زمان اجرا: ۱۰ ساعت آموزشی

فصل چهارم

کاربرد دیودها
(یک‌سو ساز، چند برابر کننده و تغییر دهنده‌ی شکل موج)

هدف کلی

کاربرد دیودها در مدارهای پایه‌ای الکترونیک

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می‌رود که:

۱- یک سو سازی را تعریف کند.

۲- یک سوکننده‌های نیم موج، تمام موج و پل را توضیح دهد.

۳- فرق بین یک سوکننده‌های نیم موج و تمام موج را بیان کند.

۴- یک سوکننده‌ی تمام موج و پل را با هم مقایسه کند.

۵- صافی (فیلتر) را تعریف کند.

۶- اثرات صافی‌ها را در یک سو کننده‌های نیم موج، تمام موج و پل توضیح دهد.

۷- اصول کار مدارات چند برابر کننده‌ی ولتاژ را شرح دهد.

۸- مدار چند برابر کننده‌ی ولتاژ را ترسیم کند.

۹- کاربرد مدار چند برابر کننده‌ی ولتاژ را بنویسد.

۱۰- اصول کار مدارهای محدود کننده را توضیح دهد.

۱۱- مدارهای محدود کننده را رسم کند.

۱۲- مدارهای قیچی کننده (Clipper) و مدارهای مهار کننده (Clamper) را توضیح دهد.

۱۳- با استفاده از کتاب راهنمای دیودها، نوع دیود دلخواه را انتخاب و پایه‌های آن را مشخص کند.

۱۴- کاربرد انواع دیودها و روش‌های نام گذاری آن‌ها را نام ببرد.

۱۵- هدف‌های مربوط به حیطه عاطفی که در فصل اول آمده است را اجراء نماید.

۴-۱ پیش گفتار

در فصول گذشته به شرح ساختمان، مشخصّات و معرّفی انواع دیودهای نیمه هادی پرداختیم. در این فصل با کاربرد دیود در مدارهای مختلف، از جمله یک سو کننده‌های دیودی، چند برابرکننده‌ها و تغییردهنده‌های شکل موج آشنا خواهید شد. هر چند محدوده‌ی کاربرد دیود زیاد است ولی اصول کار آن در زمینه‌های مختلف یکسان است.

۴-۲ مدارهای یک سوکننده‌ی دیودی

مدارهای یک سوکننده‌ی دیودی، مداراتی هستند که ولتاژ متناوب را به ولتاژ مستقیم (یک طرفه) تبدیل می‌نمایند. عنصر اصلی این مدارها دیود است. زیرا همان طور که دیدیم، دیود در یک جهت جریان را هدایت می‌کند، در حالی که در جهت دیگر قطع است.مدارات یک سو کننده، علاوه بر ولتاژ یک فازه، ولتاژهای چند فازه (سه یا شش فازه) را نیز، به ولتاژ مستقیم تبدیل می‌نمایند.

به طور کلی سه نوع مدار یک سوکننده‌ی یک فازه وجود دارد.

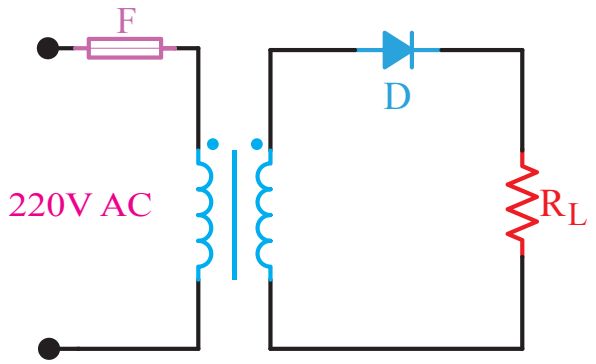
۱- مدار یک سوکننده‌ی نیم موج

۲- مدار یک‌سوکننده‌ی تمام‌موج با ترانس سر وسط

۳- مدار یک سوکننده‌ی تمام موج پل (Bridge)

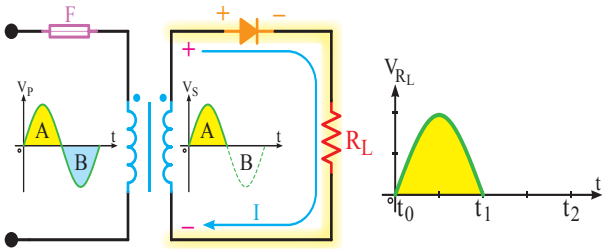
اینک به توضیح هر یک می‌پردازیم.

۴-۲-۱ مدار یک سوکننده‌ی نیم موج: شکل ۴-۱ مدار یک سو کننده نیم موج را نشان می‌دهد. در این مدار یک سو کننده و مدارات دیگر، فرض می‌شود که دیودهای به کار برده شده ایده‌آل هستند؛ یعنی، هیچ گونه افت ولتاژی در دو سر آن‌ها به وجود نخواهد آمد، ولی در عمل حدود ۰/۷ تا ۱/۵ ولت (بسته به جریان عبوری از دیود) دو سر دیود افت می‌کند.



شکل ۴-۱ یک‌سو ساز نیم موج (دیود ایده‌آل)

طرز کار مدار فوق، به این صورت است که، در مدت نیم سیکل مثبت، دیود در بایاس مستقیم قرار می‌گیرد و هادی است. لذا، جریان در نیم سیکل مثبت از دیود و بار عبور می‌کند و مسیر خود را می‌بندد. بنابراین، تمام ولتاژ ثانویه‌ی ترانسفورماتور در نیم سیکل مثبت دو سر بار، ظاهر خواهد شد.(شکل ۴-۲)

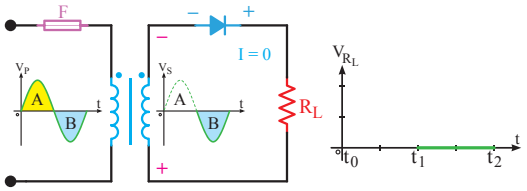


شکل ۴-۲ در نیم سیکل مثبت دیود وصل است

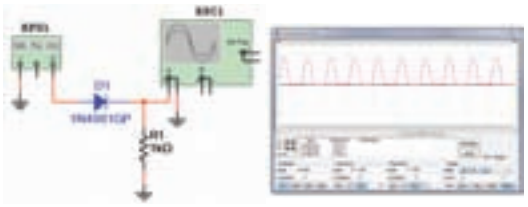
در مدت نیم سیکل منفی، دیود در بایاس معکوس قرار دارد و قطع است. لذا از مدار جریان عبور نمی‌کند. بنابراین، ولتاژ دو سر بار در نیم سیکل منفی، صفر است.

