترون‌ها و حفره‌ها که حامل‌های جریان هستند، ناشی می‌شود.



۵-۵ معادل دیودی ترانزیستور

هر ترانزیستور، دارای سه پایه و دو پیوند است. هر پیوند را می‌توان به صورت یک دیود نشان داد. در نتیجه، معادل دیودی یک ترانزیستور به صورت دو دیود (مطابق شکل ۵-۶) نشان داده می‌شود.



شکل ۵-۶ معادل دیودی ترانزیستور

۵-۶ عملکرد ترانزیستور

۵-۶-۱ بایاس ترانزیستور: برای این که بتوان از

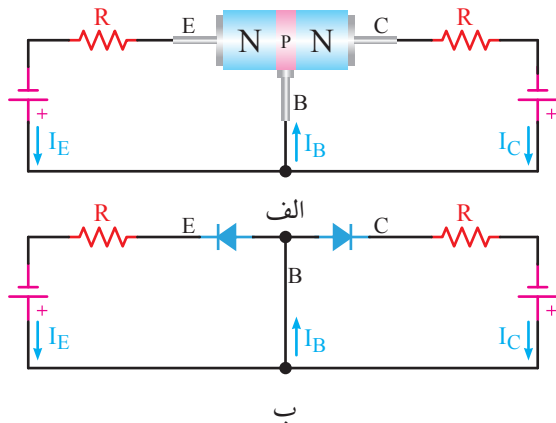
ترانزیستور به عنوان تقویت کننده، سوییچ و ... استفاده نمود، ابتدا باید ترانزیستور را از نظر ولتاژ dc تغذیه کرد، عمل تغذیه ولتاژ پایه‌های ترانزیستور را بایاس ترانزیستور می‌نامند.

با توجه به این که ترانزیستور دارای سه پایه‌ی مجزاست، می‌توانیم یکی از پایه‌ها را پایه‌ی مشترک و دو پایه‌ی دیگر را ورودی و خروجی آن در نظر بگیریم. اتصال ولتاژ dc به پایه‌های مختلف ترانزیستور، نحوه‌ی کار آن را بیان می‌نماید. نظر به اینکه تعداد پایه‌های ترانزیستور سه عدد است، می‌توانیم ولتاژ dc را به فرم‌های مختلف به ترانزیستور متصل کنیم. در این قسمت به شرح انواع اتصال ولتاژ dc به ترانزیستور می‌پردازیم. با این توضیح که در این جا بیس بین ورودی و خروجی

مشترک گرفته شده است.

(الف) اتصال بیس - امیتر در بایاس مستقیم و اتصال بیس - کلکتور نیز در بایاس مستقیم است. شکل ۵-۷-الف این نوع بایاس را نشان می‌دهد. مقاومت R در این شکل برای کنترل جریان به کار رفته است.

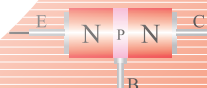
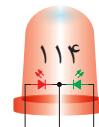
شکل ۵-۷-ب مدار معادل شکل ۵-۷-الف است.

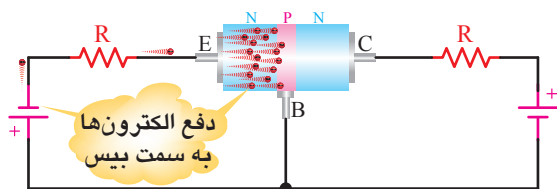


شکل ۵-۷ بایاس موافق در مدار معادل دیودی

همان طوری که از شکل مدار معادل پیداست، در این حالت بایاس، دو جریان I_E (جریانی که از امیتر عبور می‌کند) و I_C (جریانی که از کلکتور عبور می‌کند) هر کدام مسیر جداگانه‌ای در دو حلقه طی می‌کنند و فقط در پایه‌ی بیس با یکدیگر جمع می‌شوند و دوباره تقسیم می‌گردند.

(ب) اتصال بیس - امیتر در بایاس معکوس و اتصال بیس - کلکتور نیز در بایاس معکوس است. این نوع اتصال در شکل ۵-۸-الف نشان داده شده است. شکل ۵-۸-ب مدار معادل شکل ۵-۸-الف است. همان طوری که از مدار معادل پیداست، هر دو دیود در بایاس معکوس و قطع‌اند. لذا جریان I_E و I_C برابر صفر است (البته جریان بسیار ضعیفی در اثر شکستن پیوندها در دمای معمولی از مدار عبور می‌کند [جریان اشباع معکوس]، که ما فعلاً



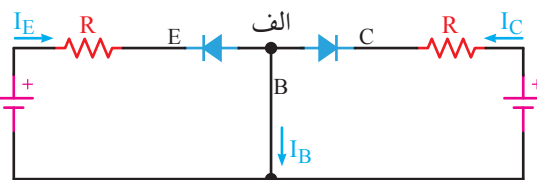
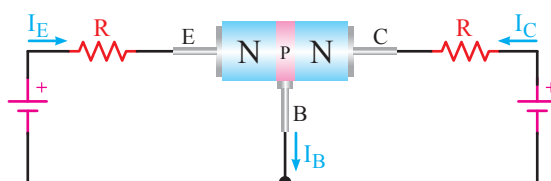


شکل ۵-۱۰ حرکت الکترون‌ها

همان طوری که از شکل ۵-۱۰ پیداست، الکترون‌های نیمه هادی نوع N، توسط ولتاژ منفی باتری به سمت بیس رانده می‌شوند. از قبل دانستیم که لایه بیس نسبت به امیتر و کلکتور ناخالصی کم‌تری دارد و ضخامت آن نیز، نسبت به دو لایه‌ی دیگر فوق‌العاده کم است. در این جا سؤالی پیش می‌آید که آیا این جریان الکترون‌ها مسیر خود را از طریق امیتر-بیس می‌بندد یا اتفاق دیگری می‌افتد؟

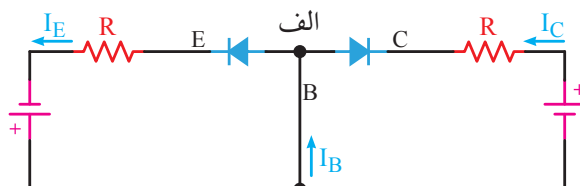
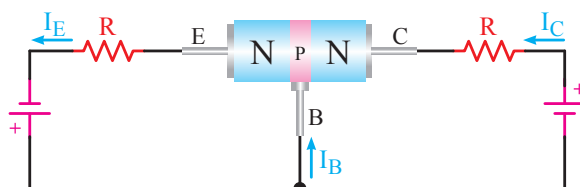
در وهله‌ای اول به نظر می‌آید که جریان الکترون‌ها مسیر خود را باید از طریق بیس-امیتر ببندد، ولی عملاً این طور نیست و قسمت اعظم این جریان از طریق کلکتور بسته می‌شود. دلیل این عمل آن است که اولاً، به کلکتور ولتاژ مثبت وصل شده است و این ولتاژ قادر است الکترون‌ها را به طرف خود جذب کند. ثانیاً، لایه‌ی بیس بسیار نازک است و الکترون‌ها به محض وارد شدن به لایه‌ی بیس به دلیل کم بودن این فاصله با کلکتور به آن جذب می‌شوند. ثالثاً، سطح کلکتور حدود ۹ برابر بزرگ‌تر از سطح امیتر است، لذا نسبت به ورود الکترون‌ها به لایه‌ی بیس احاطه کامل دارد و تقریباً تمام آن‌ها را جذب می‌کند. رابعاً، ناخالصی بیس کم است و الکترون‌ها با حفره‌ها کم‌تر ترکیب می‌شوند. لذا تقریباً بیش از ۹۵٪ الکترون‌هایی که به لایه‌ی بیس وارد می‌شوند، مدار خود را از طریق کلکتور می‌بندند. شکل ۵-۱۱، نسبت تقسیم تقریبی الکترون‌ها بین کلکتور و بیس را نشان می‌دهد.

آن را در نظر نمی‌گیریم). ترانزیستور در این حالت هیچ عملی را انجام نمی‌دهد.



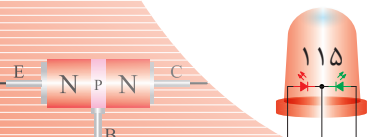
شکل ۵-۸ بایاس مخالف

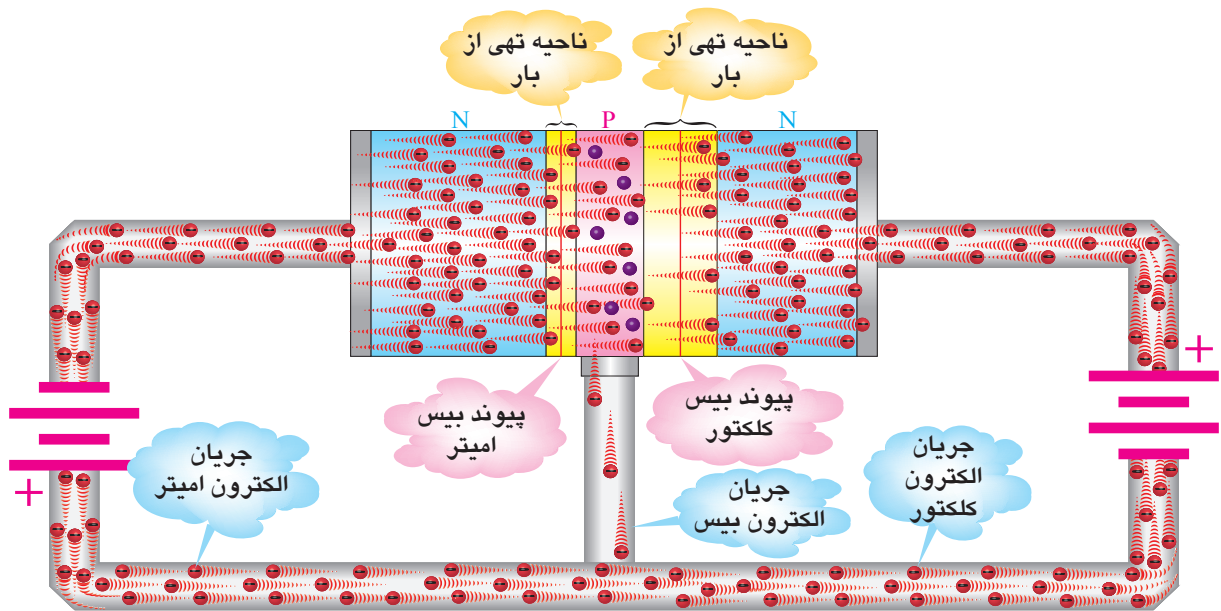
ج: اتصال بیس-امیتر در بایاس مستقیم و اتصال بیس-کلکتور نیز در بایاس معکوس است. شکل ۵-۹-الف و ب این حالت بایاس را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۹ بایاس موافق و مخالف

همان طوری که از شکل ۵-۹ پیداست، اتصال بیس-امیتر در بایاس مستقیم است. لذا باید یک جریان در مدار بیس-امیتر داشته باشیم. (در این قسمت استثنائاً جهت جریان را در جهت واقعی الکترون‌ها در نظر می‌گیریم). (شکل ۵-۱۰)





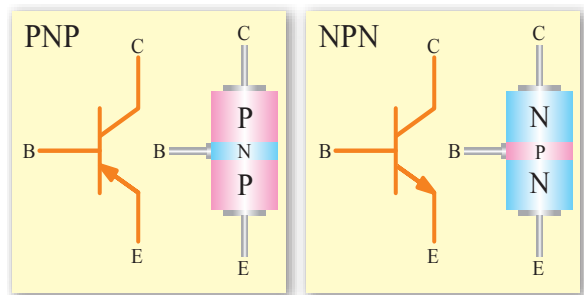
شکل ۱۱-۵ عبورهای الکترون از بیس و کلکتور

می‌کند با حرف I_E نشان داده می‌شود. همان طوری که در شکل ۱۳-۵ نشان داده شده است، جریانی که از امیتر عبور می‌کند، به دو انشعاب تقسیم می‌شود. قسمت بسیار کمی از جریان از بیس و قسمت اعظم آن از کلکتور عبور می‌کند. لذا جریان امیتر برابر است با جریان بیس به علاوه جریانی کلکتور، یعنی:

$$I_E = I_B + I_C$$

برای سادگی و درک جهت جریان، معمولاً جهت قراردادی را در نظر می‌گیرند. در جهت قراردادی، جریان از قطب مثبت باتری یا منبع تغذیه خارج و پس از عبور از مدار خارجی، به قطب منفی آن وارد می‌شود. در شکل‌های ۱۴-۵ و ۱۵-۵، جهت قراردادی جریان در ترانزیستورهای NPN و PNP نشان داده شده است. جهت جریان قراردادی، همیشه با جهت دیود بیس-امیتر مطابقت دارد.

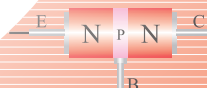
۲-۶-۵ نماد فنی ترانزیستور: برای ساده‌تر نشان دادن ترانزیستورها در نقشه‌ها از علامت اختصاری استفاده می‌شود. شکل ۱۲-۵، نماد فنی ترانزیستورهای PNP و NPN را نشان می‌دهد.

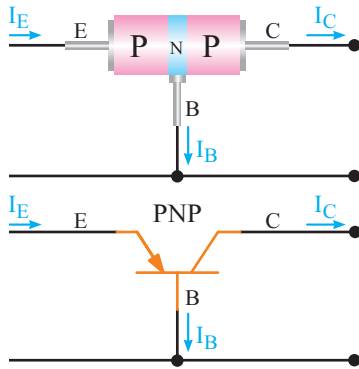


شکل ۱۲-۵ علامت قراردادی ترانزیستورهای PNP و NPN

جهت فلش در نماد فنی ترانزیستور، نشان دهنده جهت دیود امیتر - بیس است.

۳-۶-۵ جهت جریان‌ها در ترانزیستور: جریانی که از کلکتور عبور می‌کند با حرف I_C ، جریانی که از بیس عبور می‌کند با حرف I_B و جریانی که از امیتر عبور





شکل ۵-۱۵ جهت قراردادی جریان در ترانزیستور PNP

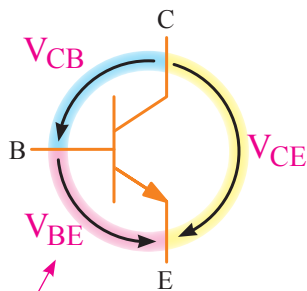
۴-۶-۵ نام گذاری ولتاژهای ترانزیستور: برای

این که بتوان از ترانزیستور به عنوان تقویت کننده‌ی سیگنال‌های الکتریکی یا ... استفاده نمود، باید ترانزیستور را با ولتاژ dc تغذیه کرد. در هر حالت، ولتاژهایی که به قسمت‌های مختلف ترانزیستور اعمال می‌شوند، با هم فرق می‌کنند در این قسمت به نام گذاری ولتاژ قسمت‌های مختلف می‌پردازیم.

ولتاژی که بین پایه‌های بیس و امیتر قرار می‌گیرد با V_{BE} ، ولتاژی که در قسمت کلکتور-بیس قرار می‌گیرد با V_{CB} ، ولتاژی که بین کلکتور-امیتر وصل می‌شود با V_{CE} ، ولتاژ منبع تغذیه‌ی کلکتور را با V_{CC} و ولتاژی که انرژی بیس را تأمین می‌کند با V_{BB} نشان داده می‌شوند. شکل ۵-۱۶، ولتاژهای قسمت‌های مختلف ترانزیستور را نشان می‌دهد. بین ولتاژهای ترانزیستور، رابطه‌ی

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$

برقرار است.



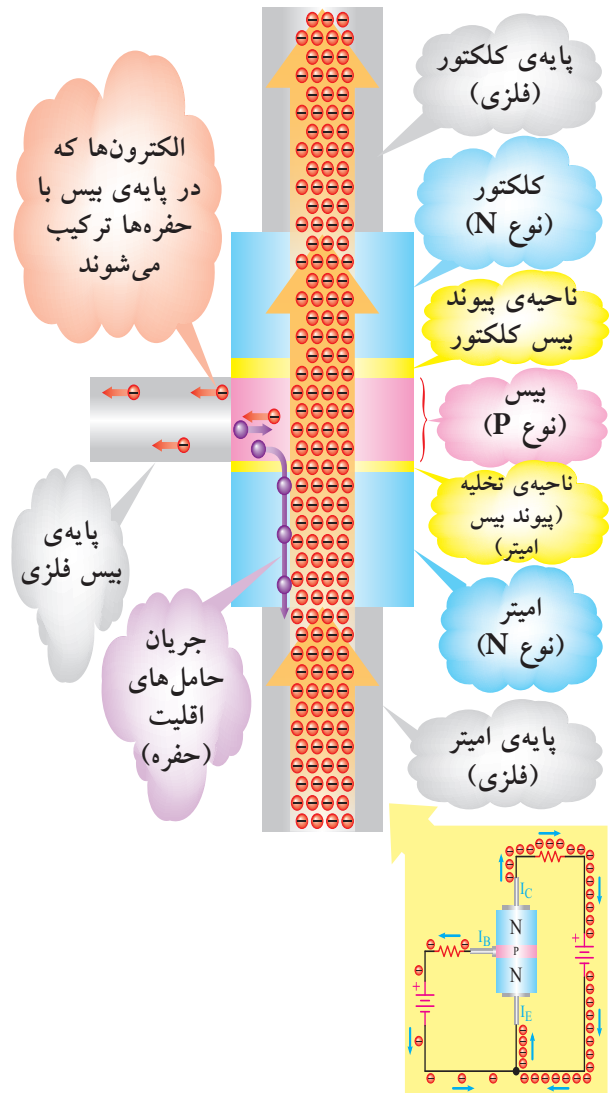
V_{BE} یعنی ولتاژ بیس، نسبت به امیتر

شکل ۵-۱۶ نام گذاری ولتاژ بین پایه‌ها

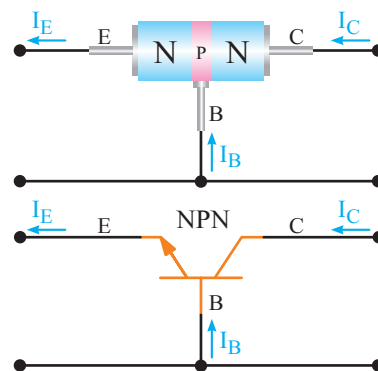
همان طوری که در شکل‌ها دیده می‌شود، رابطه‌ی

$$I_E = I_C + I_B$$

برای هر دو نوع ترانزیستور صادق است.



شکل ۵-۱۳ جهت جریان‌ها



شکل ۵-۱۴ جهت قراردادی جریان در ترانزیستور NPN

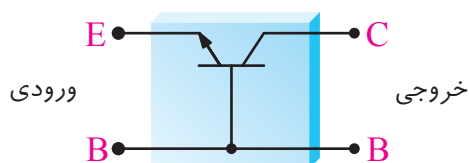
مدار را نسبت به آن اندازه می گیرند. شکل ۱۸-۵ آرایش امیتر مشترک را بدون رسم سایر المانهای مورد نیاز، نشان می دهد. آرایش امیتر مشترک، در مدارات کاربرد بیش تری دارد.



شکل ۱۸-۵ آرایش امیتر مشترک (CE)

۳-۷-۵ آرایش بیس مشترک (Common Base):

در این آرایش، چون پایه بیس بین ورودی و خروجی مشترک است. آرایش آن را نیز بیس مشترک نامیده اند. شکل ۱۹-۵، این آرایش را به طور ساده نشان می دهد.

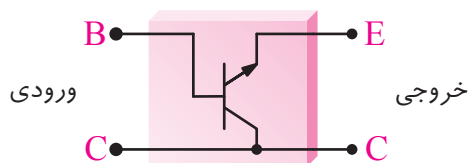


شکل ۱۹-۵ آرایش بیس مشترک (CB)

۴-۷-۵ آرایش کلکتور مشترک:

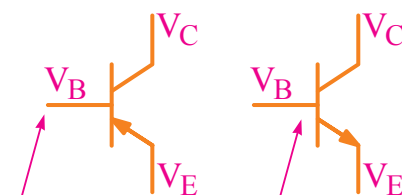
(Common Collector)

پایه مشترک بین ورودی و خروجی، در این آرایش، کلکتور است و به دلیل مشترک بودن پایه کلکتور نیز به آن کلکتور مشترک می گویند. شکل ۲۰-۵، آرایش کلکتور مشترک را نشان می دهد. این آرایش را امیتر فالور (Emitter Follower) نیز می گویند.



شکل ۲۰-۵ آرایش کلکتور مشترک (CC)

ولتاژ هر پایه، را نسبت به زمین یا نسبت به هر مرجع دیگری، با حرف V و نام پایه مورد نظر نشان می دهند. مثلاً V_C پتانسیل (ولتاژ) پایه کلکتور نسبت به زمین است. در شکل ۱۷-۵، ولتاژ نقاط مختلف یک ترانزیستور نسبت به زمین، نشان داده شده است.



V_B یعنی ولتاژ بیس نسبت به زمین

شکل ۱۷-۵ ولتاژ هر پایه ترانزیستور نسبت به زمین

۷-۵ آرایشهای ترانزیستور

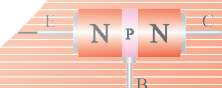
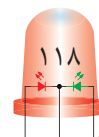
آرایش ترانزیستور در مدار، به سه صورت امیتر مشترک، بیس مشترک و کلکتور مشترک است. در این جا به بررسی مختصر هر آرایش و سبب نام گذاری آنها می پردازیم.

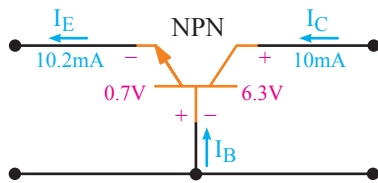
۱-۷-۵ پایه مشترک در ترانزیستور:

ترانزیستور، همیشه سیگنال ورودی به دو پایه از سه پایه ترانزیستور داده می شود و سیگنال خروجی از دو پایه آن گرفته می شود؛ به طوری که یکی از پایه ها بین ورودی و خروجی، مشترک است. لذا، با توجه به پایه مشترک، نام آرایش انتخاب می شود.

۲-۷-۵ آرایش امیتر مشترک (Common Emitter):

در این آرایش پایه بیس، بین ورودی و خروجی مدار مشترک است. و سبب نام گذاری این آرایش نیز به دلیل مشترک بودن پایه بیس است. در هر آرایشی پایه مشترک را مبنا قرار می دهند و ولتاژهای نقاط مختلف





شکل ۵-۲۲ شکل مربوط به سؤال ۸

اجرای کار نرم افزاری



با استفاده از نرم افزار مولتی سیم چند نمونه ترانزیستور را روی میز کار شبیه ساز بیاورید و برای هنجریان نمایش دهید.

۵-۹ منحنی‌های مشخصه‌ی ترانزیستور

روابط بین جریان‌ها و ولتاژها و تغییرات آن‌ها در ترانزیستور و هم چنین ضریب تقویت به عامل‌هایی چون درجه‌ی حرارت، فرکانس و غیر خطی بودن المان‌ها بستگی دارد (منظور از غیر خطی بودن، این است که نسبت تغییرات جریان‌ها و ولتاژها تابع یک معادله‌ی خطی ریاضی نیست). لذا، معمولاً از طریق ریاضی نمی‌توان مقادیر را به درستی تعیین کرد. برای به دست آوردن این رابطه‌ها از منحنی‌هایی، که بیان‌کننده‌ی روابط بین جریان‌ها و ولتاژها (با توجه به آرایش ترانزیستور) است استفاده می‌شود. این منحنی‌ها عبارت‌اند از:

الف) منحنی مشخصه‌ی ورودی

ب) منحنی مشخصه‌ی انتقالی

ج) منحنی مشخصه‌ی خروجی

در یک ترانزیستور، منحنی‌های مشخصه‌ی دیگری نیز وجود دارند که بعداً مورد بحث قرار می‌گیرند. در ادامه‌ی بحث، راجع به هر یک از سه منحنی ذکر شده در

۵-۸ الگوی پرسش:

۵-۸-۱ انواع ترانزیستورها را از نظر ساختار کریستالی

نام ببرید.

۵-۸-۲ برتری‌های استفاده از ترانزیستور به جای

لامپ را نام ببرید.

۵-۸-۳ ساختمان ترانزیستور را توضیح دهید.

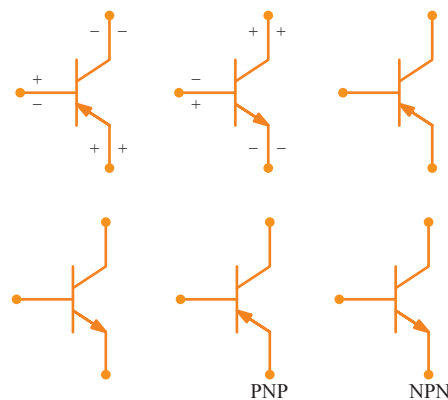
۵-۸-۴ بایاس ترانزیستور را شرح دهید.

۵-۸-۵ شمای مداری و معادل دیودی ترانزیستور

NPN و PNP را رسم کنید.

۵-۸-۶ پایه‌ها و جهت قراردادی جریان و ولتاژهای

ترانزیستورهای شکل ۵-۲۱ را تعیین کنید.



شکل ۵-۲۱ شکل مربوط به سؤال ۶

۵-۸-۷ با شکل ساده سه نوع آرایش ترانزیستور

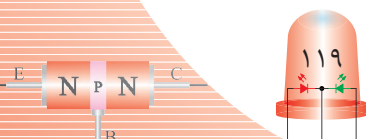
را رسم کنید و روی شکل ورودی و خروجی آن را مشخص کنید.

۵-۸-۸ با توجه به شکل ۵-۲۲ V_{CE} و I_B را محاسبه

کنید.

$$V_{CB} = 6/3V$$

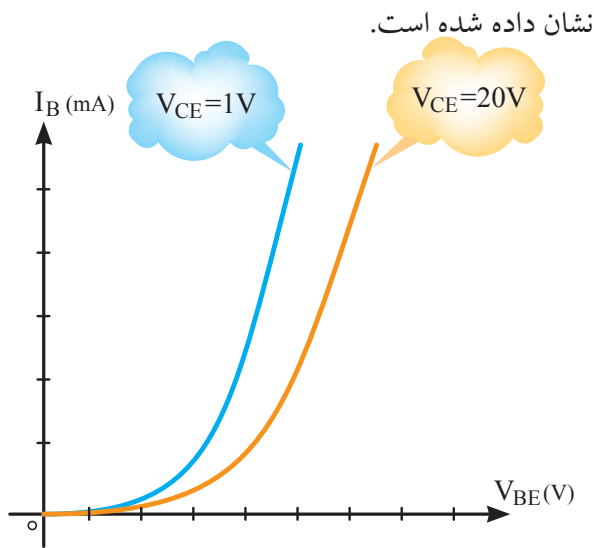
$$V_{BE} = 0/7V$$



آرایش امیتر مشترک توضیحاتی داده خواهد شد.

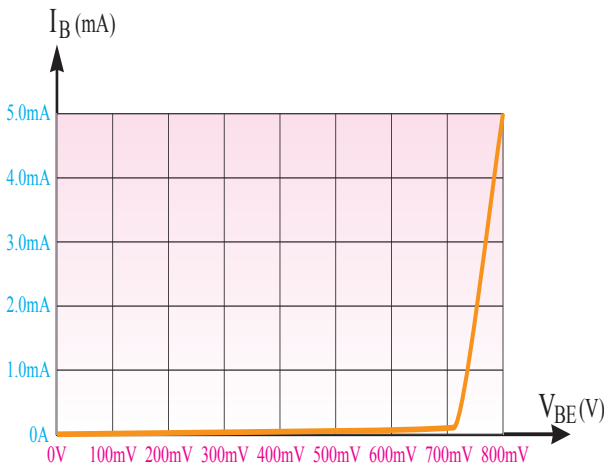
۵-۹-۱ منحنی مشخصه ورودی: منحنی

مشخصه ورودی ترانزیستور، بیان کننده مقدار جریان ورودی، بر حسب ولتاژ ورودی است. همان طوری که مدار ورودی شبیه یک دیود است منحنی مشخصه آن نیز شبیه منحنی مشخصه ولت-آمپر دیود معمولی است. شکل ۵-۲۳، منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور AC ۱۲۷ را نشان می دهد.



شکل ۵-۲۴ منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور به ازای مقادیر مختلف V_{CE}

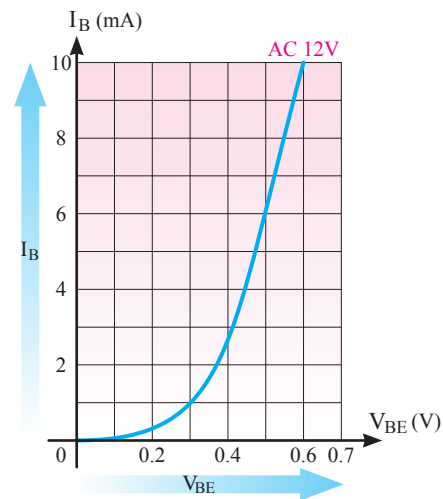
در شکل ۵-۲۵، منحنی مشخصه ورودی ترانزیستوری از جنس سیلیسیم رسم شده است.



شکل ۵-۲۵ منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور از جنس سیلیسیم

۵-۹-۲ منحنی مشخصه انتقالی: منحنی مشخصه

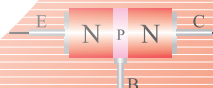
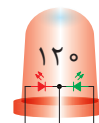
انتقالی، رابطه ی بین جریان ورودی و خروجی ترانزیستور را به ازای مقادیر ثابت V_{CE} نشان می دهد، شکل ۵-۲۶، منحنی مشخصه انتقالی ترانزیستور BC۱۰۷ را به ازای $V_{CE} = 5V$ نشان می دهد.



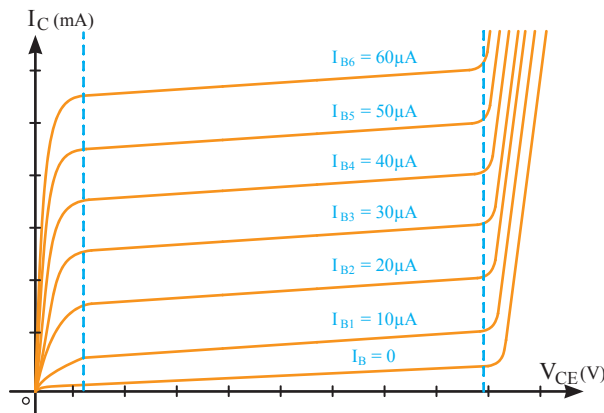
شکل ۵-۲۳ منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور

این ترانزیستور از جنس ژرمانیم است، به همین دلیل، جریان بیس آن نیز نسبتاً زیاد است.

باید توجه داشت که منحنی مشخصه ورودی به ازای یک ولتاژ معین V_{CE} رسم می شود. اگر V_{CE} تغییر کند، منحنی نیز کمی تغییر می کند. البته این تغییرات بسیار جزئی است و در اکثر موارد می توان از آن صرف نظر کرد. مقدار ولتاژ V_{CE} را، که به ازای آن منحنی مشخصه ورودی رسم شده است، کارخانه سازنده مشخص می نماید. در شکل ۵-۲۴، منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور به ازای $V_{CE} = 1V$ و $V_{CE} = 20V$



(تقریباً تمام کارخانه‌های سازنده‌ی ترانزیستور، منحنی مشخصه‌ی ترانزیستور را در حالت آمیتر مشترک ارائه می‌دهند). شکل ۲۷-۵، منحنی مشخصه‌های خروجی ترانزیستور را به ازای جریان‌های I_B ثابت، نشان می‌دهد.



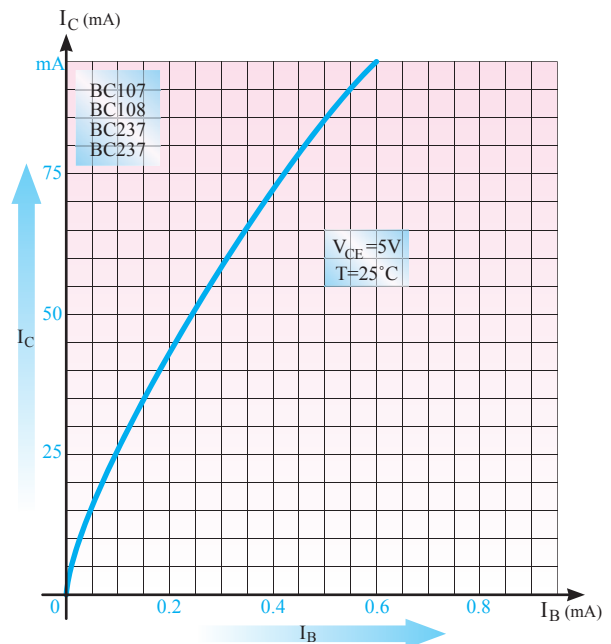
شکل ۲۷-۵ منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور

مقدار جریان خروجی I_C تابع دو عامل I_B و V_{CE} است. یعنی با کم و زیاد شدن I_B جریان خروجی I_C نیز کم یا زیاد می‌شود. این مطلب در مورد V_{CE} نیز صادق است، لیکن تأثیر تغییرات V_{CE} بر I_C ناچیز و در مواردی غیر قابل توجه است. از طرفی جریان I_B هم به V_{BE} بستگی دارد. منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور، شامل سه ناحیه‌ی قطع، فعال و اشباع است.

الف) ناحیه‌ی قطع (Cut off): ناحیه‌ای است که

جریان بیس، صفر و ترانزیستور هنوز به آستانه‌ی هدایت نرسیده است. لذا دارای مشخصات زیر است:

$$\left. \begin{array}{l} I_B = 0 \\ I_C = 0 \\ V_{CE} \approx V_{CC} \end{array} \right\} \text{ناحیه‌ی قطع}$$



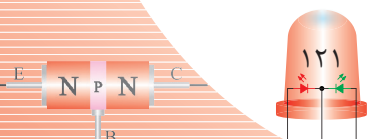
شکل ۲۶-۵ منحنی مشخصه‌ی انتقالی ترانزیستور

چون ضریب تقویت جریان، برابر نسبت جریان خروجی به جریان ورودی است، لذا از این منحنی می‌توان ضریب تقویت جریان را به دست آورد. ضریب تقویت جریان را با β نشان می‌دهند. مقدار β بستگی به مشخصات فیزیکی و ساخت ترانزیستور دارد.

$$\beta_{DC} = \frac{\text{جریان خروجی}}{\text{جریان ورودی}} = \frac{I_C}{I_B}$$

۳-۹-۵ منحنی مشخصه‌ی خروجی: منحنی

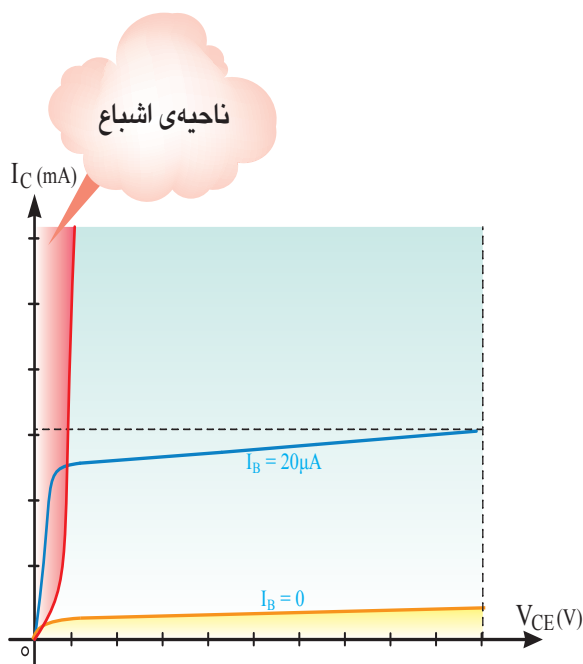
مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور، رابطه‌ی بین جریان و ولتاژ خروجی به ازای جریان ورودی معین را نشان می‌دهد. اگر تقویت کننده آمیتر مشترک باشد (تقویت کننده‌ی آمیتر مشترک بعداً توضیح داده خواهد شد) جریان ورودی I_B ، جریان خروجی I_C و ولتاژ خروجی V_{CE} خواهد بود.



ج) ناحیه اشباع (Saturation): ناحیه‌ای است که ترانزیستور در حال هدایت است، ولی با تغییر جزئی V_{CE} (کسری از ولت) تغییرات بسیار زیادی در جریان کلکتور مشاهده می‌شود. لذا دارای مشخصات زیر است.

ناحیه اشباع	$I_B \neq 0$	تقریباً حداکثر
	$I_C \neq 0$	تقریباً حداکثر
	$V_{CE} \neq 0$	تقریباً حداقل
	$V_{CE} \cong 0/2V$	

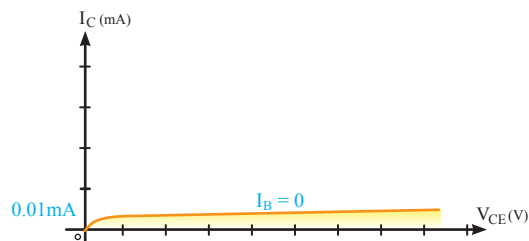
در شکل ۵-۳۰ ناحیه اشباع روی منحنی مشخصه، خروجی نشان داده شده است.



شکل ۵-۳۰ ناحیه اشباع در منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور

در شکل (۵-۳۱) منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور را، که سه ناحیه کار ترانزیستور روی آن مشخص شده است مشاهده می‌کنید.

شکل ۵-۲۸ ناحیه قطع را روی منحنی مشخصه خروجی نشان می‌دهد.

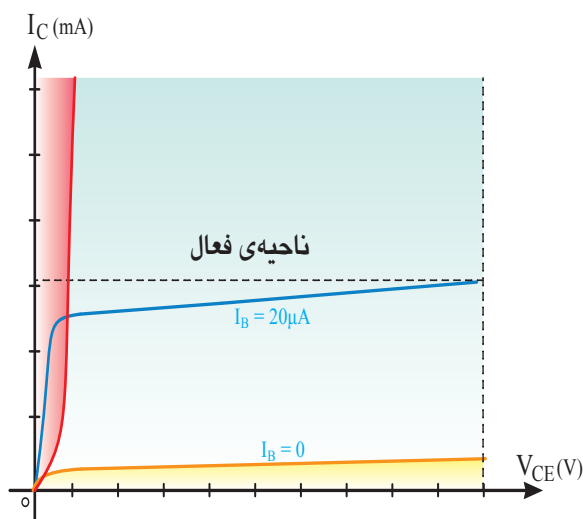


شکل ۵-۲۸ ناحیه قطع ترانزیستور

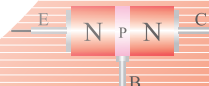
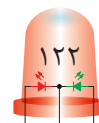
ب) ناحیه فعال (Active): در این ناحیه، ترانزیستور در حال هدایت است و با تغییرات زیاد V_{CE} تغییرات جریان کلکتور کم است. (ثابت I_B). لذا این ناحیه دارای مشخصات زیر است:

ناحیه فعال	$I_B \neq 0$	
	$I_C \neq 0$	
	$V_{CE} \neq 0$	

شکل ۵-۲۹، ناحیه فعال را در روی منحنی مشخصه نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲۹ ناحیه فعال روی منحنی مشخصه خروجی



آیا می‌دانید که:

خوش بینی و مثبت اندیشی باعث سهولت و تسریع در انجام کارها می‌شود. پس سعی کنیم که همیشه مثبت اندیش و خوش فکر باشیم.