شکل ۴-۳ دیود را در نیم سیکل منفی که مانند کلید باز است نشان می‌دهد. در شکل ۴-۴، مدار یک سو ساز نیم موج را که توسط نرم‌افزار مولتی سیم بسته شده است

و هم چنین شکل موج دو سر بار را مشاهده می کنید.

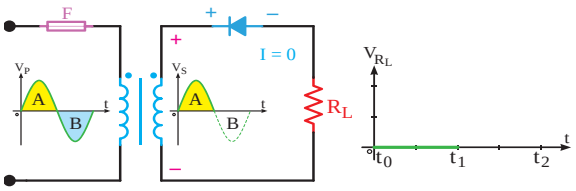


شکل ۳-۴ در این حالت دیود قطع است

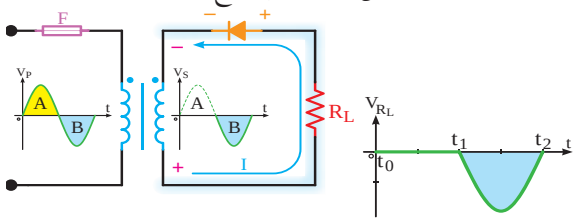


شکل ۴-۴ یک‌سو ساز نیم‌موج و شکل موج دو سر بار که توسط نرم افزار مولتی‌سیم بسته شده است

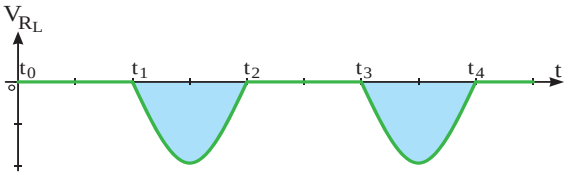
اگر دیود به طور معکوس بسته شود (نسبت به شکل ۲-۴) در مدت نیم سیکل مثبت قطع بوده، ولی در مدّت نیم سیکل منفی هادی است. لذا فقط در مدت نیم سیکل منفی دو سر بار ولتاژ خواهیم داشت. شکل ۵-۴ این مطلب را نشان می‌دهد.



در این حالت دیود قطع است



در این حالت دیود هادی است



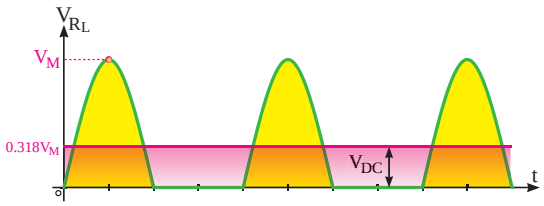
شکل ولتاژ خروجی

شکل ۵-۴ یک‌سو ساز نیم‌موج و شکل موج ورودی و خروجی آن

۴-۲-۲ متوسط ولتاژ دو سر بار: اگر ولت متر جریان مستقیم (dc) را در دو سر بار قرار دهیم، ولت متر چه ولتاژی را نشان می‌دهد؟ همان طور که می‌دانیم، ولت متر جریان مستقیم، مقدار ولتاژ متوسّط را و ولت متر جریانِ متناوب، مقدار ولتاژ مؤثر را نشان می‌دهد. چون در این مدار نوع ولتاژ مستقیم (یک طرفه) است. در این حالت ولت متر مقدار ولتاژ متوسط سیکل‌های یکسو شده را نشان خواهد داد. مقدار متوسّط این ولتاژ یک طرفه، برابر است با:

$$V_{dc} = \frac{V_M}{\pi} = ۰/۳۱۸ V_M$$

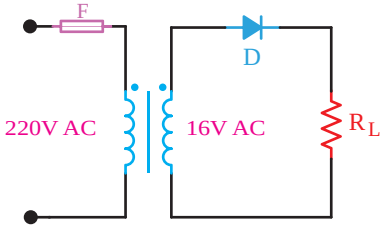
مقدار ولتاژ متوسط (dc) بر روی شکل ۶-۴ نشان داده شده است.



شکل ۶-۴ ولتاژ متوسط یک‌سو ساز نیم‌موج

مثال ۱-۴ مقدار ولتاژ dc شکل ۷-۴ چه قدر است؟ ولتاژ مؤثر ثانویه ترانسفورماتور ۱۶ ولت می‌باشد و دیود نیز ایده‌آل فرض می‌شود.

$$V_{dc} = ۰/۳۱۸ V_M$$
$$V_M = \sqrt{۲} \times V_e = ۱/۴۱ \times ۱۶ = ۲۲/۵۶$$
$$V_{dc} = ۰/۳۱۸ V_M = ۰/۳۱۸ \times ۲۲/۵ = ۷/۱۷ \text{ ولت}$$