۵-۱۰ الگوی پرسش

۵-۱۰-۱ روابط بین جریان‌ها و ولتاژها و تغییرات آنها

در ترانزیستور به چه عواملی بستگی دارد؟ نام ببرید.

۵-۱۰-۲ منحنی‌های مشخصه ترانزیستور را نام

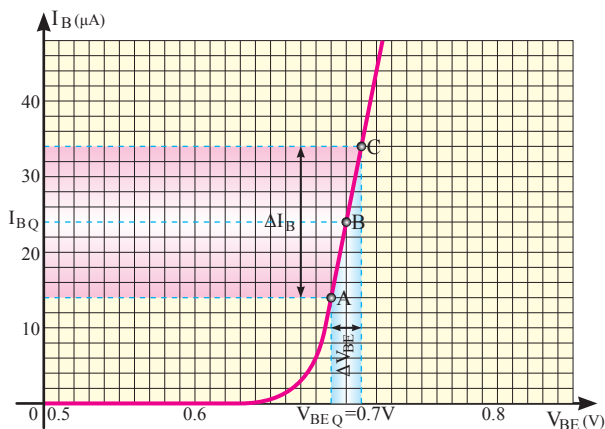
ببرید. این منحنی‌های مشخصه معمولاً در چه آرایشی

توسط کارخانه‌ی سازنده رسم می‌شوند؟

۵-۱۰-۳ با توجه به منحنی مشخصه ورودی

شکل ۵-۳۳ I_B و V_{BE} را در سه نقطه A، B و C

محاسبه کنید.

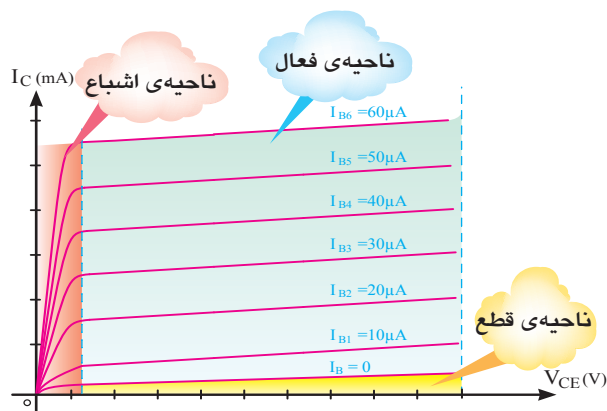


شکل ۵-۳۳ منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور

۵-۱۰-۴ ناحیه فعال و قطع را تعریف کنید و

مشخصات نقطه‌ی کار را در این ناحیه‌ها بنویسید.

۵-۱۰-۵ به ازای $V_{BE} = 0.2V$ و $V_{BE} = 0.4V$



شکل ۵-۳۱ منحنی مشخصه خروجی و سه ناحیه کار

کارخانه‌های سازنده قطعات الکترونیکی، معمولاً

منحنی مشخصه خروجی را به ازای چندین مقدار I_B

در اختیار مصرف کنندگان قرار می‌دهند. شکل ۵-۳۲

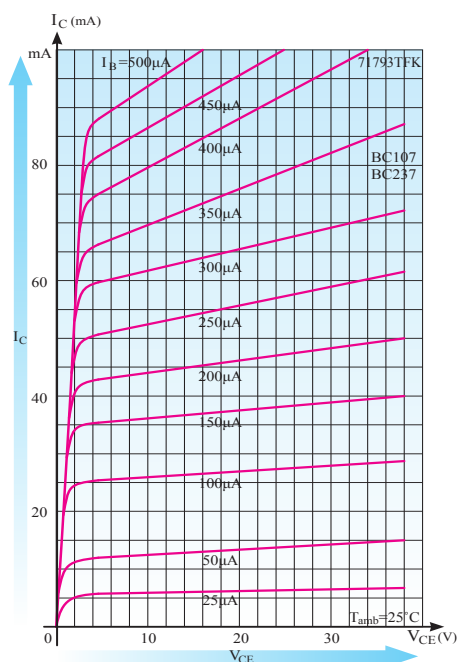
منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور BC 107 را

به ازای چندین I_B مختلف نشان می‌دهد. ترانزیستور

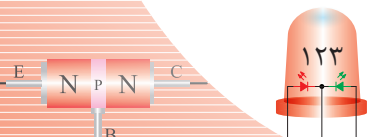
BC 107 یک ترانزیستور معمولی و برای کاربرد

عمومی است که به سادگی می‌توان سایر ترانزیستورها را

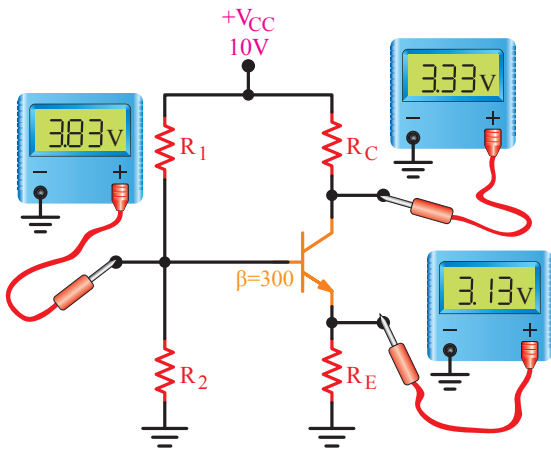
جای‌گزین آن کرد.



شکل ۵-۳۲ منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور BC 107

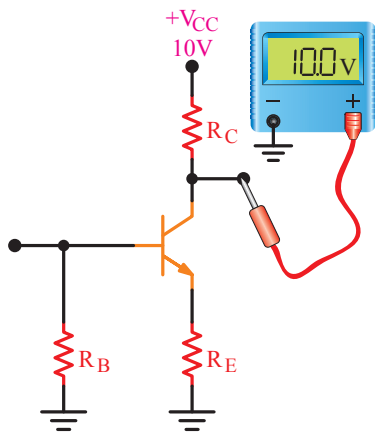


ولت و با توجه به شکل ۵-۳۴، β_{DC} را در هر حالت محاسبه کنید.



شکل ۵-۳۶ ولتاژ پایه‌های یک نمونه تقویت کننده بایاس سرخود

۵-۱۰-۸ با توجه به مقدار ولتاژ نشان داده شده در شکل ۵-۳۷ ناحیه‌ی کار ترانزیستور را مشخص کنید.



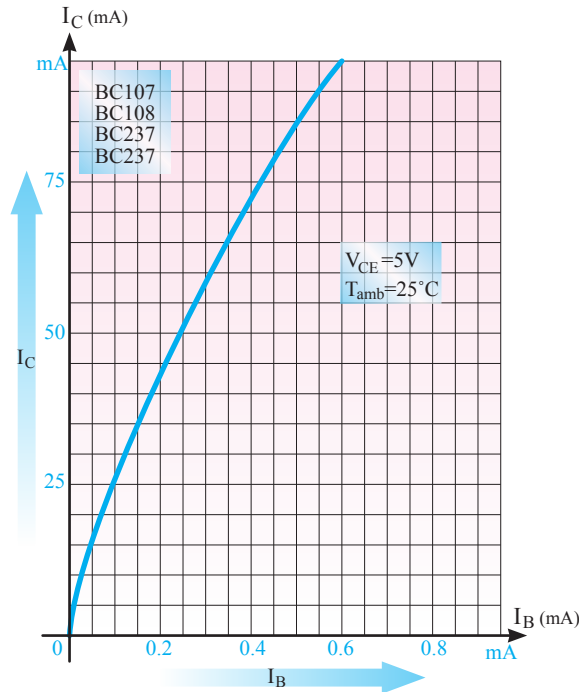
شکل ۵-۳۷ تعیین ناحیه‌ی کار ترانزیستور

۵-۱۱ نقطه‌ی کار و خط بار

۵-۱۱-۱ نقطه‌ی کار

الف) تعریف نقطه‌ی کار: به مقادیر dc

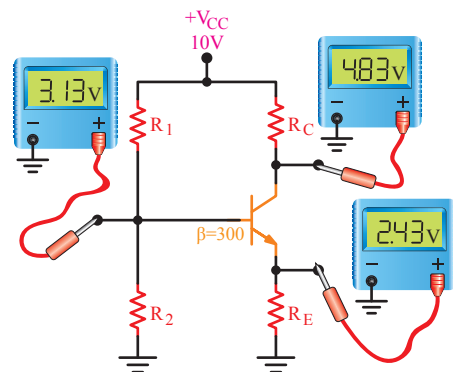
کمیت‌های V_{BE} ، V_{CE} ، I_B ، I_C در شرایطی که هیچ منبع سیگنال AC به ورودی آن متصل نباشد، نقطه‌ی کار DC ترانزیستور گویند. شکل ۵-۳۸ نقطه‌ی کار را روی منحنی مشخصه‌ی ورودی نشان می‌دهد.



شکل ۵-۳۴ منحنی مشخصه‌ی انتقالی ترانزیستور

۵-۱۰-۶ با توجه به مقادیر نشان داده شده در شکل

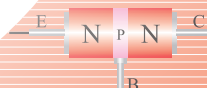
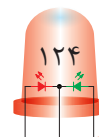
۵-۳۵، V_{CE} و V_{BE} را محاسبه کنید. سپس ناحیه‌ی کار ترانزیستور را مشخص کنید.



شکل ۵-۳۵ ولتاژ پایه‌های یک نمونه تقویت کننده بایاس سرخود

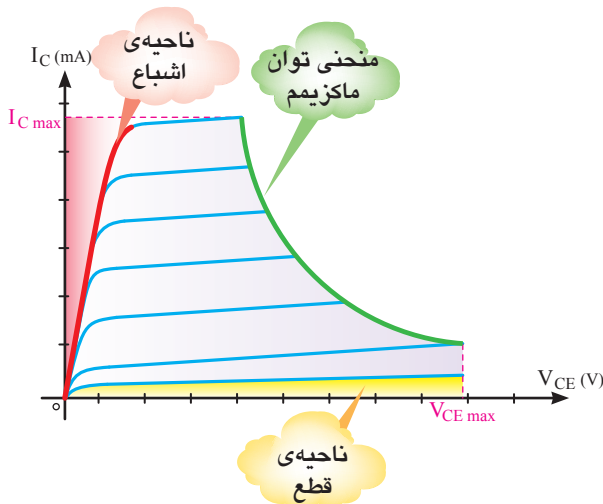
۵-۱۰-۷ با توجه به مقادیر نشان داده شده در شکل

۵-۳۶، V_{BE} ، V_{CE} و V_{CB} را محاسبه کنید. ناحیه‌ی کار

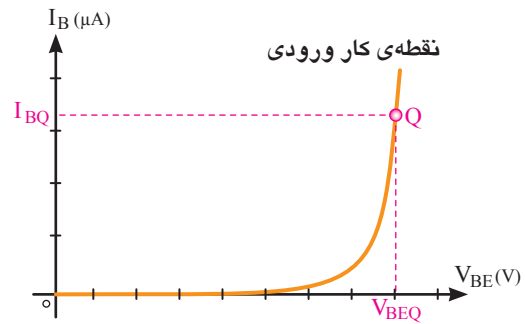


آن صرف نظر می کنند.

نقطه‌ی کار باید در محلی قرار گیرد که حاصل ضرب $V_{CE} \cdot I_C$ با ماکزیمم توان قابل تحمّل ترانزیستور مساوی یا کم‌تر باشد. رسم مشخصه‌ی $V_{CE} \cdot I_C$ در شکل ۵-۴۰ آمده است. هم‌چنین، محل نقطه‌ی کار نباید در محل $I_B = 0$ (منطقه‌ی قطع) باشد (منطقه‌ی قطع منطقه‌ای است که جریان ورودی ترانزیستور برابر صفر است). در ضمن نقطه‌ی کار باید در محلی قرار گیرد که بتواند سیگنال را از دو طرف به یک اندازه تقویت کند. شکل ۵-۴۰، منطقه‌ی قطع، اشباع و منحنی توان ماکزیمم را نشان می‌دهد.

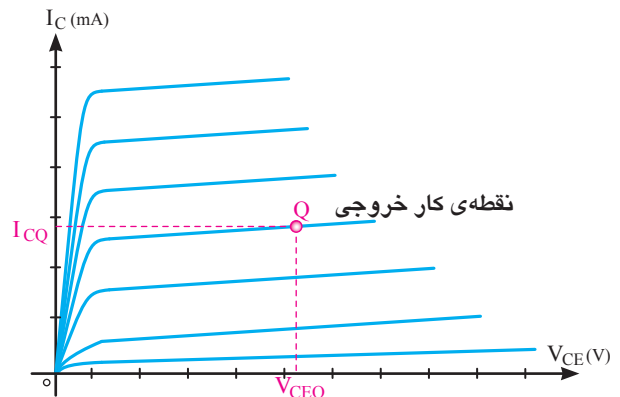


شکل ۵-۴۰ منحنی توان ماکزیمم روی منحنی مشخصه‌ی خروجی



شکل ۵-۳۸ نقطه‌ی کار ورودی روی منحنی مشخصه‌ی ورودی

در شکل ۵-۳۹ نقطه‌ی کار روی منحنی مشخصه‌ی خروجی نشان داده شده است.



شکل ۵-۳۹ نقطه‌ی کار خروجی روی منحنی مشخصه‌ی خروجی

نقطه‌ی کار را با حرف Q نشان می‌دهند. Q حرف اول کلمه‌ی Quicent Point به مفهوم نقطه کار است.

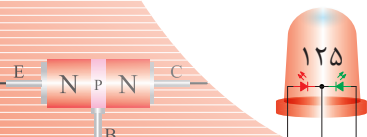
(ب) انتخاب نقطه‌ی کار: برای انتخاب نقطه‌ی کار،

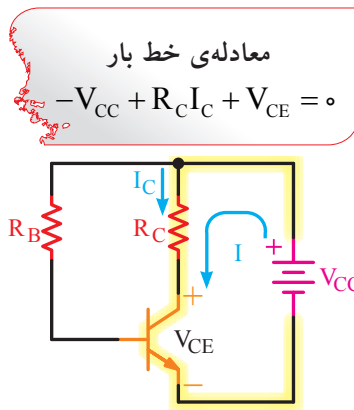
ابتدا باید محدودیت‌های ترانزیستور را در نظر گرفت. از جمله محدودیت‌ها، تحمّل توان تلف شده در ترانزیستور، حداکثر جریان کلکتور و حداکثر ولتاژ بین کلکتور و امیتر است. که در آخر این فصل راجع به مقادیر ماکزیمم توضیحاتی داده خواهد شد. نظر به این که تلفات توان توسط ترانزیستور برابر $P_T = V_{CE} \cdot I_C + V_{BE} \cdot I_B$ است، یادآور می‌شود که مقدار $V_{BE} \cdot I_B$ کم است و معمولاً از

اجرای کار نرم افزاری



منحنی خروجی را با استفاده از نرم‌افزار مولتی سیم برای هنجرویان شبیه سازی کنید و به نمایش در آورید.





شکل ۵-۴۲ تقویت کننده ترانزیستوری

در معادله‌ی فوق R_C و V_{CC} ثابت ولی I_C و V_{CE} متغیر هستند. لذا برای به دست آوردن حداقل دو نقطه از خط بار، یک بار I_C را برابر صفر فرض می‌کنیم و در معادله‌ی خروجی قرار می‌دهیم و V_{CE} را به دست می‌آوریم (نقطه A) و بار دیگر V_{CE} را برابر صفر فرض می‌کنیم و در معادله‌ی خروجی قرار می‌دهیم و I_C را به دست می‌آوریم (نقطه B)، سپس نقاط A و B را به هم وصل می‌کنیم تا خط بار به دست آید. در شکل ۵-۴۳، خط بار را که روی منحنی مشخصه‌ی خروجی رسم شده است، مشاهده می‌کنید.

نقطه‌ی A

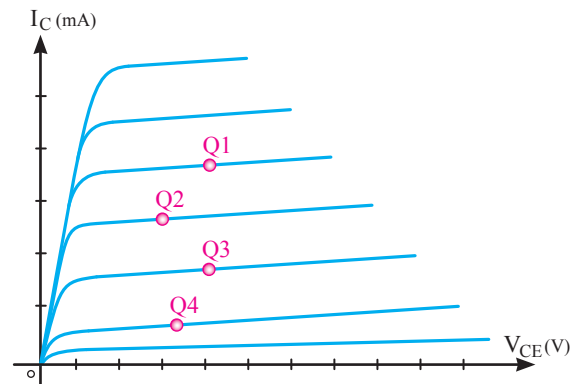
$$\left| \begin{array}{l} I_C = 0 \\ -V_{CC} + 0 \times R_C + V_{CE} = 0 \\ V_{CE} = V_{CC} \end{array} \right.$$

نقطه‌ی B

$$\left| \begin{array}{l} V_{CE} = 0 \\ -V_{CC} + I_C R_C + 0 = 0 \\ I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} \end{array} \right.$$

۲-۱۱-۵ خط بار: بر روی منحنی مشخصه‌ی خروجی

ترانزیستور، می‌توان نقاط زیادی را به عنوان نقطه‌ی کار انتخاب نمود. شکل ۵-۴۱ نقاط کار مختلفی را روی منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور نشان می‌دهد.

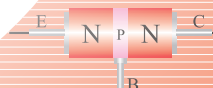
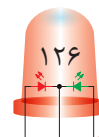


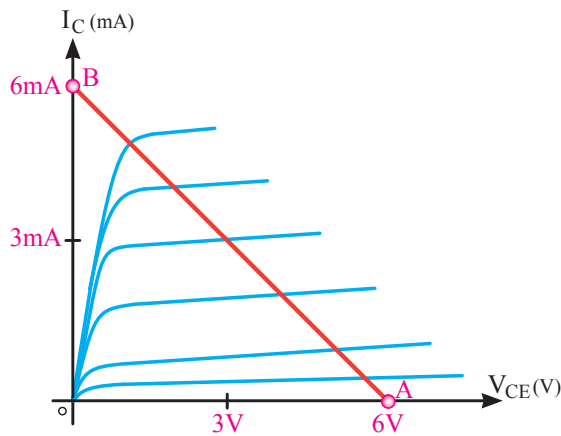
شکل ۵-۴۱ بر روی منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور، نقاط زیادی را می‌توان به عنوان نقطه‌ی کار انتخاب کرد

این نقاط کار روی خط راست قرار ندارند و با تغییر ولتاژ منبع یا R_B یا R_C به دست آمده‌اند. اگر چند نقطه‌ی کار را به صورتی پیدا کنیم که در آن‌ها ولتاژ منبع تغذیه و مقاومت R_C ثابت مانده باشد، ملاحظه خواهیم کرد که نقاط مذکور روی یک خط مستقیم قرار خواهند گرفت، که به آن خط بار ترانزیستور می‌گویند. به تعبیر دیگر خط بار مکان هندسی نقاط کار مختلف است که در آن نقاط، مقادیر V_{CC} و R_C ثابت بماند.

۳-۱۱-۵ معادله‌ی خط بار و نحوه‌ی رسم آن:

برای رسم خط بار ابتدا باید معادله آن را نوشت. برای این منظور، با توجه به جهت جریان و جهت گردش در حلقه‌ی خروجی از یک نقطه (مثلاً قطب منفی منبع تغذیه) در مدار شکل ۵-۴۲ معادله‌ی KVL را می‌نویسیم. به این طریق:





شکل ۵-۴۴ رسم خط بار روی منحنی مشخصه‌ی خروجی

۵-۲ الگوی پرسش

۵-۱۲-۱ نقطه‌ی کار DC را تعریف کنید.

۵-۱۲-۲ برای انتخاب نقطه‌ی کار چه محدودیت‌هایی

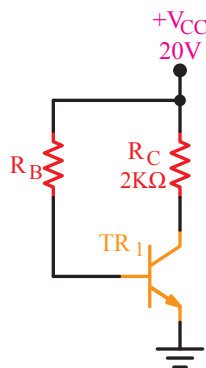
را در ترانزیستور باید در نظر گرفت؟

۵-۱۲-۳ محل مناسب نقطه‌ی کار در روی منحنی

مشخصه‌ی خروجی کجا است؟ شرح دهید.

۵-۱۲-۴ خط بار DC را تعریف کنید.

۵-۱۲-۵ با توجه به شکل ۵-۴۵

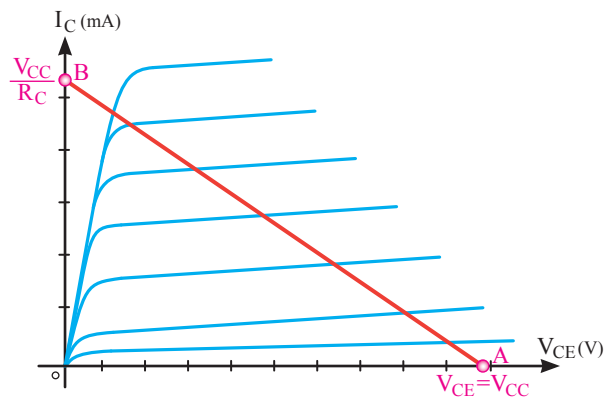


شکل ۵-۴۵ تقویت کننده‌ی ترانزیستوری

(الف) معادله خط بار را بنویسید.

(ب) خط بار را در محورهای مختصات رسم کنید.

۵-۱۲-۶ با توجه به تقویت کننده‌ی شکل ۵-۴۶،



شکل ۵-۴۳ نحوه‌ی ترسیم خط بار

مثال ۵-۱، در صورتی که در مدار شکل ۵-۴۲،

$R_C = 1K\Omega$ و $V_{CC} = 6V$ باشد، خط بار آن را روی

منحنی مشخصه‌ی شکل ۵-۴۴ رسم کنید.

حل: ابتدا معادله‌ی KVL حلقه‌ی خروجی را

می‌نویسیم. برای نقطه A با فرض $I_C = 0$ ، مقدار V_{CE}

را به دست می‌آوریم. برای نقطه‌ی B با توجه به معادله‌ی

KVL حلقه‌ی خروجی و فرض $V_{CE} = 0$ ، مقدار I_C را به

دست می‌آوریم.

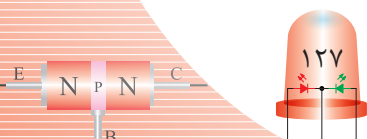
اکنون مقادیر محاسبه شده برای A و B را روی منحنی

مشخصه‌ی خروجی شکل ۵-۴۴ جدا می‌کنیم. با اتصال

A و B خط بار خواسته شده به دست می‌آید.

نقطه‌ی A	$-V_{CC} + I_C R_C + V_{CE} = 0$
	$I_C = 0$
	$-6 + 1K\Omega \times 0 + V_{CE} = 0$
	$V_{CE} = 6V$

نقطه‌ی B	$-V_{CC} + I_C R_C + V_{CE} = 0$
	$V_{CE} = 0$
	$-6 + 1K\Omega \times I_C + 0 = 0$
	$I_C = \frac{6V}{1K\Omega} = 6mA$

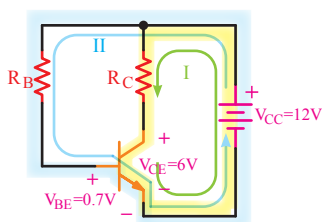


متعدد امکان‌پذیر نیست. برای تأمین ولتاژهای مورد نیاز قسمت‌های مختلف یک تقویت کننده به کمک فقط یک منبع تغذیه، باید از تقسیم کننده‌های مقاومتی اهمی استفاده کرد. برای این منظور مقاومت‌های اهمی را با قسمت‌های مختلف تقویت کننده سری می‌کنند و با ایجاد افت ولتاژ کافی، ولتاژ و جریان‌های DC مورد نیاز را به دست می‌آورند.

لازم است یادآوری شود که در انتخاب مقاومت‌ها، هدف‌های دیگری نیز از جمله تعیین ضریب بهره، امپدانس ورودی، امپدانس خروجی و... در نظر گرفته می‌شود.

برای این که دریابیم، چگونه می‌توان با مقاومت‌های اهمی، افت ولتاژهای لازم را ایجاد نمود، به مثال ساده زیر توجه کنید:

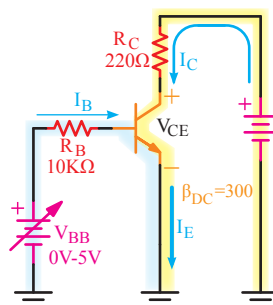
مثال ۲-۵: اگر بخواهیم مقدار ولتاژ V_{CE} در یک ترانزیستور، ۶ ولت و مقدار V_{BE} برابر ۰/۷ ولت و مقدار $I_C = ۱\text{mA}$ و مقدار $I_B = ۰/۱\text{mA}$ باشد، مقدار مقاومت‌هایی را که باید با ترانزیستور سری شوند، به دست آورید. (مدار شکل ۵-۴۸) ولتاژ منبع تغذیه ۱۲ ولت است.



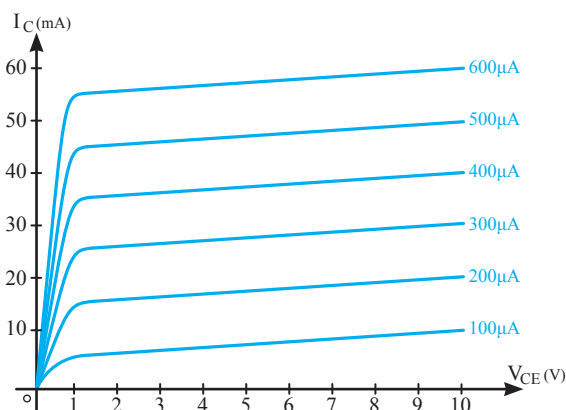
شکل ۵-۴۸ مدار تقویت کننده‌ی ترانزیستوری

حل: در مدار شکل ۵-۴۸ اگر بخواهیم $V_{CE} = ۶\text{V}$ بشود، باید مقدار ۶ ولت ولتاژ دو سر مقاومت R_C افت

معادله‌ی خط بار را بنویسید و خط بار را روی منحنی مشخصه‌ی خروجی شکل ۵-۴۷ رسم کنید. نقطه‌ی کار را در وسط خط بار مشخص کنید و مختصات نقطه‌ی کار را بنویسید. $V_{BE} = ۰/۷$ ولت است.



شکل ۵-۴۶ تقویت کننده‌ی ترانزیستوری

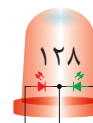


شکل ۵-۴۷ منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور

۵-۱۳ تأمین ولتاژها و جریان‌های مورد نیاز

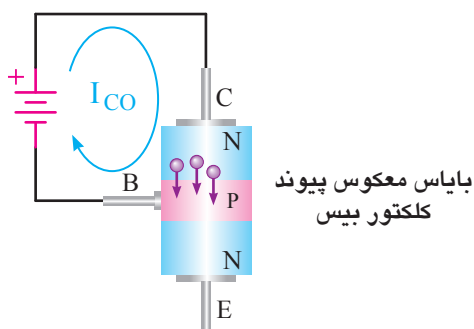
ترانزیستور

مقدار ولتاژی که باید به قسمت‌های مختلف ترانزیستور یا مدارات ترانزیستوری اعمال شود یک اندازه نیست. مثلاً ولتاژی که باید بین بیس و امیتر قرار گیرد، حدود ۰/۶۵ V و مقدار ولتاژی که بین کلکتور و امیتر باید قرار گیرد حدود نصف ولتاژ منبع تغذیه است و... بنابراین، مشاهده می‌شود که در یک مدار ترانزیستوری، به تعداد زیادی منبع تغذیه با ولتاژهای مختلف نیاز است. تأمین این همه ولتاژهای مختلف از طریق منابع تغذیه



۱۴-۵ تأثیر درجه‌ی حرارت در ترانزیستور:

افزایش درجه‌ی حرارت، بیش‌تر بر روی جریان معکوس کلکتور بیس، نسبت به جریان‌های دیگر، اثر می‌گذارد. مطابق شکل ۴۹-۵، با توجه به این که بیس - کلکتور در بایاس مخالف قرار دارد، جریان بسیار ضعیفی، که عامل آن حامل‌های اقلیت (حفره‌ها) هستند، از کلکتور به طرف بیس جاری می‌شود. این جریان را جریان قطع کلکتور می‌نامند و با I_{CO} نمایش می‌دهند.



شکل ۴۹-۵ نمایش جریان I_{CO}

۱۵-۵ تغذیه‌ی ترانزیستور

از ترانزیستور، در صورتی می‌توان به صورت یک تقویت کننده استفاده کرد که ولتاژهای لازم به پایه‌های آن برسد و ترانزیستور را در حالت هدایت قرار دهد. انواع بایاسینگ (تغذیه) که ترانزیستور را در ناحیه هدایت قرار می‌دهد پنج نوع است که به شرح هر یک می‌پردازیم.

۱-۱۵-۵ بایاس با دو منبع مستقل V_{CC} و V_{BB} :

اگر بخواهیم ترانزیستور در نقطه‌ی کار Q کار کند، باید، مطابق شکل ۵۰-۵ یک منبع ولتاژ بین بیس امیتر و منبع دیگری بین کلکتور و امیتر قرار دهیم. منبع V_{BB} دیود بیس امیتر را در بایاس موافق و منبع V_{CC} دیود کلکتور بیس را در بایاس معکوس قرار می‌دهد.

کند تا جمع دو ولتاژ برابر ولتاژ منبع تغذیه بشود. بنابراین:

$$U_{RC} = 6V$$

از آن جایی که می‌خواهیم $I_C = 10mA$ بشود، و این جریان از R_C نیز عبور می‌کند لذا مقدار R_C با توجه به جریان عبوری از آن برابر:

$$U_{RC} = R_C \cdot I_C$$

$$R_C = \frac{U_{RC}}{I_C} = \frac{6}{10mA} = 600\Omega$$

طبق قانون ولتاژ کیرشهوف (KVL) می‌توان محاسبات بالا را در حلقه‌ی I شکل ۴۸-۵ به صورت زیر نوشت:

$$\text{معادله‌ی KVL در } -V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = 0$$

$$\text{حلقه‌ی خروجی } -12 + R_C \times 10mA + 6 = 0$$

$$\text{محاسبه‌ی } R_C = \frac{12-6}{10mA} = 600\Omega$$

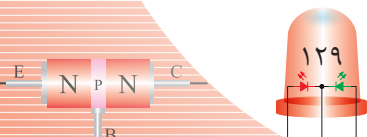
هم‌چنین، طبق قانون ولتاژ کیرشهوف (KVL) می‌توانیم معادله‌ی حلقه‌ی II شکل ۴۸-۵ را بنویسیم و مقدار R_B را نیز محاسبه نماییم.

$$\text{معادله‌ی KVL در } -V_{CC} + R_B I_B + V_{BE} = 0$$

$$\text{حلقه‌ی ورودی } -12 + R_B \times 0.1mA + 0.7 = 0$$

$$\text{محاسبه‌ی } R_B = \frac{12-0.7}{0.1mA} = 113K\Omega$$

بنابراین، با قرار دادن مقاومت‌های با مقادیر به دست آمده، مقدار V_{CE} و V_{BE} و I_B و I_C طبق خواسته‌ی صورت مسئله به دست می‌آید.



$$\text{معلومات} \begin{cases} V_{CC} = 12V \\ V_{BB} = 2V \end{cases}$$

حل: با استفاده از باتری‌ها و ولتاژهای موجود و

نقطه‌ی کار Q، در حلقه‌های شماره‌ی I و II با استفاده از KVL می‌توان نوشت:

$$\begin{aligned} \text{KVL}_{(I)} - V_{CC} + I_C R_C + V_{CE} &= 0 \\ -12 + 5R_C + 6 &= 0 \\ 5R_C = 6 \quad R_C &= 1.2K\Omega \end{aligned}$$

با نوشتن معادله‌ی KVL در حلقه‌ی ورودی می‌توان

R_B را محاسبه نمود.

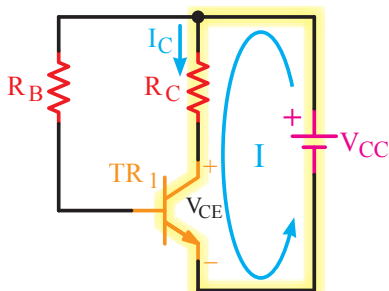
$$\begin{aligned} \text{KVL}_{(II)} - V_{BB} + I_B R_B + V_{BE} &= 0 \\ -2 + 0.1R_B + 0.7 &= 0 \\ 0.1R_B = 1.3 \quad R_B &= 13K\Omega \end{aligned}$$

توجه داشته باشید، اگر جریان بر حسب میلی‌آمپر و ولتاژ بر حسب ولت باشد، مقدار مقاومت، بر حسب کیلو اهم به دست می‌آید.

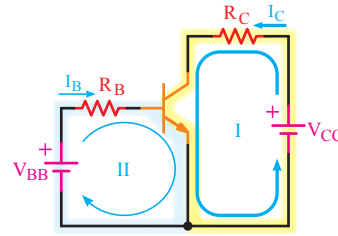
۲-۱۵-۵ بایاس با یک منبع ولتاژ

● **بایاس بیس با یک منبع ولتاژ (Base Bias):**

برای صرفه‌جویی به جای دو باتری تنها از یک باتری V_{CC} استفاده می‌کنیم. این نوع بایاس را بایاس بیس با یک باتری می‌نامند. (شکل ۵۱-۵-الف)



شکل ۵۱-۵-الف بایاس بیس با یک باتری



شکل ۵۰-۵ تغذیه‌ی ترانزیستور با دو منبع مستقل

به منظور کنترل جریان بیس از مقاومت R_B و برای کنترل جریان کلکتور از مقاومت R_C استفاده شده است. با نوشتن KVL در حلقه‌ی I و حلقه‌ی II می‌توان مقدار مقاومت‌های بایاس را محاسبه نمود.

$$\begin{aligned} \text{KVL} \Rightarrow -V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} &= 0 \\ R_C I_C = V_{CC} - V_{CE} \\ R_C &= \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} \end{aligned}$$

با نوشتن معادله‌ی KVL در حلقه‌ی ورودی می‌توان

R_B را محاسبه کرد.

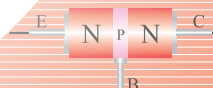
$$\begin{aligned} \text{KVL} \Rightarrow -V_{BB} + R_B I_B + V_{BE} &= 0 \\ R_B I_B = V_{BB} - V_{BE} \Rightarrow R_B &= \frac{V_{BB} - V_{BE}}{I_B} \end{aligned}$$

مثال ۳-۵ برای تقویت کننده‌ی شکل ۵۰-۵

مقاومت‌های بایاس R_B و R_C را طوری محاسبه کنید که نقطه‌ی کار ترانزیستور برابر مشخصات Q شود.

$$\begin{array}{|l} \text{نقطه‌ی کار Q} \\ I_B = 0.1\text{mA} \\ I_C = 5\text{mA} \\ V_{CE} = 6\text{V} \\ V_{BE} = 0.7\text{V} \end{array}$$

مقادیر باتری‌ها برابر است با:



حل:

برای محاسبه R_C ، معادله KVL در حلقه خروجی

نوشته می شود.

معادله KVL در حلقه خروجی

$$\text{KVL (I)} \Rightarrow -V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = 0$$

$$-12 + \Delta R_C + 6 = 0 \quad \text{محاسبه } R_C$$

$$R_C = \frac{12-6}{\Delta} = \frac{6}{\Delta} = 1/2 \text{ K}\Omega$$

$$\text{KVL(I)} \Rightarrow -V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = 0$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C}$$

برای محاسبه R_B معادله KVL را در حلقه II

می نویسیم. (شکل ۵-۵۱ ب)

مشاهده می شود محاسبه R_C با مدار با دو باتری هیچ

تفاوتی ندارد.

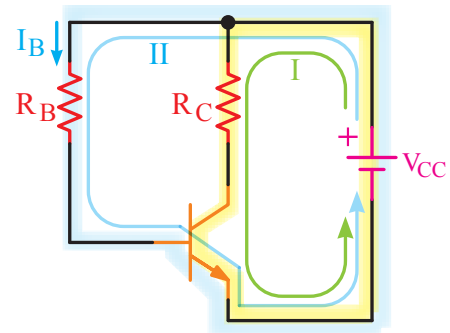
معادله KVL در حلقه ورودی

$$\text{KVL (II)} \Rightarrow -V_{CC} + R_B I_B + V_{BE} = 0$$

$$-12 + R_B \times 0/1 + 0/7 = 0$$

$$0/1 R_B = 12 - 0/7 = 11/3 \quad \text{محاسبه } R_B$$

$$R_B = \frac{11/3}{0/1} = 113 \text{ K}\Omega$$



شکل ۵-۵۱ ب تغذیه بیس با استفاده از یک باتری

با استفاده از یک باتری، مقدار $R_C = 1/2 \text{ K}\Omega$ و

$R_B = 113 \text{ K}\Omega$ به دست آمد که ظاهراً خواسته‌ی ما را از

لحاظ بایاس تأمین می کند، ولی باید توجه داشت که در

این مدار در اثر حرارت، جریان ناخواسته‌ی I_{CO} (جریان

نشتی) در ترانزیستور به وجود می آید. جریان نشتی در

حرارت‌های کم ناچیز است و از آن صرف نظر می شود،

ولی در حرارت‌های بالا I_{CO} به شدت افزایش می یابد و به

ناچار از بیس ترانزیستور عبور می کند. از طرفی، می دانیم

که هر جریانی که وارد بیس شود β برابر آن از کلکتور

می گذرد، لذا جریان نشتی که از کلکتور عبور می کند با

جریان نشتی اولیه به علاوه‌ی جریان نشتی تقویت شده،

برابر است یعنی:

$$\text{KVL(II)} \Rightarrow -V_{CC} + R_B I_B + V_{BE} = 0$$

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

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B}$$

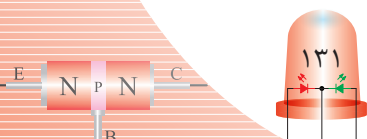
مثال ۵-۴: برای نقطه‌ی کار Q با مختصات:

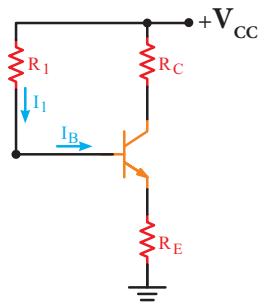
$$Q \begin{cases} I_B = 0/1 \text{ mA} \\ I_C = \Delta \text{ mA} \\ V_{CE} = 6 \text{ V} \\ V_{BE} = 0/7 \end{cases}$$

و با معلوم بودن مقدار V_{CC} برابر ۱۲ ولت،

مقاومت‌های بایاس R_B و R_C را در تقویت کننده‌ی شکل

۵-۵۱ محاسبه کنید.

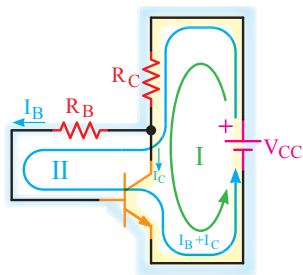




شکل ۵-۵۲ بایاس بافیدبک در امیتر

● بایاس بافیدبک از کلکتور Collector

Feedback Bias: یکی از راه حل‌های مشکل فوق، قرار دادن R_B بین بیس کلکتور است که به این نوع تغذیه، بایاس بافیدبک ولتاژ هم می‌گویند. شکل ۵-۵۳ این نوع بایاس را نشان می‌دهد.