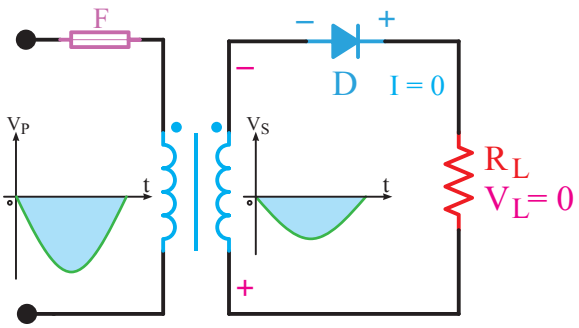


شکل ۷-۴ مربوط به محاسبه‌ی ولتاژ DC در یک‌سو ساز نیم‌موج

۴-۲-۳ حداکثر ولتاژ معکوس دو سر دیود: همان طور که می‌دانیم، یکی از پارامترهای مهم مشخصات الکتریکی دیود، تحمّل حدّاکثر ولتاژی است که در بایاس معکوس دو سر دیود قرار می‌گیرد. باید دید در یک سوکننده‌ی نیم موج، حداکثر ولتاژی که دو سر دیود در بایاس معکوس قرار می‌گیرد تا دیود نسوزد، چه قدر است؟

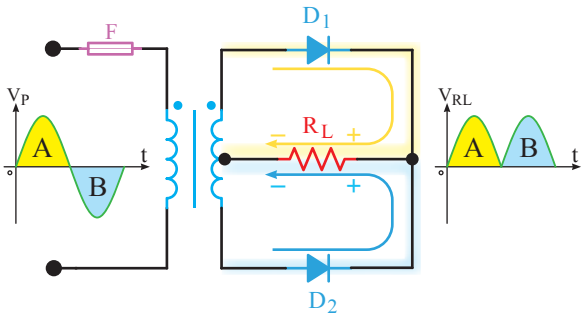
با توجه به شکل ۸-۴، هنگامی که دیود در بایاس معکوس قرار دارد (در مدت نیم سیکل منفی) جریان در مدار صفر و افت ولتاژ دو سر بار نیز صفر است. لذا، تمام ولتاژ نیم سیکل منفی در دو سر دیود قرار می‌گیرد. حداکثر این ولتاژ برابر حداکثر دامنه(Vm) است. ولتاژ معکوسی که دو سر دیود قرار می‌گیرد با حروف PIV و به صورت رابطه‌ی زیر برای یک سوساز نیم موج نشان داده شده است.

$$PIV=V_{max}$$
PIV=Peak Inverse Voltage



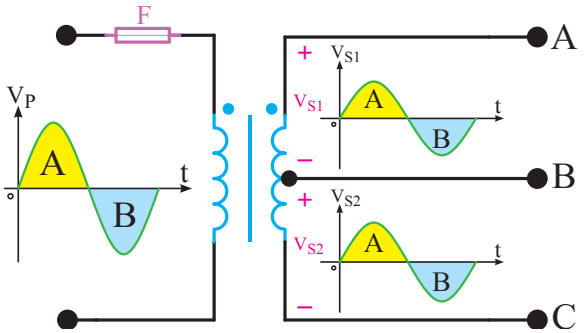
شکل ۸-۴ ولتاژ دیود در بایاس معکوس

۴-۲-۴ مدار یک سوکننده‌ی تمام موج با ترانس سر وسط: عیب یک سوکننده‌ی نیم موج، در کم بودن مقدار ولتاژ متوسّط است و مقدار آن از $0/318V_M$ بیش‌تر نمی‌شود. ضمناً، در این یک سوکننده از ولتاژ نیم سیکل منفی نیز استفاده‌ای نمی‌شود. گر چه در تعدادی از کاربردها از یک سوکننده‌ی نیم موج استفاده می‌شود. در یک سوکننده‌ی تمام موج، از دو دیود استفاده می‌شود و در ضمن در این مدار به یک ترانسفورماتور با دو سیم پیچ ثانویه با ولتاژهای مساوی نیاز است. شکل ۹-۴ یک سوکننده‌ی تمام موج را نشان می‌دهد.



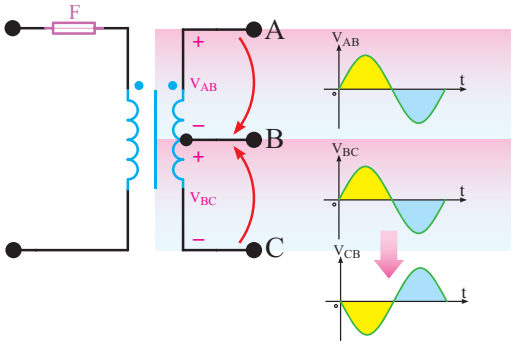
شکل ۹-۴ یک‌سو ساز تمام‌موج

برای این که دریابیم چگونه ولتاژ خروجی این مدار مانند شکل ۹-۴ می‌شود، باید ببینیم ولتاژهای ثانویه‌ی ترانسفورماتور، به چه صورت است؟ همان طوری که در شکل ۹-۴ پیداست، در این نوع یک سوکننده، از یک ترانسفورماتور با دو ولتاژ ثانویه‌ی کاملاً مساوی استفاده شده است. ترانسفورماتور شکل ۱۰-۴ را در نظر می‌گیریم.



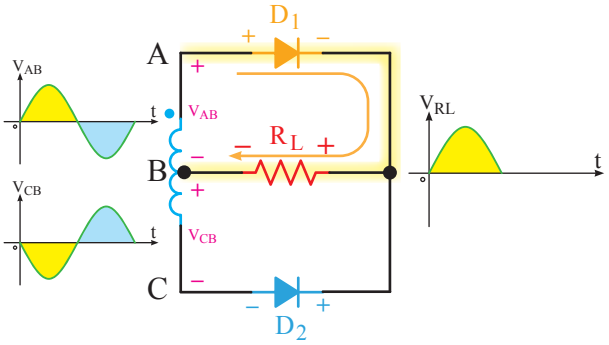
شکل ۱۰-۴ ترانسفورماتور با ثانویه‌ی سر وسط

ولتـاژ دو نقطه‌ی A و C دو برابـر ولتاژ نقاط AB و یا BC اسـت، زیرا دو ولتاژ با هم سـری شـده‌اند، یعنی $V_{AC} = V_{AB} + B_{BC}$. در نیـم سـیکل مثبـت، نقطه‌ی A مثبت‌تـر از نقطـه B و C و نقطـه‌ی B مثبت‌تر از نقطه‌ی C اسـت. اگر نقطه‌ی B (سر وسط ترانسفورماتور) را مبنا بگیریم، نقطه‌ی A نسـبت به مبنا (نقطـه‌ی B) مثبت‌تر و نقطه‌ی C نسـبت به مبنـا (نقطه‌ی B) منفی‌تر اسـت. این مطلب در شکل ۱۱-۴ نشان داده شده است.