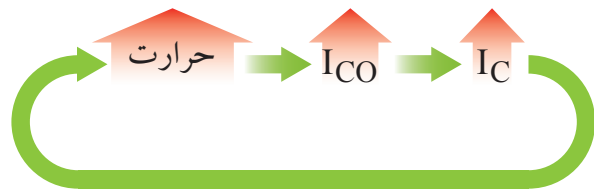
شکل ۵-۵۳ ترانزیستور با بایاس بافیدبک از کلکتور

این مدار، جریان کلکتور را به طور اتوماتیک کنترل می‌کند و از افزایش I_{CO} جلوگیری می‌کند. زیرا همان‌گونه که از رابطه $-V_{CC} + I_E R_C + V_{CE} = 0$ پیداست چون V_{CC} و R_C ثابت هستند، لذا اگر در اثر حرارت I_C افزایش یابد، به ناچار V_{CE} کاهش می‌یابد. با کاهش V_{CE} طبق رابطه $-V_{CE} + I_B R_B + V_{BE} = 0$ چون V_{BE} و R_B ثابت هستند I_B کاهش می‌یابد. بدیهی است که کاهش I_B کاهش I_C را نیز به دنبال دارد. بنابراین مدار به طور اتوماتیک، جریان I_C را در مقابل حرارت ثابت نگه می‌دارد. مطالب فوق را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

در نتیجه، اگر جریان I_C واقعی را بخواهیم، باید جریان نشتی را نیز به آن بیفزاییم.

$$I_C = \beta I_B + (1 + \beta) I_{CO}$$

چنان‌چه برای پیش‌گیری از افزایش I_{CO} اقدامی نشود، ترانزیستور از نقطه‌ی کار Q خارج می‌گردد و ثبات حرارتی نخواهد داشت، زیرا با افزایش درجه‌ی حرارت، I_{CO} زیاد می‌شود. زیاد شدن I_{CO} نیز حرارت اولیه را زیادتر می‌کند. حرارت بیش‌تر، مجدداً I_{CO} را افزایش می‌دهد و همین‌طور این سیکل افزایش I_{CO} و افزایش حرارت، ادامه پیدا می‌کند تا این که ترانزیستور کاملاً از نقطه‌ی کار خارج شده یا می‌سوزد.

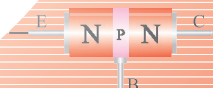
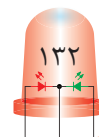


بنابراین، از این نوع بایاس باید در جاهایی که حرارت پایین و ثابت است، استفاده کرد که چون کاملاً امکان‌پذیر نیست باید چاره‌ی دیگری اندیشید.

● بایاس بافیدبک در امیتر Emitter Feedback

Bias: به دلیل تأثیر حرارت در نقطه‌ی کار ترانزیستور، مقاومت R_E را در امیتر ترانزیستور قرار می‌دهند. این نوع بایاس را بایاس بافیدبک در امیتر می‌گویند.

(شکل ۵-۵۲)



حل:

محاسبه‌ی جریان امیتر

$$I_E = I_C + I_B$$

$$I_E = 5 + 0.1 = 5.1 \text{ mA}$$

معادله‌ی KVL در حلقه‌ی خروجی

$$-V_{CC} + R_C I_E + V_{CE} = 0$$

$$R_C (5.1) = 12 - 6$$

محاسبه‌ی R_C

$$R_C = \frac{6}{5.1} = 1.176 \text{ K}\Omega$$

محاسبه‌ی V_{CB}

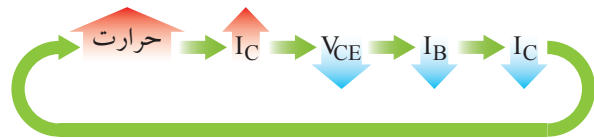
$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE}$$

$$V_{CB} = 6 - 0.7 = 5.3 \text{ V}$$

محاسبه‌ی R_B

$$R_B I_B = V_{CB}$$

$$R_B = \frac{5.3}{0.1} = 53 \text{ K}\Omega$$



محاسبه‌ی مقاومت‌های بایاس R_C و R_B : برای

محاسبه‌ی مقاومت بایاس R_C معادله‌ی KVL را در حلقه‌ی I می‌نویسیم.

$$\text{KVL I} \Rightarrow -V_{CC} + (I_C + I_B)R_C + V_{CE} = 0$$

$$R_C I_E = V_{CC} - V_{CE}$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_E}$$

با نوشتن معادله‌ی KVL در حلقه‌ی II، R_B محاسبه

می‌شود.

$$\text{KVL(II)} \Rightarrow -V_{CC} + R_C I_E + R_B I_B + V_{BE} = 0$$

$$R_B I_B = V_{CC} - V_{BE} - R_C I_E$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE} - R_C I_E}{I_B}$$

می‌توان با معلوم بودن V_{CE} افت پتانسیل V_{CB} را به

دست آورد، سپس R_B را ساده‌تر محاسبه نمود.

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE}, R_B I_B = V_{CB}$$

$$R_B = \frac{V_{CB}}{I_B}$$

مثال ۵-۵: برای نقطه‌ی کار

$$Q \begin{cases} I_B = 0.1 \text{ mA} \\ I_C = 5 \text{ mA} \\ V_{CE} = 6 \text{ V}, V_{BE} = 0.7 \text{ V} \end{cases}$$

و با معلوم بودن مقدار $V_{CC} = 12$ ولت مقادیر R_C و

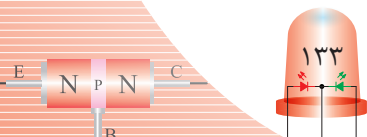
R_B را برای مدار شکل ۵-۵ محاسبه کنید.

۳-۱۵-۵ بایاس با مدار تقسیم ولتاژ مقاومتی:

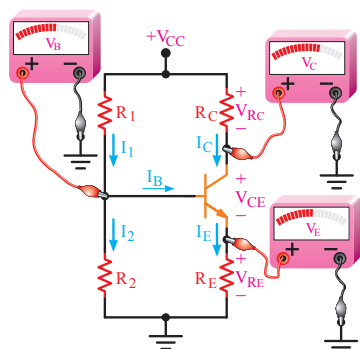
Voltage divider Bias

روش بهتر بایاس و ثبات حرارتی، بایاس با مدار تقسیم کننده ولتاژ مقاومتی است که به آن بایاس سرخود نیز می‌گویند. در این روش (مطابق شکل ۵-۵۴) یک مقاومت (R_E) سر راه امیتر قرار می‌گیرد و بیس، توسط دو مقاومت (R_1 و R_2) به صورت مقسم ولتاژ، تغذیه می‌شود.

مقاومت‌های R_C ، R_E ، R_1 و R_2 را با استفاده از KVL و مفروضاتی که از تجربه به دست آمده است و با معلومات داده شده محاسبه می‌نمایند. در این جا



ترانزیستور در بایاس سرخود نشان داده شده است. با معلوم بودن مقادیر مقاومت‌ها می‌توان به طریق زیر ولتاژ پایه‌ها و جریان پایه‌ها را محاسبه نمود.



شکل ۵-۵۵ مدار بایاس تقسیم کننده ولتاژ مقاومتی

چنانچه از I_B در مقابل I_E صرف نظر شود مقاومت‌های R_1 و R_2 را به صورت سری در نظر می‌گیریم، لذا می‌توانیم بنویسیم:

$$V_B = V_{R_2} = \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

جریانی که از پایه‌ی آمیتر ترانزیستور خارج می‌شود برابر است با:

$$I_E = \frac{V_E}{R_E}$$

با کمی تقریب می‌توان نوشت

$$I_C \cong I_E$$

با معلوم بودن I_C ولتاژ کلکتور ترانزیستور یعنی V_C

از رابطه‌ی

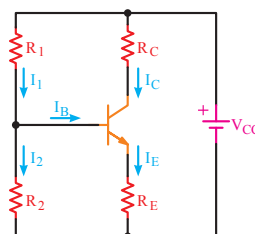
$$V_C = V_{CC} - R_C I_C$$

محاسبه می‌شود.

مثال ۵-۶: در مدار شکل ۵-۵۶ مقادیر V_E ، V_C

و I_C را محاسبه کنید. $V_{BE} = 0.7$ ولت است.

از محاسبات مقاومت‌های بایاس R_C ، R_E و R_1 و R_2 صرف نظر می‌شود، در مورد محاسبه این مقاومت‌ها در آینده به تفصیل بحث خواهد شد.

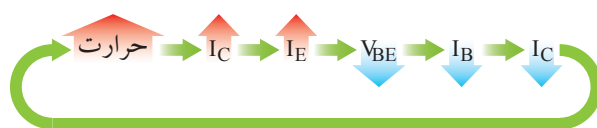


شکل ۵-۵۴ ترانزیستور با بایاس تقسیم کننده ولتاژ مقاومتی یا سرخود

در این مدار نیز جریان کلکتور به طور خودکار، کنترل می‌شود، زیرا داریم:

$$V_{R_2} = V_{BE} + I_E R_E$$

چون R_E و V_{R_2} مقادیر ثابتی هستند با افزایش I_E ، $(I_B + I_C)$ به ناچار V_{BE} کاهش می‌یابد. کاهش V_{BE} کاهش I_B را نیز به دنبال دارد، در نتیجه با کاهش I_B جریان کلکتور (I_C) کاسته می‌شود. سیکل خلاصه شده‌ی مطالب فوق، به صورت زیر است:



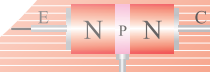
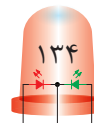
اجرای کار نرم افزاری



یک نمونه مدار بایاس را با نرم افزار شبیه سازی کنید و برای هنرجویان نمایش دهید.

۴-۱۵-۵: نحوه‌ی محاسبه جریان‌ها و ولتاژها در

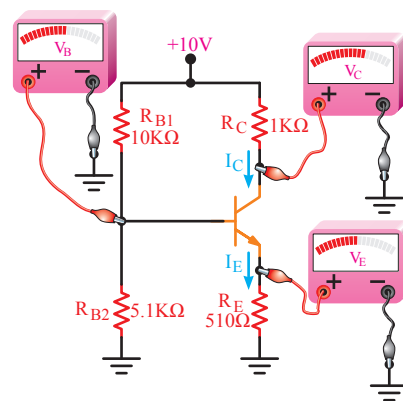
ترانزیستور: در شکل ۵-۵۵ جریان پایه‌ها و ولتاژ پایه‌های



۵-۱۶-۲ عیب بایاس با دو منبع مستقل را توضیح دهید.
 ۵-۱۶-۳ چگونه بایاس بافیدبک از کلکتور، اثر جریان I_{CO} را روی جریان کلکتور کنترل می کند؟ شرح دهید.

۵-۱۶-۴ چگونه جریان کلکتور در بایاس با تقسیم کننده ولتاژ مقاومتی به طور خود کار کنترل می شود. توضیح دهید.

۵-۱۶-۵ با توجه به شکل ۵-۵۷ β_{DC} را محاسبه کنید.



شکل ۵-۵۶ تقویت کننده به صورت بایاس تقسیم کننده ولتاژ مقاومتی

حل:

محاسبه V_B

$$V_B = \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_B = \frac{10 \times 5.1}{10 + 5.1} = 3.37V$$

محاسبه V_E

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

$$V_E = 3.37 - 0.7 = 2.67V$$

محاسبه I_E

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{2.67}{510\Omega}$$

$$I_E = 5.23mA$$

$$I_C = I_E = 5.23mA$$

محاسبه V_C

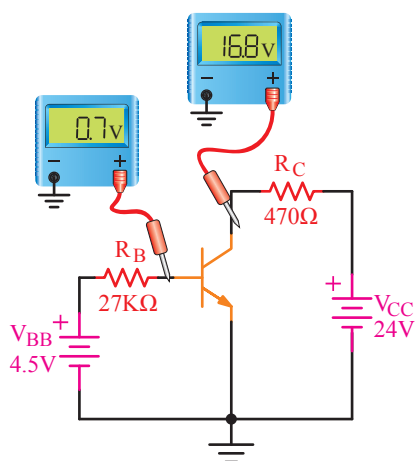
$$V_C = V_{CC} - R_C I_C$$

$$V_C = 10 - (5.23 \times 1) = 4.77V$$

۵-۱۶ الگوی پرسش

۵-۱۶-۱ مدار بایاس با استفاده از دو باتری و یک

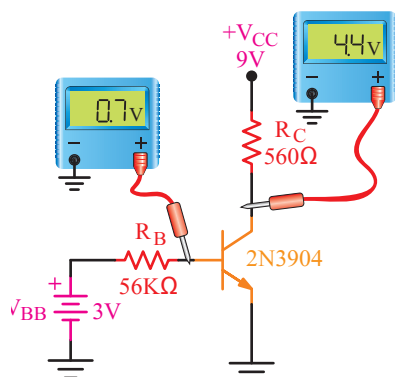
باتری را رسم کنید.



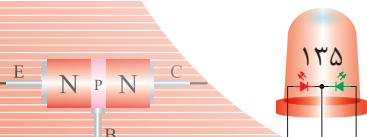
شکل ۵-۵۷ تقویت کننده ترانزیستوری و ولتاژ پایه های آن

۵-۱۶-۶ با توجه به شکل ۵-۵۸، I_B و I_C و β_{DC}

ترانزیستور را محاسبه کنید.



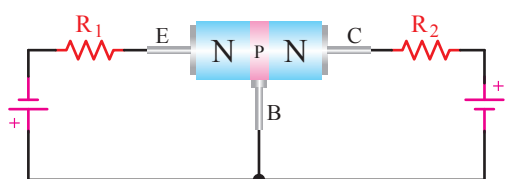
شکل ۵-۵۸ تقویت کننده ترانزیستوری و ولتاژ پایه های آن



۵-۱۷ چگونگی عمل تقویت کنندگی در

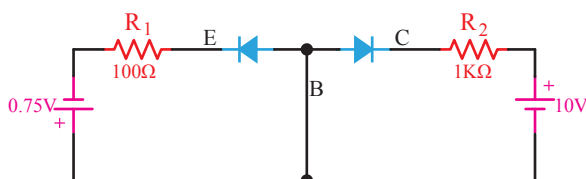
ترانزیستور

برای تقویت یک سیگنال الکتریکی توسط ترانزیستور، باید سیگنال را به ورودی ترانزیستور داد و از خروجی آن، سیگنال تقویت شده را دریافت نمود، در شکل ۵-۶۲، پایه‌ی بیس پایه‌ی مشترک بین ورودی و خروجی و آمیتر - بیس ورودی ترانزیستور و کلکتور - بیس خروجی آن در نظر گرفته شده است. اتصال بیس - آمیتر در بایاس مستقیم و اتصال بیس - کلکتور در بایاس معکوس است.



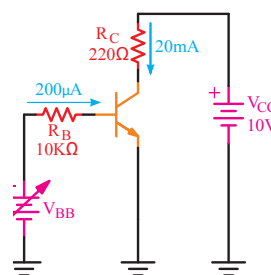
شکل ۵-۶۲ ترانزیستور بایاس شده

نظر به این که اتصال بیس - آمیتر در بایاس مستقیم است، مقاومت آن کم است و اتصال بیس - کلکتور در بایاس معکوس و در نتیجه مقاومت آن زیاد است. حال یک مقاومت، مثلاً ۱۰۰ اهم، را جهت کنترل جریان در ورودی ترانزیستور با اتصال بیس - آمیتر سری می‌نماییم. از آنجایی که اتصال کلکتور - بیس در بایاس معکوس است، سری کردن یک مقاومت زیاد، مثلاً ۱ کیلو اهم، اثر چندانی روی ترانزیستور ندارد. شکل ۵-۶۳ معادل دیودی ترانزیستور را که در حالت DC بایاس شده است، نشان می‌دهد.



شکل ۵-۶۳ DC بایاس ترانزیستور

۵-۱۶-۷ با توجه به شکل ۵-۵۹:



شکل ۵-۵۹ تقویت کننده‌ی ترانزیستوری

الف) مقدار β_{DC} چه قدر است؟

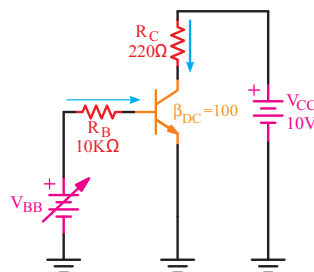
ب) V_{CE} را محاسبه کنید.

ج) مقدار منبع ولتاژ V_{BB} چه قدر است؟ مقدار V_{BE}

برابر ۰/۷ ولت است.

۵-۱۶-۸ اگر $V_{BB} = ۴/۷$ ولت و $V_{BE} = ۰/۷$ ولت

باشد I_B و I_C و V_{CE} را محاسبه کنید. (شکل ۵-۶۰)

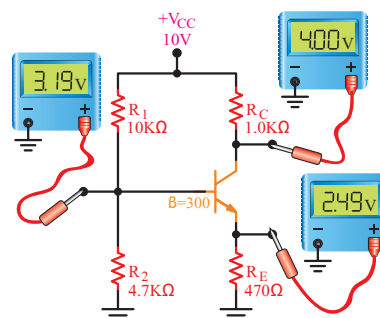


شکل ۵-۶۰ تقویت کننده‌ی ترانزیستوری

۵-۱۶-۹ آیا مقادیری را که ولت‌مترهای شکل ۵-۶۱

نشان می‌دهند صحیح است؟ V_{BE} برابر ۰/۷ ولت است.

ولتاژ نقاط مشخص شده را محاسبه کنید.



شکل ۵-۶۱ تقویت کننده به صورت بایاس تقسیم کننده ولتاژ مقاومتی و ولتاژ پایه‌های آن



دهیم، رابطه و مقدار A_V برابر است با:

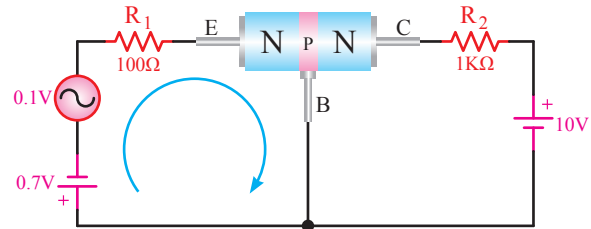
$$A_V = \frac{\text{دامنه‌ی سیگنال خروجی}}{\text{دامنه‌ی سیگنال ورودی}} = \frac{0.83}{0.1} = 8.3$$

پس سیگنال متناوب ورودی 8.3 مرتبه تقویت شده است. با طراحی مدارات ترانزیستوری و با تغییر مقدار مقاومت‌ها می‌توان دامنه‌ی سیگنال خروجی را روی مقدار مورد نظر تنظیم نمود. همان گونه که مشاهده شد، جریانی که از مقاومت R_1 می‌گذرد تقریباً همه‌ی این مقدار جریان از مقاومت R_2 هم عبور می‌کند. این عمل تنها به وسیله‌ی ترانزیستور صورت گرفته است. به این ترتیب، می‌توان گفت ترانزیستور عمل انتقال مقاومت را انجام داده است. نام ترانزیستور هم از همین عمل انتخاب شده است. Transistor از ترکیب دو کلمه‌ی **Transfer of Resistor** انتخاب شده است.

۱-۱۷-۵ بررسی مدار عملی یک تقویت کننده

و نحوه‌ی تقویت سیگنال متناوب: برای این که بتوانیم یک سیگنال الکتریکی را از لحاظ دامنه یا جریان، تقویت نماییم، باید ابتدا تقویت کننده (یکی $AMP=Amplifier$) را از نظر ولتاژ DC (یکی از انواع بایاس) تغذیه نماییم، سپس سیگنال را به ورودی وصل کنیم و از خروجی تقویت کننده، سیگنال تقویت شده را دریافت نماییم. شکل ۶۵-۵

ولتاژ بایاس امیتر - بیس را حدود $0.7V$ (زیرا $0.7V$ ولت، دیود امیتر - بیس را کاملاً هادی می‌سازد.) و ولتاژ کلکتور - بیس را حدود $10V$ ولت انتخاب می‌نماییم. چون دیود کلکتور - بیس در بایاس معکوس است، هیچ گونه اشکالی در مدار به وجود نمی‌آورد. (مطابق شکل ۶۴-۵)

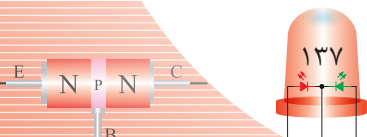


شکل ۶۴-۵ اتصال سیگنال متناوب به مدار

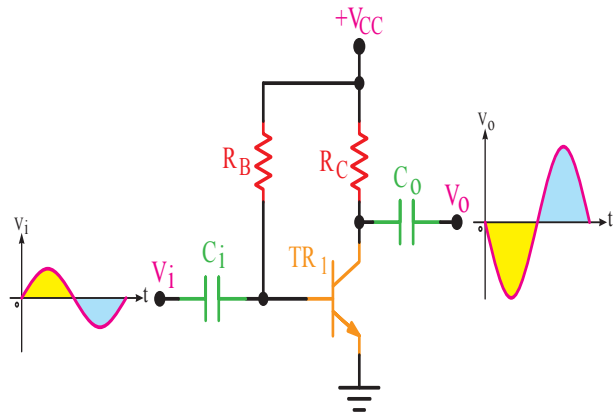
یک سیگنال متناوب با دامنه‌ی مثلاً $0.1V$ ولت را به ورودی ترانزیستور اعمال می‌کنیم. می‌خواهیم ببینیم آیا این سیگنال تقویت خواهد شد یا نه؟ اگر مقاومت دینامیکی دیود امیتر - بیس را به هنگام اعمال سیگنال، معادل 20Ω فرض کنیم در حلقه‌ی ورودی، جریان ناشی از سیگنال متناوب برابر است با:

$$I = \frac{0.1V}{100 + 20} = 0.00083A = 0.83mA$$

همان گونه که بیان شد، قسمت اعظم جریان امیتر از طریق کلکتور مسیر خود را می‌بندد. از این رو، این جریان تقریباً از مقاومت $R_2 = 1K\Omega$ ، که با کلکتور سری شده است، عبور می‌کند و در دو سر مقاومت $1K\Omega$ افت ولتاژ متناوبی با دامنه‌ی $U_R = 0.83mA \times 1K\Omega = 0.83V$ ایجاد می‌کند. افت ولتاژ متناوب دو سر R_2 به مراتب از ولتاژ متناوب ورودی بیش تر است. در نتیجه ولتاژ ورودی تقویت می‌شود. اگر ضریب تقویت ولتاژ را با A_V نشان



مدار یک تقویت کننده ساده را نشان می دهد.



شکل ۵-۶۵ مدار عملی یک تقویت کننده

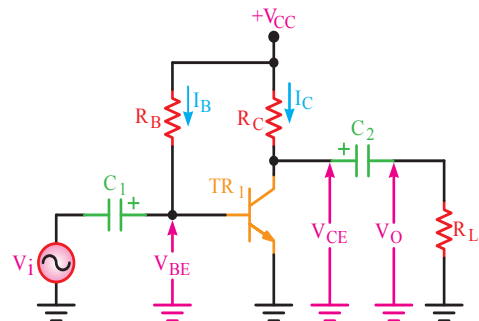
مختصات نقطه‌ی DC تقویت کننده را به صورت

$$Q \begin{cases} V_{CE} \\ V_{BE} \\ I_C \\ I_B \end{cases}$$

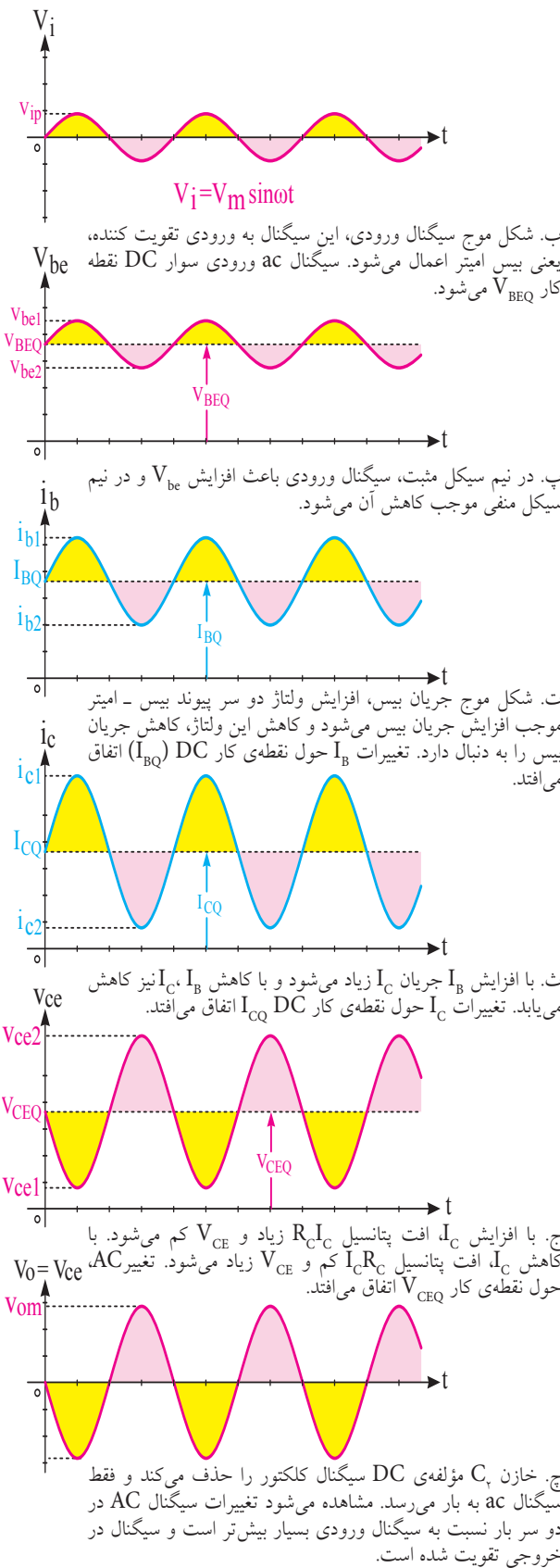
در نظر می گیریم.

در مدار C_i که خازن کوپلاژ نام دارد، مانع عبور سیگنال DC است و فقط سیگنال AC ورودی را به بیس ترانزیستور اعمال می کند.

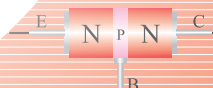
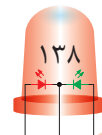
C_o نیز خازن کوپلاژ است و مانع عبور سیگنال DC به بار می شود و فقط سیگنال AC از آن عبور می نماید. نحوه‌ی تقویت سیگنال متناوب ورودی در شکل ۵-۶۶ الف تا چ تشریح شده است.



الف. یک تقویت کننده‌ی ترانزیستوری نمونه



شکل ۵-۶۶ نحوه‌ی تقویت سیگنال متناوب ورودی



۱۸-۵ بررسی روابط بین جریان‌ها و ولتاژها در

ترانزیستور

همان گونه که قبلاً نیز گفته شد، بین جریان‌ها و ولتاژها در ترانزیستور روابط زیر برقرار است:

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$

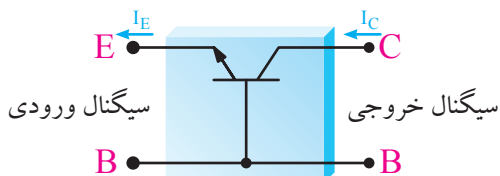
$$I_E = I_C + I_B$$

اکنون با ضرایب دیگری چون α و β و γ ، که در محاسبات مدارهای ترانزیستوری استفاده می‌شوند، آشنا می‌شویم. ضرایب فوق به صورت زیر تعریف می‌شوند.

۱-۱۸-۵: α : آلفا بهره‌ی جریان در بیس مشترک نام دارد. بهره‌ی جریان یعنی نسبت جریان خروجی به جریان ورودی.

$$A_I = \frac{\text{جریان خروجی}}{\text{جریان ورودی}} = \text{بهره‌ی جریان}$$

شکل ۵-۶۸ آرایش ساده‌ی بیس مشترک و جریان ورودی و خروجی آن را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۶۸ آرایش ساده‌ی بیس مشترک

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \quad \text{نسبت جریان کلکتور به جریان امیتر}$$

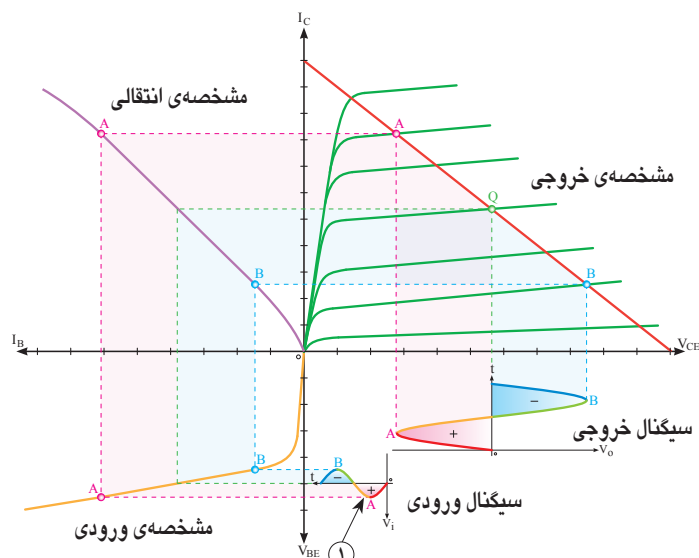
α همواره کوچک‌تر از ۱ است. یعنی آرایش بیس مشترک جریان سیگنال ورودی را تقویت نمی‌کند.

۲-۱۸-۵: β : بتا بهره‌ی جریان در امیتر مشترک نام دارد.

۲-۱۷-۵ بررسی تقویت یک سیگنال الکتریکی

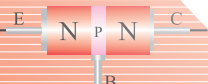
از روی منحنی‌های مشخصه: برای درک چگونگی تقویت سیگنال، از روی منحنی‌های مشخصه‌ی ورودی، انتقالی و خروجی با توجه به نقطه‌ی کار و خط بار به مطالب زیر توجه کنید.

همان‌طوری که قبلاً گفته شد، سیگنال ورودی به بیس -امیتر داده می‌شود. بنابراین، ولتاژ V_{BE} حول نقطه‌ی کار ورودی متغیر می‌شود. با تغییرات V_{BE} ، I_B نیز تغییر می‌کند. تغییرات I_B نیز سبب تغییرات I_C می‌شود، هم‌چنین تغییرات I_C ، تغییرات V_{CE} را به دنبال دارد که خروجی تقویت کننده است. شکل ۵-۶۷ مراحل تقویت را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۶۷ نمایش مراحل تقویت

همان‌طور که می‌بینید، در نیم سیکل مثبت، زمانی که ولتاژ اضافه می‌شود (۱) دامنه‌ی سیگنال خروجی (V_{CE}) کاهش می‌یابد. لذا، بین سیگنال ورودی و خروجی یک اختلاف فاز ۱۸۰ درجه به وجود می‌آید.



$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \text{ نسبت جریان کلکتور به جریان بیس}$$

در شکل ۵-۶۹ آرایش ساده‌ای از آمیتر مشترک و جریان ورودی و خروجی آن مشخص شده است.



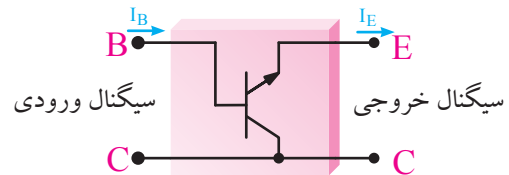
شکل ۵-۶۹ آرایش ساده آمیتر مشترک

عدد β نسبتاً بزرگ است.

۳-۱۸-۵: γ : گاما بهره‌ی جریان در کلکتور مشترک نام دارد. این آرایش در شکل ۵-۷۰ نشان داده شده است.

$$\gamma = \frac{I_E}{I_B} \text{ نسبت جریان امیتر به جریان بیس}$$

γ نیز عدد نسبتاً بزرگی است.



شکل ۵-۷۰ آرایش کلکتور مشترک

۱۹-۵ محاسبه‌ی روابط α و β و γ بر حسب

یک‌دیگر

۱-۱۹-۵ محاسبه α بر حسب β و بر عکس:

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

به جای I_E مساوی آن، یعنی $I_B + I_C$ را قرار می‌دهیم.

$$\alpha = \frac{I_C}{I_C + I_B}$$

صورت و مخرج کسر حاصل را بر I_B تقسیم می‌کنیم.

$$\alpha = \frac{\frac{I_C}{I_B}}{\frac{I_C}{I_B} + \frac{I_B}{I_B}}$$

قبلاً $\frac{I_C}{I_B}$ به صورت β تعریف شده است، بنابراین

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad (۱)$$

رابطه‌ی β بر حسب α نیز چنین است. چرا؟

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (۲)$$

۲-۱۹-۵ محاسبه‌ی γ بر حسب β :

$$\gamma = \frac{I_E}{I_B} = \frac{I_C + I_B}{I_B} = \frac{I_C}{I_B} + \frac{I_B}{I_B}$$

$$\gamma = \beta + 1 \quad (۳)$$

۳-۱۹-۵ محاسبه‌ی α بر حسب β و γ :

با استفاده از رابطه‌ی (۱) و (۳) می‌توان نوشت:

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} = \frac{\beta}{\gamma}$$

$$\alpha = \frac{\beta}{\gamma} \quad (۴)$$

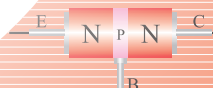
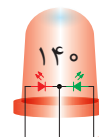
۲۰-۵ اتصال سیگنال متناوب به تقویت کننده

ترانزیستوری با بایاس سرخود

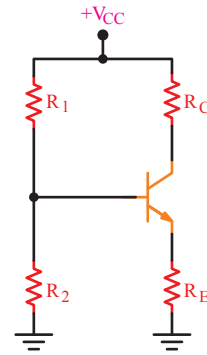
برای اتصال سیگنال متناوب به تقویت کننده‌ی ترانزیستوری، ابتدا باید تقویت کننده را از نظر DC در منطقه‌ی فعال بایاس کنیم.

شکل ۵-۷۱، بایاس DC ترانزیستور را به صورت سرخود نشان می‌دهد.

اتصال سیگنال متناوب به این تقویت کننده به سه



صورت امکان پذیر است.



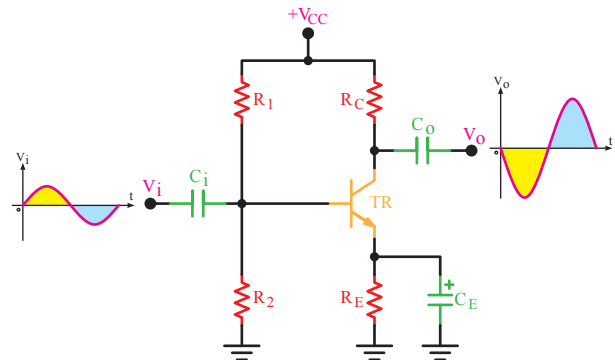
شکل ۵-۷۱ تقویت کننده به صورت بایاس سرخود

۵-۲۰-۱ آرایش امیتر مشترک: در این آرایش

سیگنال متناوب ورودی را به بیس ترانزیستور اتصال می دهند و سیگنال تقویت شده از کلکتور دریافت می گردد.

پایه ی بیس بین ورودی و خروجی مشترک است.

شکل ۵-۷۲، این آرایش را نشان می دهد.



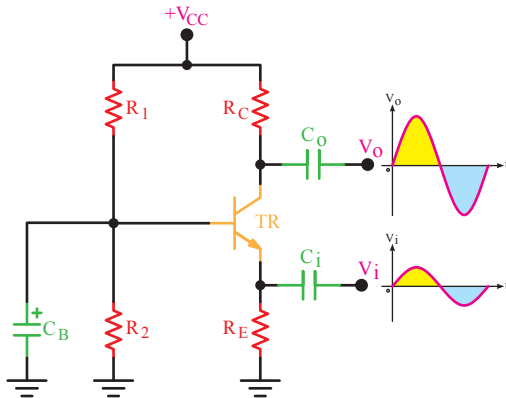
شکل ۵-۷۲ یک نمونه تقویت کننده امیتر مشترک

خازن های C_i و C_o خازن های کوپلاژ نام دارند و مانع عبور سیگنال DC می شوند ولی سیگنال متناوب را از خود عبور می دهند.

خازن C_E خازن بای پاس نام دارد. این خازن R_E را، از نظر سیگنال متناوب، اتصال کوتاه می کند. این آرایش، سیگنال ورودی را از نظر ولتاژ و جریان تقویت می نماید.

۵-۲۰-۲ آرایش بیس مشترک: در این آرایش

سیگنال متناوب ورودی به امیتر اتصال داده می شود و سیگنال خروجی از کلکتور دریافت می شود. پایه ی بیس بین ورودی و خروجی مشترک است شکل ۵-۷۳ این آرایش را نشان می دهد.



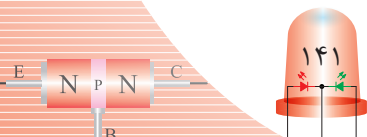
شکل ۵-۷۳ یک نمونه تقویت کننده ی بیس مشترک. پایه ی بیس از نظر سیگنال AC به زمین وصل و بین ورودی و خروجی مشترک است.

C_i و C_o خازن های کوپلاژ و C_B خازن بای پاس است. این آرایش سیگنال ورودی را فقط از نظر دامنه ی ولتاژ تقویت می کند.

۵-۲۰-۳ آرایش کلکتور مشترک: در این آرایش

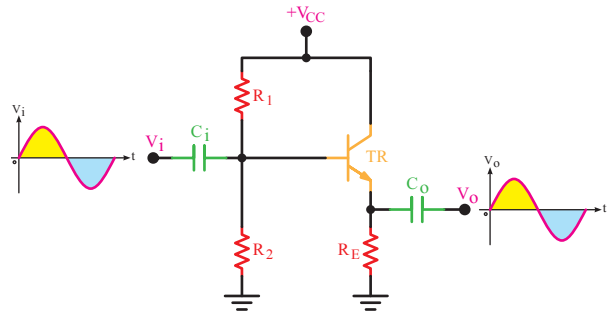
سیگنال متناوب ورودی به بیس اتصال داده می شود و سیگنال خروجی از امیتر دریافت می شود.

چون منبع تغذیه به طور ایده آل مقاومت داخلی ندارد لذا کلکتور از نظر سیگنال AC از طریق خازن منبع تغذیه به زمین وصل است. به این ترتیب پایه ی کلکتور پایه ی مشترک بین ورودی و خروجی است. شکل ۵-۷۴ این آرایش را نشان می دهد.



توجه:

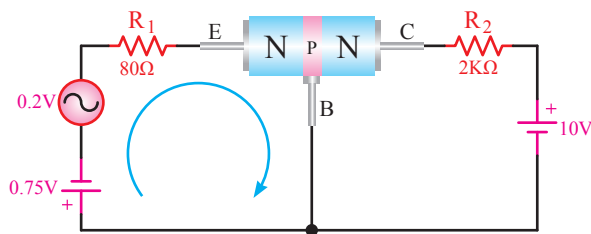
در صورتی که بخواهیم به جای ترانزیستور NPN، ترانزیستور PNP را جایگزین کنیم، کافی است جهت فلش ترانزیستور را تغییر دهیم و قطب‌های منبع تغذیه و خازن‌ها را عوض نماییم.