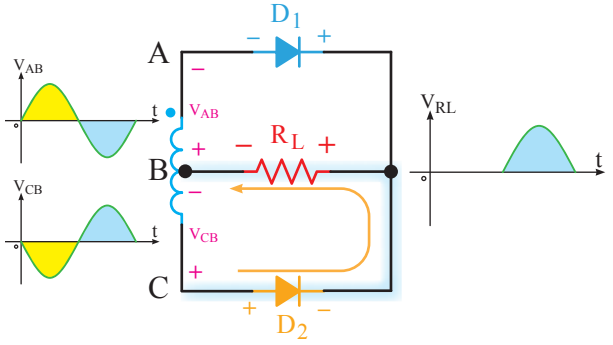
شکل ۱۱-۴ ولتاژهای ثانویه ترانس با سر وسط

اینک که با طرز کار ترانسـفورماتور با سـر وسط آشنا شدیم، به بیان طرز کار یک سو کننده‌ی تمام موج می‌پردازیم. در مدت نیم سـیکل مثبت، دیود D_1 در بایاس مستقیم است و دیود D_2 در بایاس معکوس قرار دارد. بنابراین، فقط دیود D_1 هدایت می‌کند. لذا، تمام ولتاژ نیم سیکل مثبت V_{AB} در دو سربار، ظاهر می‌گردد. (شکل ۱۲-۴)



شکل ۱۲-۴ نمایش عملکرد D۱ و D۲ در مقابل سیگنال‌های ورودی و ولتاژ دو سر بار

در مدت نیم سـیکل منفی، همان طوری که از شکل ۱۳-۴ مشـاهده می‌شـود، دیود D_2 در بایاس مسـتقیم و هادی و دیود D_1 در بایاس معکوس قرار گرفته است. در این حالت تمام ولتاژ V_{CB} دو سربار، ظاهر می‌گردد.

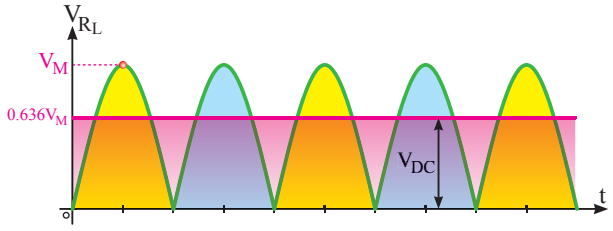


شکل ۱۳-۴ عملکرد D۱ و D۲ در مقابل سیگنال ورودی و ولتاژ دو سر بار

۴-۲-۵ معدل ولتاژ دو سـر بار: مقدار ولتاژ متوسط خروجی، در یک سـو کننده‌ی تمام مـوج، دو برابر ولتاژ یک سو شده‌ی نیم موج است، یعنی:

$$V_{dc} = ۲\frac{V_m}{\pi} = ۲(۰/۳۱۸V_m) = ۰/۶۳۶V_m$$

شـکل ۱۴-۴ معدل ولتاژ دو سر بار را در یک سو ساز تمام موج نشان می‌دهد.

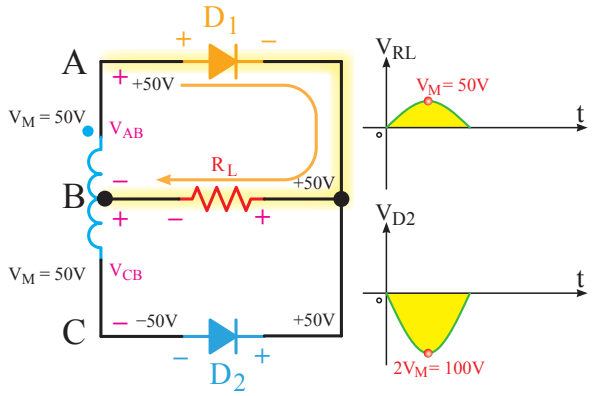


شکل ۱۴-۴ معدل ولتاژ دو سر بار

۴-۲-۶ حداکثـر ولتـاژ معکـوس دو سـر دیود: حداکثر ولتاژی که در بایاس معکوس، در دو سر هر یک از دیودها قرار می‌گیرد، برابر $۲V_M$ است. با توجه به شکل ۱۵-۴، فرض می‌کنیم ولتاژ ماکزیمم V_{AB} ترانسفورماتور

برابر ۵۰ ولت باشد، زمانی که دیود D_2 در بایاس معکوس قـرار دارد، به اندازه ۵۰- ولت ولتاژ در آندِ آن ۵۰+ ولت ولتـاژ در کاتدِ آن قرار می‌گیرد و اختلاف ولتاژ دو سـر آن برابر $۱۰۰V = (-۵۰) - +۵۰$ اسـت. رابطه‌ی ماکزیمم ولتاژ معکوس در یک سـوکننده‌ی تمام موج به صورت زیر نوشته می‌شود:

$PIV = ۲V_M$ یک‌سو کننده تمام موج



شکل ۱۵-۴ ولتاژ معکوس دوسر دیود در یک‌سو ساز تمام موج

مثال ۲-۴: در یک سوکننده‌ی تمام موج، اگر ولتاژ ثانویه‌ی یک ترانسفورماتور (سر وسط و یکی از سرهای دیگر) برابر ۳۰ ولت باشد، مقدار ولتاژ متوسط و حدّاکثر ولتاژی را، که دو سـر هر یـک از دیودها قرار می‌گیرد، حساب کنید.