شکل ۵-۷۴ یک نمونه تقویت کننده‌ی کلکتور مشترک. پایه‌ی کلکتور بین ورودی و خروجی مشترک و از نظر AC از طریق خازن منبع تغذیه به زمین وصل است.

۵-۲۱ الگوی پرسش

۵-۲۱-۱ اگر مقاومت دینامیکی دیود بیس - امیتر به هنگام اعمال سیگنال متناوب معادل $2\text{ k}\Omega$ فرض شود ضریب تقویت ولتاژ مدار را محاسبه کنید. (شکل ۵-۷۵)



شکل ۵-۷۵ اعمال سیگنال متناوب به ورودی یک ترانزیستور NPN در منطقه‌ی فعال بایاس شده

۵-۲۱-۲ در شکل ۵-۷۶ اگر نقطه‌ی کار DC در نقطه‌ی Q روی منحنی مشخصه‌ی ورودی تعیین شده باشد، سپس نقطه‌ی کار از نقطه‌ی (۱) تا (۲) تغییر کند، به روش ترسیم ابتدا نقطه‌ی کار Q_{DC} را روی مشخصه‌ی انتقالی و خروجی و روی محور V_{CE} مشخص کنید. سپس تغییرات نقطه‌ی کار را از نقطه‌ی (۱) تا (۲) روی منحنی‌ها و محور V_{CE} نمایش دهید. در این شرایط ترانزیستور در چه ناحیه‌ای کار می‌کند؟

این آرایش، سیگنال ورودی را فقط از نظر جریان تقویت می‌کند.

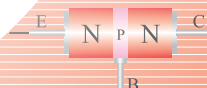
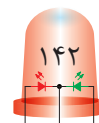
سایر مشخصات این سه نوع آرایش از قبیل مقاومت ورودی، مقاومت خروجی و اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی و خروجی، بهره‌ی توان و پاسخ فرکانسی با هم متفاوت هستند که در آینده راجع به آن‌ها بحث خواهد شد.

در جدول ۵-۱ بهره‌ی ولتاژ و بهره‌ی جریان این سه نوع آرایش با ترانزیستورهای مشابه و در شرایط یک‌سان بایاس با هم مقایسه شده‌اند.

جدول ۵-۱

مقایسه‌ی برخی از مشخصات آرایش‌های ترانزیستور

نوع آرایش	بهره‌ی ولتاژ A_V	بهره‌ی جریان A_I
امیتر مشترک CE	متوسط	متوسط
بیس مشترک CB	زیاد	کم و کوچک‌تر از ۱
کلکتور مشترک CC	کم و کوچک‌تر از ۱	زیاد



۲۲-۵ کلاس‌های تقویت کننده

وقتی یک سیگنال الکتریکی به یک تقویت کننده اعمال می‌شود، متناسب با این که چه مقدار از یک سیکل کامل سیگنال متناوب ورودی تقویت شود. تقویت کننده‌ها را دسته بندی می‌کنند و بر اساس آن کلاس‌های مختلف A، B، AB، C و شکل می‌گیرد.

۲۲-۱-۵ تقویت کننده‌ی کلاس A: در تقویت

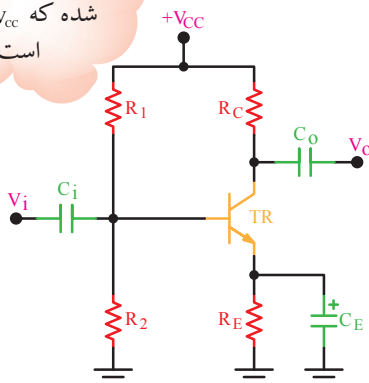
کننده کلاس A، دامنه‌ی سیگنال در تمام سیکل به یک اندازه تقویت می‌شود و هیچ قسمتی از یک سیکل کامل حذف نمی‌شود. بلوک دیاگرام تقویت کننده‌ی کلاس A در شکل (۵-۷۷) نشان داده شده است.



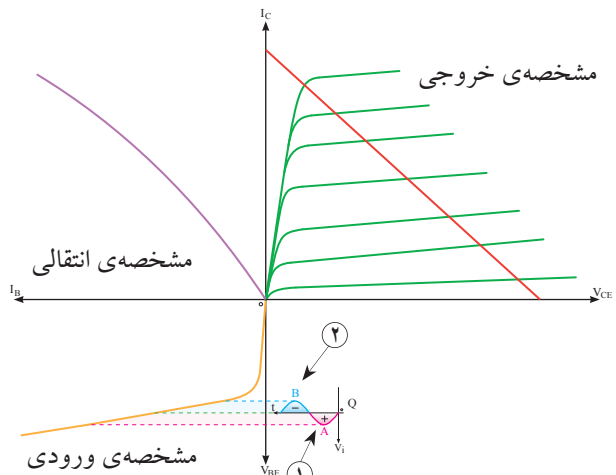
شکل ۵-۷۷ در تقویت کننده‌ی کلاس A تمام قسمت‌های یک سیکل کامل ولتاژ ورودی تقویت می‌شود.

در شکل ۵-۷۸، یک نمونه تقویت کننده‌ی کلاس A نشان داده شده است. در این گونه تقویت کننده‌ها معمولاً $V_{CE} = \frac{1}{2} V_{CC}$ انتخاب می‌شود.

مدار به گونه‌ای بایاس شده که $V_{CE} = \frac{1}{2} V_{CC}$ است



شکل ۵-۷۸ یک نمونه تقویت کننده، که در کلاس A کار می‌کند



شکل ۵-۷۶ تعیین نقطه‌ی کار روی منحنی‌های مشخصه ترانزیستور که در یک مختصات رسم شده‌اند

۲۱-۳-۵ در یک ترانزیستور نسبت $\frac{I_E}{I_B}$ برابر ۱۰۰ است، نسبت $\frac{I_C}{I_E}$ را محاسبه کنید.

۲۱-۴-۵ در یک ترانزیستور $\alpha = 0.99$ است. مقدار β و γ را محاسبه کنید.

۲۱-۵-۵ در یک ترانزیستور $\gamma = 9$ و $I_C = 1 \text{ mA}$ است، مقدار I_E چند میلی آمپر است؟

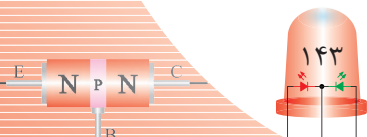
۲۱-۶-۵ یک تقویت کننده به صورت بایاس سرخود را رسم کنید. برای آرایش‌های امیتر مشترک و بیس مشترک سیگنال متناوب ورودی را به تقویت کننده اتصال دهید و خروجی تقویت کننده را برای دریافت سیگنال متناوب مشخص کنید.

۲۱-۷-۵ در جدولی مشخصات سه نوع آرایش را، از نظر بهره‌ی ولتاژ و بهره جریانی، تعیین کنید.

اجرای کار نرم افزاری



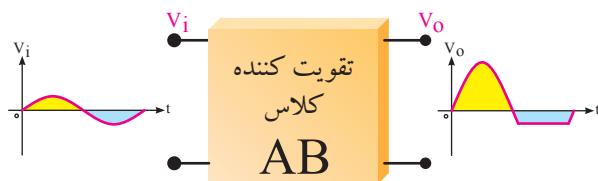
انواع آرایش‌های ترانزیستور را با نرم افزار مولتی‌سیم شبیه‌سازی کنید و آن را برای دانش آموزان به نمایش در آورید.



در اثر عوامل مختلف ممکن است شکل موج تغییر حالت دهد. بروز این شرایط را اصطلاحاً تغییر شکل یا Distortion یا اعوجاج می‌نامند. به عنوان مثال برش قسمتی از موج سینوسی یا تبدیل موج سینوسی به مربعی نوعی تغییر شکل در موج سینوسی است.

۵-۲۲-۳ تقویت کننده‌ی کلاس AB: این تقویت

کننده از نظر DC، طوری بایاس می‌شود که شکل موج ورودی را بیش‌تر از ۱۸۰ درجه و کم‌تر از ۳۶۰ درجه تقویت می‌کند. در شکل ۵-۸۱ عملکرد این تقویت کننده را مشاهده می‌کنید. بایاسینگ این تقویت کننده مشابه کلاس A است با این تفاوت که مقادیر آن فرق می‌کند.



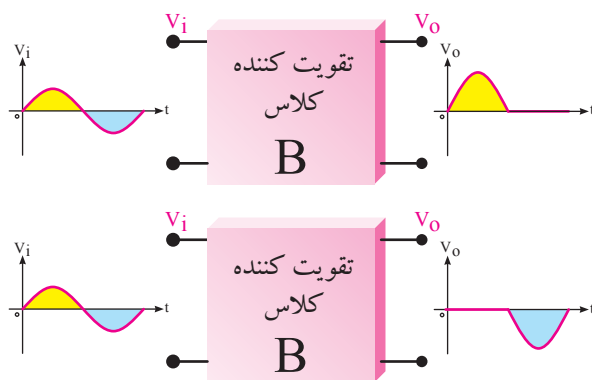
شکل ۵-۸۱ تقویت کننده‌ی کلاس AB، سیگنال را از ۱۸۰ درجه بیش‌تر و از ۳۶۰ درجه کم‌تر تقویت می‌کند.

نقطه‌ی کار تقویت کننده در این کلاس بین کلاس‌های A و B قرار می‌گیرد. معمولاً دیود بیس امیتر تقویت کننده را در آستانه هدایت (برای سیلیسیم حدود ۰/۶ ولت) بایاس می‌کنند. در این صورت این تقویت کننده فقط نیم سیکل‌های مثبت یا منفی را تقویت می‌کند (تقویت نیم‌سیکل مثبت یا منفی، به نوع ترانزیستور NPN یا PNP بستگی دارد). اعوجاج سیگنال خروجی در این کلاس اندکی کم‌تر از کلاس B است. شکل ۵-۸۲ مدار تقویت کننده کلاس AB، را نشان می‌دهد.

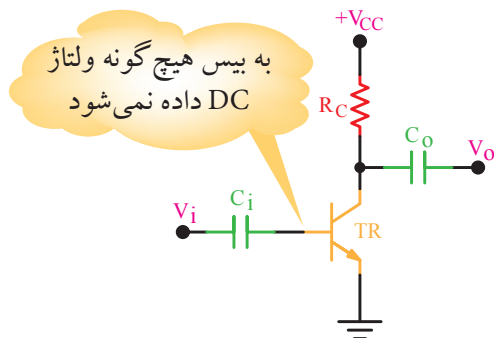
در این کلاس تقویت کنندگی اعوجاج سیگنال تقویت شده خروجی بسیار کم است. اکثر طبقات تقویت کننده‌های صوتی (به جز طبقه‌ی آخر) در کلاس A کار می‌کنند.

۵-۲۲-۲ تقویت کننده‌ی کلاس B: در این کلاس

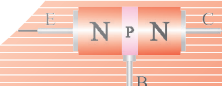
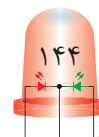
کمی کم‌تر از نیم سیکل از سیگنال متناوب ورودی تقویت می‌شود. زیرا دیود بیس امیتر را بایاس نمی‌کنند، یعنی $I_C = I_B = 0$ است. به علت بایاس نشدن دیود بیس امیتر قسمت کمی (حدود ۰/۶ ولت در ترانزیستور سیلیسیم) از سیگنال تقویت نخواهد شد. در این کلاس اعوجاج سیگنال تقویت شده خروجی زیاد است. در شکل ۵-۷۹، بلوک دیاگرام این نوع تقویت کننده نشان داده شده است. در شکل ۵-۸۰، یک نمونه تقویت کننده‌ی کلاس B را مشاهده می‌کنید.



شکل ۵-۷۹ بلوک دیاگرام تقویت کننده‌ی کلاس B



شکل ۵-۸۰ یک نمونه تقویت کننده کلاس B



۵-۲۲-۵ انواع دیگر کلاس‌های تقویت کننده:

علاوه بر کلاس‌های ذکر شده، کلاس‌های D، E، F، G و H نیز وجود دارد که اساس کار آن‌ها بر مبنای افزایش راندمان و بهبود کیفی عملکرد مدار است و غالباً برای قدرت‌های بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد. تشریح عملکرد این کلاس‌ها پیچیده و از بحث ما خارج است و تنها اشاره می‌شود که مثلاً در کلاس D مدار به صورت کلید زنی (سوئیچینگ) در دو حالت قطع و اشباع عمل می‌کند. در این کلاس راندمان بالاتر از ۹۰٪ و افت توان ناچیز است.

۵-۲۳ الگوی پرسش

۵-۲۳-۱ کلاس تقویت کننده‌ی را تعریف کنید.

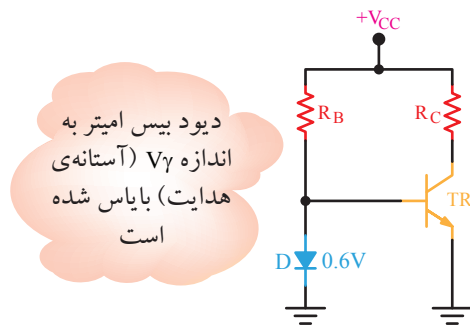
۵-۲۳-۲ کلاس A را تعریف کنید و با رسم بلوک دیاگرام تقویت کننده‌ی در کلاس A، شکل موج ورودی و خروجی آن را رسم کنید.

۵-۲۳-۳ در تقویت کننده‌ی کلاس B ترانزیستور در چه ناحیه‌ای بایاس می‌شود؟ مختصات این ناحیه را بنویسید.

۵-۲۳-۴ دیود بیس امیتر تقویت کننده‌ی کلاس C چگونه بایاس می‌شود؟ با رسم بلوک دیاگرام تقویت کننده‌ی کلاس C شکل موج ورودی و خروجی آن را مشخص کنید.

۵-۲۴ نام‌گذاری ترانزیستورها

برای نام‌گذاری ترانزیستورها، سه روش مشهور در دنیا وجود دارد. گرچه تعدادی از کارخانجات در گوشه و کنار دنیا از سیستم نام‌گذاری خاصی استفاده می‌نمایند. آن سه روش، عبارتند از:



شکل ۵-۸۲ مدار تقویت کننده‌ی کلاس AB

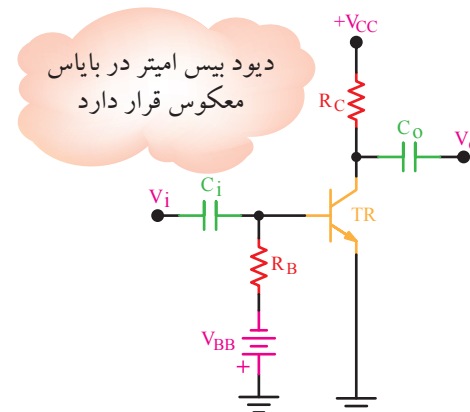
۵-۲۲-۴ تقویت کننده‌ی کلاس C: در این نوع

تقویت کننده، فقط قسمت کمی از نیم سیکل مثبت یا نیم سیکل منفی تقویت می‌شود. در شکل ۵-۸۳، بلوک دیاگرام تقویت کننده‌ی کلاس C نشان داده شده است.

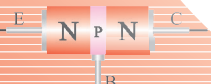


شکل ۵-۸۳ در تقویت کننده کلاس C قسمت کمی از نیم سیکل مثبت یا منفی تقویت می‌شود

در شکل ۵-۸۴، یک نمونه تقویت کننده‌ی بسیار ساده و ابتدایی کلاس C نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل می‌بینید، بیس - امیتر ترانزیستور به صورت معکوس بایاس شده است.



شکل ۵-۸۴ یک نمونه ساده تقویت کننده‌ی کلاس C



● نام گذاری به روش ژاپنی

● نام گذاری به روش اروپایی

● نام گذاری به روش آمریکایی

شکل ۵-۸۵ نموداری از نام گذاری ها را نشان

می دهد.



شکل ۵-۸۵ روش های نام گذاری ترانزیستورها

اینک نام گذاری هر یک از سه روش فوق توضیح

داده خواهد شد.

۱-۲۴-۵ نام گذاری به روش ژاپنی: در این سیستم،

نام گذاری ترانزیستور را با عدد ۲ شروع می کنند و به

دنبال آن حرف S را می آورند. بعد از حرف و عدد S،

یکی از چهار حرف A، B، C و D را قرار می دهند که

هر یک مفاهیمی به شرح زیر دارند:

۱- حرف A نشان دهنده ترانزیستور از نوع PNP

است و در فرکانس های بالا، نیز می تواند کار کند.

(High Frequency = HF)

۲- حرف B نشان دهنده ترانزیستور از نوع PNP

است در فرکانس های کم می تواند کار کند.

(Low Frequency = LF)

۳- حرف C نشان دهنده ترانزیستور از نوع NPN

است. در فرکانس های بالا، نیز می تواند کار کند.

۴- حرف D نشان دهنده ترانزیستور از نوع NPN

است و در فرکانس های کم می تواند کار کند.

بعد از این حروف تعداد ۲ یا ۳ یا ۴ رقم عدد قرار

می گیرد که با مراجعه به جدول، می توان مقادیر

مشخصه های الکتریکی آن را به دست آورد. در این

سیستم، حروف روی ترانزیستور، مشخص کننده جنس

نیمه هادی به کار رفته (ژرمانیم یا سیلیسیم) و همچنین

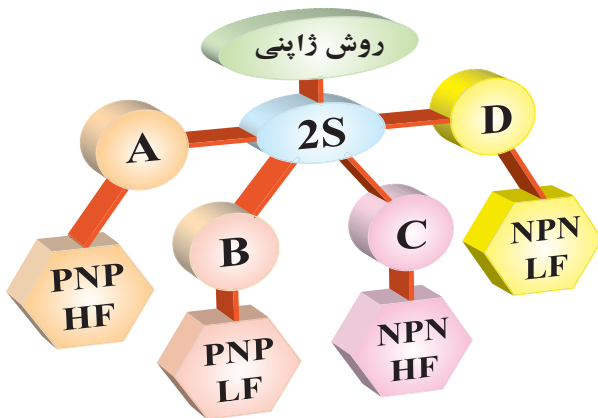
حدود قدرت آن نیست. مثلاً المان سه پایه به شماره ی

۲SC۸۲۹ نشان دهنده ترانزیستور از نوع NPN با

محدوده ی فرکانسی بالاست. بر روی اکثر ترانزیستورها،

حرف ۲S را قید نمی نمایند، مثلاً C۸۲۹ همان ۲SC۸۲۹

است. (شکل ۵-۸۶)



شکل ۵-۸۶ نام گذاری ترانزیستورها به روش ژاپنی

۲-۲۴-۵ نام گذاری به روش اروپایی: در نام گذاری

روش اروپایی، تا سال ۱۹۶۰، ترانزیستور را با حرف OC

و OD و با دو، سه یا چهار عدد به دنبال آن مشخص

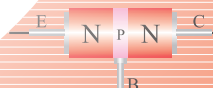
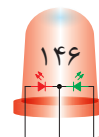
می کردند، که OC برای ترانزیستورهای کم قدرت و

OD برای ترانزیستورهای قدرت به کار می رفت. (مانند

OC۷۲)، در این روش نام گذاری، نوع ترانزیستور

(PNP - NPN) یا جنس نیمه هادی به کار رفته یا

محدوده ی فرکانسی آن مشخص نبود.



کار می‌رود.

U: ترانزیستور قدرت، به صورت سویچ به کار می‌رود.