حل:

$V_{dc} = ۰/۶۳۶V_M$

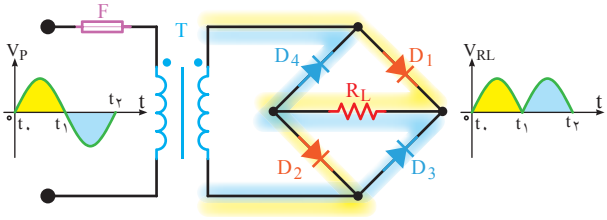
$V_M = V_e \times \sqrt{۲} = ۳۰ \times ۱/۴۱ = ۴۲/۳$ ولت

$V_{dc} = ۰/۶۳۶ \times ۴۲/۳ = ۲۶/۹$ ولت

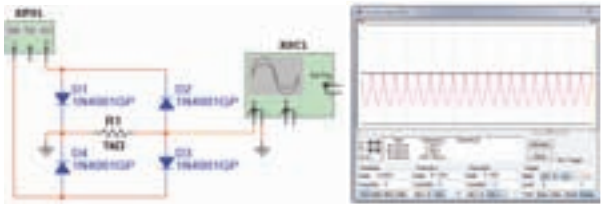
$PIV = ۲V_M = ۲ \times ۴۲/۳ = ۸۴/۶$ ولت

۴-۲-۷ مدار یک سـوکننده‌ی تمام موج پل:

نوع دیگری از یک سـوکننده‌ی تمام موج، یک‌سـوکننده‌ی پل است. شکل ۱۶-۴- الف یک مدار یکسوکننده‌ی پل را، همراه با شکل موج یکسو شده، نشان می‌دهد. تصویر نرم‌افزاری این مدار را، که توسـط مولتی سـیم بسته شده است در شکل ۱۶-۴- ب مشاهده می‌کنید.



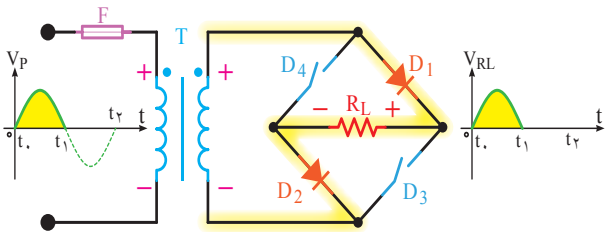
الف



ب

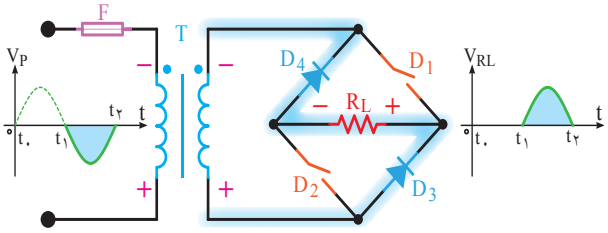
شکل ۱۶-۴ یک‌سو ساز پل و شکل ولتاژ دو سر بار همراه با مدار نرم‌افزاری

همان طوری که از شکل ۱۶-۴ پیداست، در این مدار یکسـو کننده، از چهار دیود و یک سـیم پیچ برای ولتاژ ثانویه‌ی ترانسفورماتور استفاده شده است. طرز کار مدار با توجه به شـکل ۱۷-۴ به این صورت است که در مدت نیم سـیکل مثبت، دیودهای D_1 و D_2 در بایاس مسـتقیم و دیودهـای D_3 و D_4 در بایـاس معکوس قـرار دارند. بنابرایـن ،جریان از دیود D_1 و بار R_L و دیود D_2 مسـیر خـود را می‌بندد. با توجه به این که دیودها ایده‌آل فرض شـده‌اند، لذا تمام ولتاژ ثانویه‌ی ترانسفورماتور دو سر بار ظاهر می‌گردد.



شکل ۴-۱۷ نحوه‌ی عملکرد یک‌سو ساز پُل دیود در نیم سیکل مثبت

در مدت نیم سیکل منفی، با توجه به شکل ۴-۱۸، دیودهای D_3 و D_4 در بایاس موافق و دیودهای D_1 و D_2 در بایاس معکوس قرار دارند. لذا، جریان از طریق دیودهای D_3 و D_4 و بار R_L مسیر خود را می‌بندد. در این حالت نیز تمام ولتاژ در دو سر بار ظاهر می‌گردد.

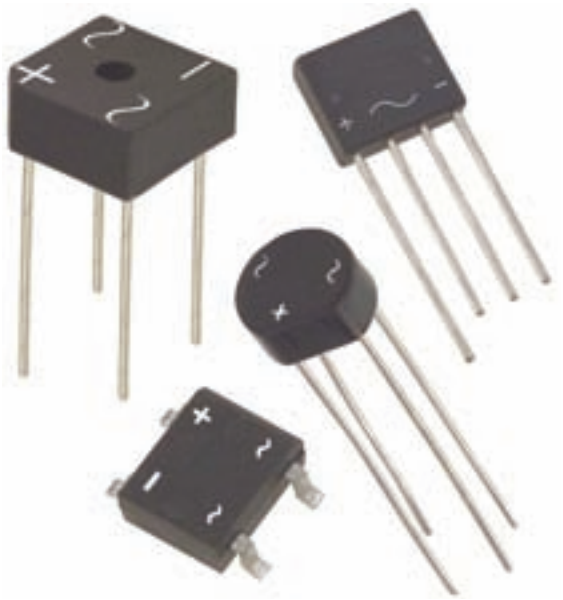


شکل ۴-۱۸ نحوه‌ی عملکرد یک‌سو ساز پل دیود در نیم سیکل منفی

مقدار ولتاژ متوسط یک سوساز پل نیز برابر با یک سوکننده‌ی تمام موج با ترانس سر وسط است. یعنی:

$$V_{dc} = ۰/۶۳۶ V_M$$

در مدار یک سوکننده‌ی پل، حدّاکثر ولتاژی که در بایاس معکوس دو سر هر دیود قرار می‌گیرد برابر با V_M است، زیرا با توجه به شکل ۴-۱۸ در مدت نیم سیکل منفی، دیود D_3 و D_4 هادی و دیودهای D_1 و D_2 در بایاس معکوس قرار دارند. پس ولتاژی که در بایاس معکوس دو سر هر دیود اعمال می‌شود برابر V_M است. معمولاً چهار عدد دیودی که به صورت پل بسته می‌شوند، به صورت قطعه‌ی یک‌پارچه ساخته می‌شوند. شکل ۴-۱۹ نمونه‌ای از این نوع پل دیود را نشان می‌دهد. این قطعه دارای چهار پایه است، دو پایه‌ی آن را با علامت (~) مشخص می‌کنند (ولتاژ متناوب به این دو پایه وصل می‌شود). دو پایه‌ی دیگر پل، ولتاژ خروجی و یکسو شده را به ما می‌دهد که با علامت (+) (قطب مثبت) و (−) (قطب منفی) مشخص می‌شود.



شکل ۴-۱۹ نمونه‌های پُل دیود

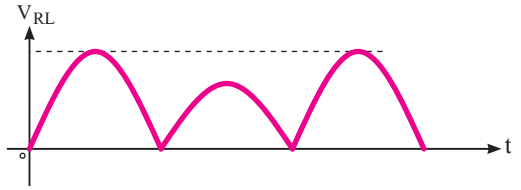
۴-۳ مقایسه‌ی مدار یکسو کننده‌ی تمام موج با ترانس سر وسط و پل

همان طور که دیدیم شکل موج و مقدار ولتاژ متوسط خروجی (دو سربار) در هر دو مدار یک سو کننده، کاملاً یک‌سان است ولی هر یک از مدارهای تمام موج و پل، از نظر المان‌های به کار برده شده خصوصیاتی دارند. تفاوت آن‌ها در جدول ۴-۱ آمده است.

جدول ۴-۱ تفاوت‌های یک‌سوکننده‌ی تمام موج با ترانس سر وسط و تمام موج پل

یک‌سو کننده‌ی تمام موج با ترانس سر وسط	یک‌سو کننده‌ی تمام موج پل
۱- نیاز داشتن به یک ترانسفورماتور با دو سیم پیچ ثانویه‌ی مساوی	نیاز داشتن فقط به یک سیم پیچ ثانویه
۲- احتیاج داشتن به دو دیود	احتیاج داشتن به چهار دیود
۳- برابر بودن حداکثر ولتاژ معکوس هر دیود با $2V_M$	برابر بودن حداکثر ولتاژ معکوس هر دیود با V_M
۴- عدم امکان وصل کردن به شبکه، بدون ترانسفورماتور	امکان وصل کردن به شبکه، بدون ترانسفورماتور

علاوه بر مـوارد فوق، اگر در یک‌سـوکننده‌ی تمام موج، دو ولتاژ ثانویه‌ی ترانسـفورماتور با هم برابر نباشند، شکل موج خروجی به صورت شکل ۴-۲۰ خواهد شد.



شکل ۴-۲۰ شکل موج خروجی در صورتی که ولتاژهای ثانویه‌های ترانسفورماتور با هم برابر نیستند

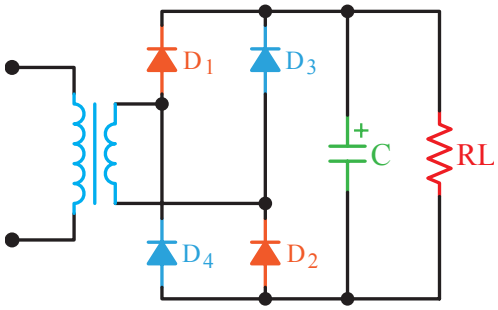
ولـی در جریان‌هـای زیـاد، از آن جایـی که قیمت دیودهای با آمپر زیاد، گران است، یک سوکننده‌ی تمام موج با ترانس سر وسط ترجیح داده می‌شود، زیرا فقط دو دیود در مدار آن به کار رفته است.

۴-۴ صافی‌ها (Filters)

همان طور که دیدیم، توسـط دیودهـا می‌توان ولتاژ متنـاوب را به ولتاژ یک طرفـه (dc) تبدیل نمود، امّا این ولتاژ یک سو شـده دارای نوسان‌هایی است (با فرکانس ۱۰۰ هرتز در یک سوکننده‌ی تمام موج و ۵۰ هرتز در یک سوکننده‌ی نیم موج). در الکترونیک بیش‌تر به یک ولتاژ ثابت نیاز داریم. برای این که بتوانیم این ولتاژ نوسان‌دار را به یک ولتاژ ثابت تبدیل کنیم، باید از المان‌هایی استفاده کنیـم که بتوانند انرژی الکتریکی را در خود ذخیره کنند و موقعی که ولتاژ یک سـو شـده از مقدار V_M به مقدار صفـر میل می‌کند، ایـن المان، انرژی ذخیره شـده را به مصـرف کننده بدهد. المان‌هایی کـه می‌توانند انرژی را در خود ذخیره کنند سـلف و خازن هستند. در توان‌های کم از خازن و در توان‌های زیاد از سلف استفاده می‌شود. ضمن این که در توان‌های بالا از یک سوکننده‌های چند فازه استفاده می‌شود.

در مدارهای الکترونیکی، برای ثابت کردن ولتاژ یکسو شـده از سـلف، کم‌تر استفاده می‌شـود، زیرا سلف دارای حجم، وزن و قیمت زیاد است لذا از خازن که دارای حجم کم هم چنین ارزان‌تر است استفاده می‌شود. بنابراین در این جا فقط صافی خازنی مورد بحث قرار می‌گیرد.

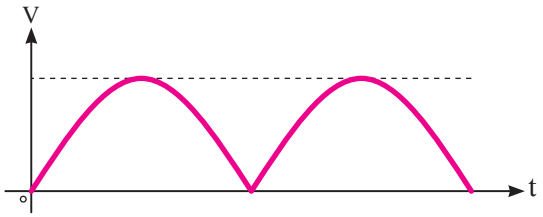
۴-۴-۱ صافـی خازنی: زمانی کـه خازن به صورت صافـی به کار می‌رود، به طور موازی با بار قرار می‌گیرد. (شکل ۴-۲۱)



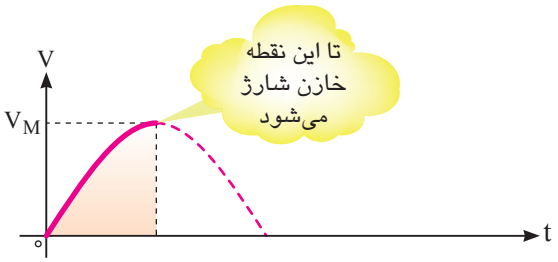
شکل ۴-۲۱ مدار یک‌سو ساز پل با صافی خازنی

چگونگی صاف شـدن ولتاژ، به این صورت است که

ابتـدا از مقدار صفـر تا ماکزیمم ولتاژ نیم سـیکل مثبت، (مطابق شکل ۲۲-۴) در خازن ولتاژ ذخیره می گردد.

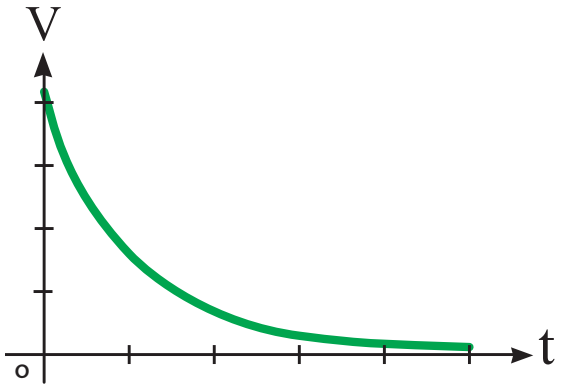


شکل ولتاژ یک‌سو شده تمام موج



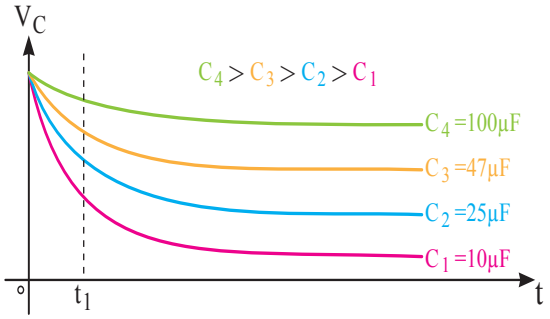
شکل ۲۲-۴ نحوه‌ی شارژ خازن در صافی خازنی

زمانی که ولتاژ خروجی از مقدار V_M کم‌تر می‌شود، دیودهای یکسو کننده در بایاس معکوس قرار می گیرند. بنابراین ولتاژ دو سر بار از خازن تأمین می گردد. به عبارت دیگر، خازن از طریق بار دشـارژ می گردد. همان طور که می‌دانیم، منحنی دشـارژ خازن (مطابق شـکل ۲۳-۴) به صورت تابع نمایی نزولی است.



شکل ۲۳-۴ منحنی دشارژ خازن

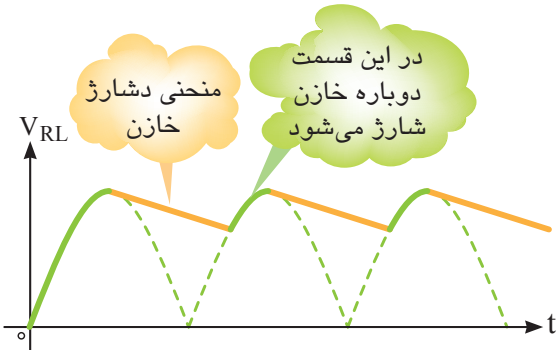
شـیب منحنی، بـه مقدار بار و ظرفیت خازن بسـتگی دارد. در شـکل ۲۴-۴، منحنی دشـارژ خازن برای چهار نوع ظرفیت خازن با بار مساوی رسم شده است.



شکل ۲۴-۴ اثر ظرفیت خازن روی منحنی دشارژ خازن

همان طور که دیده می‌شـود، هر چـه ظرفیت خازن بزرگ‌تر باشد، زمان دشـارژ آن نیز در یک بار مساوی، بیش‌تر است.

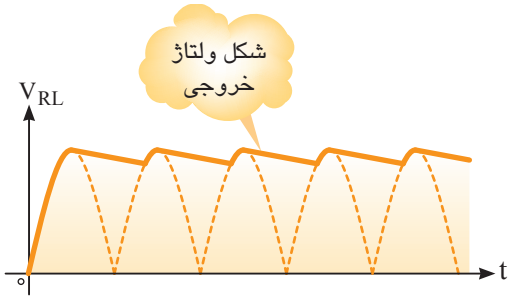
شـکل ۲۵-۴، منحنی دشـارژ خازن در دو سر بار را نشان می‌دهد.



شکل ۲۵-۴ منحنی شارژ و دشارژ خازن در بار

شـکل ۲۶-۴ الف و ب منحنی دشـارژ خازن را برای دو نوع خـازن با ظرفیت کم و زیاد در یک بارِ مسـاوی نشان می‌دهد.