سه شماره بعد، نشان دهنده‌ی سری ترانزیستور است، که با استفاده از این سه شماره و جدول مشخصات، می‌توان مشخصات الکتریکی ترانزیستور را به دست آورد. برای مثال مشخصات ظاهری ترانزیستور BC107 به این شرح است:

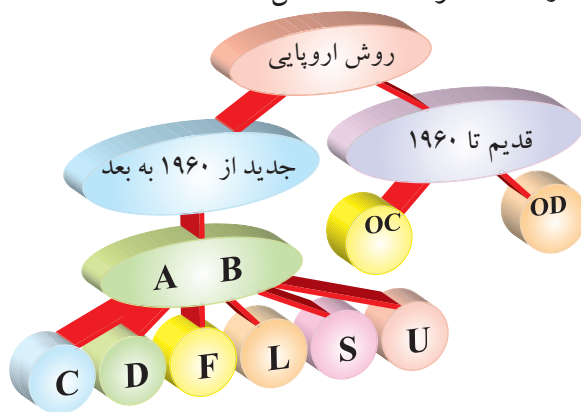


مشخصات الکتریکی را، با مراجعه به کتاب مشخصات ترانزیستور و پیدا کردن جدول مربوط، به دست می‌آورند. مثلاً مشخصات ظاهری ترانزیستور BF480، ترانزیستور کم قدرت بوده، و جنس آن از سیلیسیم است و با فرکانس زیاد (1GHz) نیز می‌تواند کار کند. در این سیستم نام‌گذاری نوع ترانزیستور (NPN-PNP) از روی حروف ترانزیستور مشخص نیست.

۳-۲۴-۵ نام‌گذاری به روش آمریکایی: در این

روش نام‌گذاری، ترانزیستور و المان‌های سه قطبی را با حرف و عدد ۲N مشخص می‌کنند و تعدادی رقم را برای شماره‌ی سری به دنبال آن می‌آورند. حرف N و عدد ۲ فقط المان‌های سه قطبی را از المان‌های دو قطبی (مانند دیود) مشخص می‌سازد. با توجه به شماره‌های بعدی که

از سال ۱۹۶۰ به بعد، سیستم نام‌گذاری ترانزیستورها تغییر کرد. به این طریق که ترانزیستورهای به کار رفته در رادیو و تلویزیون و یا در وسایل الکترونیکی عمومی بیش‌تر با دو حرف و سه شماره، و ترانزیستورهای خاص، با سه حرف و دو شماره مشخص می‌شوند. مانند ترانزیستور شماره‌ی BUX38، که این ترانزیستور در فرکانس‌های رادیویی با جریان و ولتاژ زیاد به کار برده می‌شود. در این مبحث روش نام‌گذاری با دو حرف و سه شماره گفته خواهد شد. (شکل ۸۷-۵)



شکل ۸۷-۵ نام‌گذاری ترانزیستورها به روش اروپایی

حرف اول در این روش، نشان دهنده‌ی جنس نیمه هادی است که اگر از ژرمانیم باشد آن را با حرف A و اگر سیلیسیم باشد با حرف B مشخص می‌نمایند. حروف دوم را از حروف C، D، F، L، S یا U استفاده می‌نمایند که معانی هر یک از این حروف به شرح زیر است.

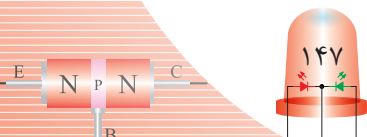
C: ترانزیستور کم قدرت - فرکانس کار کم.

D: ترانزیستور قدرت - فرکانس کار کم.

F: ترانزیستور کم قدرت - فرکانس کار زیاد.

L: ترانزیستور قدرت - فرکانس کار زیاد.

S: ترانزیستور کم قدرت که به صورت سویچ به

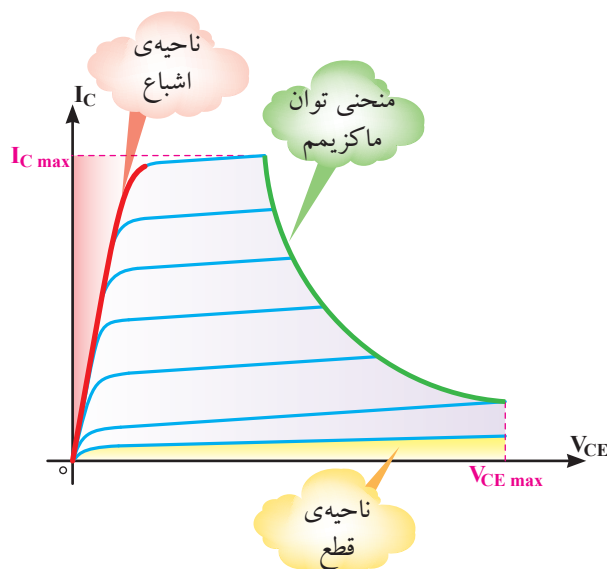


۲-۲۵-۵ حداکثر جریان کلکتور (I_{Cmax})، حداکثر
جریانی است که ترانزیستور می تواند در دمای مشخص
شده از طرف کارخانه سازنده، تحمل کند.

۳-۲۵-۵ حداکثر توان (P_{max})، مقدار توانی است
که در ترانزیستور به صورت حرارت تلف می شود.

۴-۲۵-۵ حداکثر درجه حرارت در محل پیوند
(T_j)، حداکثر درجه ی حرارتی است که در محل اتصال
کلکتور - بیس، ترانزیستور می تواند تحمل کند.

۵-۲۵-۵ فرکانس حد و فرکانس قطع - فرکانس
حد (f_g)، مقدار فرکانسی است که β به ازای آن به اندازه
 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ یا ۳dB از فرکانس ($^\circ$) هرتز کم تر می شود و
فرکانس قطع (f_T) مقدار فرکانسی است که به ازای آن
 $\beta = 1$ می شود. در شکل ۵-۸۸ برای منحنی مشخصه ی
خروجی مقادیر حد توان، جریان کلکتور و ولتاژ کلکتور
- آمیتر مشخص شده است.



شکل ۵-۸۸ مقادیر حد برای منحنی مشخصه خروجی

در شکل ۵-۸۹ مقادیر حد ترانزیستور را مشاهده
می کنید.

به دنبال آن می آورند و با توجه به جدول مشخصات
المان ها، نوع المان و همچنین مشخصات الکتریکی آن ها
را باید به دست آورد. برای مثال:

2N

عنصر سه پایه

2219

سری ترانزیستور

ترانزیستور قدرت (NPN) = ۲N۳۰۵۵ =
که در فرکانس های کم کار می کند.

ترانزیستور تک اتصالی (UJT) = ۲N۲۶۴۶ =

تریستور = ۲N۱۸۴۲ =

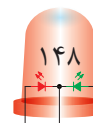
ترایاک = ۲N۶۱۳۹ =

۲۵-۵ مقادیر حد در ترانزیستورها

هر المان نیمه هادی، از جمله ترانزیستور برای مقادیر
الکتریکی مشخصی ساخته می شود. مثلاً هر ترانزیستور
را برای تحمل توان مشخصی می سازند. اگر مقادیر
الکتریکی را بیش از آن چه که کارخانه سازنده مشخص
کرده است، به ترانزیستور اعمال کنیم، ترانزیستور معیوب
می شود. این مقادیر الکتریکی به مقادیر حد معروف اند.
کارخانجات سازنده، مقدار حداکثر مجاز مقادیر
الکتریکی را مشخص می کنند. این مقادیر عبارت اند از:

۱-۲۵-۵ حداکثر ولتاژ کلکتور - آمیتر (V_{CEmax})،

این پارامتر، حداکثر ولتاژ مجاز بین پایه های کلکتور و
امیتر را مشخص می کند.





شکل ۸۹-۵ مقادیر حد در ترانزیستور

۵-۲۶ به دست آوردن مقادیر حد از جدول

انتخاب شده است و در آن حدود ۲۰۰۰۰ ترانزیستور آمریکایی، اروپایی و ژاپنی آمده است. هم چنین ضمن ارائه مشخصات الکتریکی، ابعاد و شکل ظاهری و پایه های ترانزیستور را نیز مشخص کرده اند. در ضمن، نام کارخانه ی سازنده ی تمام ترانزیستورها در آن ها قید شده و در موارد زیادی، مشابه ترانزیستور آمریکایی و ژاپنی نیز داده شده است.

همان طوری که در قسمت قبل توضیح داده شد، در سیستم نام گذاری ژاپنی و اروپایی، تعدادی از مشخصات ترانزیستور به صورت حروف بر روی بدنه ی آن درج می شوند. مثلاً در ترانزیستور BC۱۰۷ می توانیم بفهمیم که توان این ترانزیستور کم است و در فرکانس کم، کار می کند، اما نمی توان فهمید که مثلاً قدرت یا فرکانس حد آن چه قدر است. برای یافتن مشخصات کامل و شرایط کار نامی باید به منحنی ها و جدول هایی که کارخانجات سازنده برای هر یک از ترانزیستورها می دهند مراجعه نمود.

در این جا یک نمونه از جدولی که مشخصات حد ترانزیستورها در آن درج است و به سادگی در بازار یافت می شود، معرفی می شود و طرز استفاده از آن گفته خواهد شد.

در این کتاب، مشخصات ترانزیستورها از کتاب
Towers International Transistor Selector

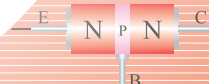
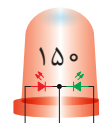


چگونگی استفاده از کتاب در جدول ۵-۲ آمده

است.

جدول ۵-۲ جدول مشخصات مربوط به یک صفحه‌ی کتاب اطلاعات

Transistor Number	PM OA LT	Package	Lead Info.	V _{CB} Max	V _{CE} Max	V _{EB} Max	I _C Max	T _J Max	PTOT	F _T Min	C _{OB} Max	H _{FE}	H _{FE} Bias	USE	MFR	EUR EQUIV	USA EQUIV	ISS
BC 107	NS	TO 18	L 01	50 V	45 V	6 V	100 mA	175 °C	300 m WF	150 M	5p	110 MN	3 mA	ALG	MUB	BC 107	2N 929	0
شماره ترانزیستور		نوع و جنس ترانزیستور	کارخانه‌ی مربوط به اطلاعات سازنده															
N=NPN P=PNP S=سیلیسیم G=ژرمانیم																		
شکل ظاهری و ابعاد																		
مراجعه شود به ضمیمه C																		
اطلاعات مربوط به پایه‌های ترانزیستور - به ضمیمه B مراجعه شود																		
حداکثر ولتاژ کلکتور - بیس																		
حداکثر ولتاژ کلکتور - امیتر																		
حداکثر ولتاژ معکوس امیتر - بیس																		
حداکثر جریان کلکتور																		
حداکثر درجه حرارت مجاز محل پیوند بر حسب درجه‌ی سانتی گراد																		
حداکثر توان مجاز ترانزیستور C= با گرماگیر در هوای آزاد در ۲۵ درجه سانتی گراد																		
F= در هوای آزاد در ۲۵ °C																		
H= در هوای آزاد با گرماگیر فلزی																		
MW = میلی وات																		
W = وات																		
فرکانس قطع ترانزیستور																		
مگاهرتز= M																		
کیلوهرتز= K																		
گیگاهرتز= G																		

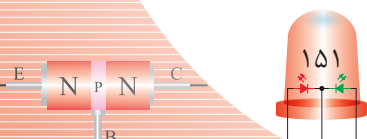


۵-۲۷ الگوی پرسش

- ۵-۲۷-۱ سه نمونه از مقادیر حد در ترانزیستور را نام ببرید.
- ۵-۲۷-۲ C۸۲۹ چه شیوه‌ی نام‌گذاری ترانزیستور است؟
- ۵-۲۷-۳ ۵-۲۷-۲ با توجه به حروف و اعداد نام‌گذاری شده روی یک قطعه به شماره‌ی ۲N۳۰۵۵ استخراج کرد؟
- ۵-۲۷-۴ کدام مشخصه‌ی الکتریکی را می‌توان از استخراج کنید؟ شرح دهید.
- برای ترانزیستورهای BC۱۰۹، BU۱۱۲، BF۱۳۹، BD۱۳۶، AF۱۳۹ و AC۱۷۸ چه مشخصاتی را می‌توانید

همواره سعی می‌کنم

هر کاری را که در پیش دارم با نهایت دقت و حوصله انجام دهم و فکر کنم که این آخرین کاری است که در زندگی خود باید به انتها برسانم.



واژه‌نامه‌ی الفبایی بر اساس فصل‌های کتاب

فصل اول

A lternating Current=AC	جریان متناوب	Potentiometer	پتانسیومتر - مقاومت متغیر
Audio Frequency (AF)	فرکانس صوتی	PTC=Positive Temperatur Coefficient	ضریب حرارتی مثبت
Ampere	آمپر	R elay	رله
Ampermeter	آمپر متر	Radio Frequency	فرکانس رادیویی
B attery	باتری	Resistance	مقاومت
C ell	پیل	S witch	کلید
Capacitor	خازن	Series Circuit	مدار سری
Capacitance	خاصیت خازنی - ظرفیت خازنی	Solenoid	بویلر - سولنوئید
Coeficient	ضریب	Secondary	ثانویه
D irect Current	جریان مستقیم	Step Up Transformer	ترانسفورماتور افزایش دهنده
E dison	نام دانشمند ادیسون	Step Down Transformer	ترانسفورماتور کاهش دهنده
Electron	الکترون	T ransformer	ترانسفورماتور - وسیله‌ای برای کاهش یا افزایش ولتاژ
F requency	فرکانس - بسامد	Thermistor	مقاومت حرارتی
H ertz	هرتز - واحد فرکانس	Transducer	مبدل
Heater	گرم کننده	W orking Voltage (WV)	ولتاژ کار
L DR=Ligh Dependent Resistor	مقاومت تابع نور		
Lamp	لامپ		
Loud Speaker	بلندگو		
M icrophone	میکروفون مبدل صوت به الکتریسیته		
Multimeter	مولتی متر		
N eutron	نوترون		
NTC=Negative Temperature Coefficient	ضریب حرارتی منفی		
O scillator	نوسان ساز - اسیلاتور		
Ohm	نام دانشمند - واحد مقاومت		
P rimary	اولیه		
Period	پریود - زمان تناوب		
Parallel Circuit	مدار موازی		

فصل دوم

A node	آند - قطب مثبت
C opper Atom	اتم مس
Conductor	هادی
Conduction Band	باند هدایت
Cathode	کاتد - قطب منفی
D iode	دو قطبی - دیود
E nergy	انرژی
Energy Level	سطح انرژی
Energy Gap	شکاف انرژی - باند ممنوع
Electron Hole Pair	زوج الکترون حفره



F orbidden Band	باند ممنوعه
Free Electron	الکترون آزاد
G ilo Sake	نام دانشمند گیلوساک
Germanium	ژرمانیوم - ژرمانیم - نوعی نیمه‌هادی
H eliom	عنصر هلیوم
Hydrogen	عنصر هیدروژن
Hole	حفره - جای خالی الکترون که به اندازه‌ی الکترون بار مثبت دارد
I nsulator	عایق
Impurity	ناخالصی
N ucleus	هسته
N=Negative	منفی
O rbit	مدار
Overlap	هم‌پوشی
P entode	پنج قطبی
P=Positive	مثبت
S hell	پوسته
Silicon	سیلیکون - نوعی نیمه‌هادی
Semiconductor	نیمه‌هادی
T hermoionic	فشار در اثر حرارت - فشار ترمیونیکی
Triode	سه قطبی
Tetrode	چهار قطبی
Tenard	نام دانشمند - تنارد
V alence Electron	الکترون ظرفیت
Valence Band	باند ظرفیت
Vacuum Tube	لامپ خلاء
W inkler	نام دانشمند - وینکلر

فصل سوم

B ias	بایاس - دادن ولتاژ به مدار - ولتاژبندی
B=Blue	آبی
C onstant Current diode	دیود جریان ثابت
Common Anode	آند مشترک
Common	مشترک
Common Cathode	کاتد مشترک
D ynamic	پویا - متحرک

Depltion Region	ناحیه سد
Data Sheet	برگه‌ی اطلاعات فنی قطعات
Data Book	کتاب اطلاعات - کتاب داده
Dot Point	نقطه
Display	نمایش - صفحه‌ی نمایش
F orward Bias	گرایش مستقیم - بایاس مستقیم - ولتاژبندی مستقیم
G reen=G	سبز
I FRM=Maximum Repetitive Forward Current	ماکزیمم جریان تکرار موافق
IFSM=Maximum Surge Forward Current	
	ماکزیمم جریان لحظه‌ای موافق
L ED=Light Emitting Diode	دیود انتشار دهنده‌ی نور
LCD=Liquid Crystal Display	صفحه‌ی نمایش کریستال مایع
Laser Diode	دیود لیزری - دیود مولد نور تک‌رنگ
M etal Semiconductor Junction	پیوند فلزی نیمه‌هادی
O rganic LED	LED ارگانیک سازگار با محیط و انسان
P oint Contact diode	دیود اتصال نقطه‌ای
PN Junction	پیوند PN
Pixel	سلول تصویر - رنگ‌دانه
Photo diode	دیود نوری
PDP=Plasma Display Panel	صفحه نمایش پلازما
R everse Bias	بایاس معکوس - گرایش معکوس - ولتاژبندی معکوس
Region	ناحیه - منطقه
Rectifier Diode	دیود یک‌سوساز
R=Red	قرمز
S MP= Surface Mount Package	بسته‌بندی جهت نصب سطحی
Seven Segment	هفت قطعه‌ای
U ltra Bright LED	LED با نور فوق‌العاده
V aractor=Variable Capacitor	خازن متغیر
VR=Revers Voltage	ولتاژ معکوس
VRMS=Maximum Reverse Surge Voltage	
	ماکزیمم ولتاژ معکوس لحظه‌ای (غیر تکراری)
Z ener Diode	دیود زنر



فصل چهارم

A verage	میانگین - معدل
B ridge	پُل - اتصال چهار قطعه به صورت پُل
C lipper	برش دهنده
Clamper	مهار کننده
Cycle	سیکل - دوره
F ilter	صافی
Full Wave Rectifier	یک سو ساز تمام موج
H alf Wave Rectifier	یک سو ساز نیم موج
P IV=Peak Inverse Voltage	حداکثر ولتاژ معکوس
R ectifier	یک سو ساز
Ripple	ضربان - ریل
S emiconductor Hand Book	کتاب جامع کاربردی نیمه هادی

فصل پنجم

A ctive	فعال
B ase	پایه
BJT=Bipolar Junction Transistor	ترانزیستور دو قطبی پیوندی
Bypass	مسیر عبور
C ollector	جمع کننده
Common Emitter	امیتر مشترک
Common Base	بیس مشترک
Common Collector	کلکتور مشترک
Cut Off	قطع
D ata book	کتاب اطلاعات - کتاب داده
E mitter	منتشر کننده - انتشار دهنده
Emitter Follower	امیتر دنباله رو
I =Input	ورودی
L oad Line	خط بار
Q uicent Point	نقطه کار

Saturation Point

نقطه اشباع

Self Bias

بایاس سر خود

منابع و مآخذ مورد استفاده

- ۱- الکترونیک I تألیف دکتر محمد ربیعی
- ۲- الکترونیک کاربردی تألیف مهندس علوی
- ۳- اصول دیود و ترانزیستور ترجمه پرویز شهبازی
- ۴- الکترونیک عمومی تألیف مهندس خلیج مهندس نظریان
- ۵- سایت های اینترنتی مرتبط
- ۶- تجارب شخصی مؤلفان
- ۷ - Electronic devices and circuit Theory by Robert Boylestad Louis Nashilsky.
- ۸ - Transistor Fundamentals by Rober J.Brite.
- ۹ - Transistor circuit action by Henry C.Vealch.
- ۱۰ - <http://www.Alldatasheet.com>
- ۱۱ - Electronic Devices Electron flow Version - Floyd.

واژه نامه



C
B
A