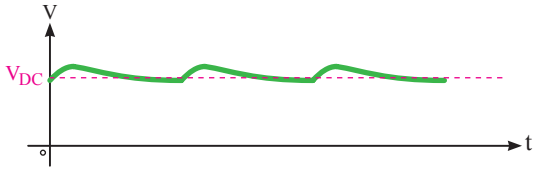
۲۶-۴ الف- ظرفیت خازن کم



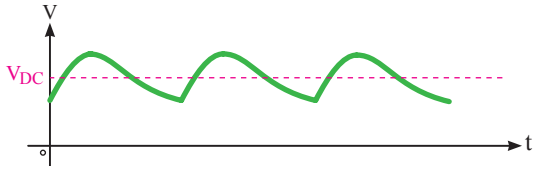
۴-۲۶ ب- ظرفیت خازن زیاد

شکل ۴-۲۶ اثر ظرفیت خازن روی شکل موج خروجی

شکل ۴-۲۷ الف و ب، منحنی ولتاژ خروجی را، به ازای جریان خروجی کم‌تر و بیش‌تر برای یک ظرفیّت خازن، نشان می‌دهد.



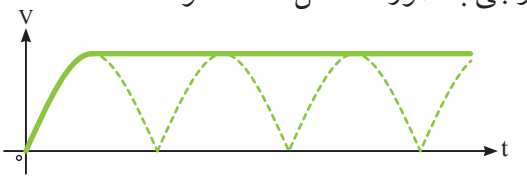
الف- به ازای جریان کم‌تر



ب- به ازای جریان بیش‌تر

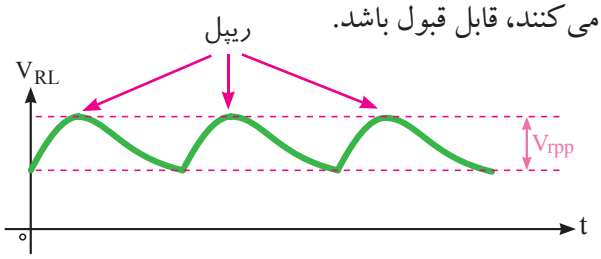
شکل ۴-۲۷ شکل ولتاژ دو سر بار

به ازای بارهای مختلف اگر به خروجی یکسو کننده همراه با صافی خازنی هیچ باری وصل نشود، ولتاژ خروجی به صورت شکل ۴-۲۸ خواهد شد.



شکل ۴-۲۸ ولتاژ خروجی یک‌سو ساز با صافی خازنی در حالت بدون بار

به قسمت‌هایی که در شکل ۴-۲۹ نشان داده شده است ولتاژ ضربان یا ریپل (Ripple) گویند. دامنه‌ی پیک تا پیک ریپل باید برای تمامی مدارهایی که با ولتاژ dc کار می‌کنند، قابل قبول باشد.



شکل ۴-۲۹ ولتاژ ضربان

۴-۴-۲ محاسبه‌ی ظرفیت خازن صافی:

ظرفیت تقریبی خازن را با توجّه به میزان ولتاژ ریپل قابل قبول می‌توان از رابطه‌ی زیر به دست آورد.

$$C\ (\text{فاراد}) = \frac{\text{جریان خروجی}}{\text{فرکانس موج یک‌سو شده} \times V_{r.pp}}$$

برای یک‌سو کننده‌ی نیم‌موج $C\ (\text{فاراد}) = \frac{I_{out}}{۵۰ \times V_{r.pp}}$

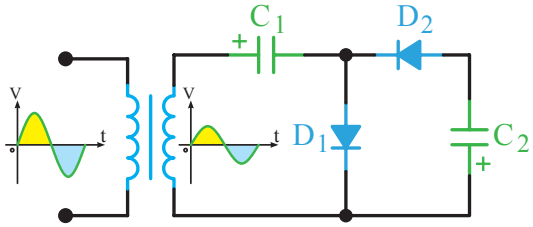
برای یک‌سو کننده‌ی تمام موج و پل $C\ (\text{فاراد}) = \frac{I_{out}}{۱۰۰ \times V_{r.pp}}$

۴-۵ چند برابر کننده‌های ولتاژ

با استفاده از دیود و خازن می‌توان، ضمن یک سو کردن ولتاژ متناوب، آن را چند برابر نیز نمود. کاربرد چند برابر کننده‌ها، در مواردی است که جریان زیاد مورد نیاز نباشد (حدود چند صد میکروآمپر). چند برابر کننده‌ها معمولاً در ولتاژهای بسیار بالا (حدود کیلو ولت) به کار می‌روند. مانند قسمت ولتاژ زیاد تلویزیون، که در آنجا ولتاژی حدود ۲۵ کیلو ولت مورد نیاز است. ابتدا ولتاژی حدود ۵ کیلو ولت را توسط ترانسفورماتور ایجاد می‌کنند، سپس آن را توسط یک مدار پنج برابر کننده به مقدار حدود ۲۵ کیلو ولت می‌رسانند. مزایای این عمل، صرفه‌جویی در حجم و قیمت ترانسفورماتور افزاینده‌ی

ولتاژ است. زیرا عایق کاری ترانسفورماتور ۲۵ کیلو ولت مشکل اســت، ضمن این که میدان‌های مغناطیسی زیادی را در اطراف خود تولید می‌نماید. هم چنین ولتاژ معکوس دیودهای یک ســو کننده در چند برابر کننده‌ها، نسـبت به یک ســو کننده‌ی ولتاژ زیاد ترانسـفورماتور، کاهش می‌یابد. اینک مدارات دو، سه و چهار برابر کننده، مورد بررسی قرار می‌گیرند.

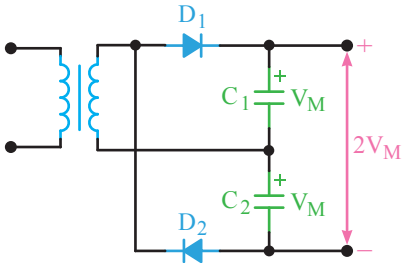
۴-۵-۱ دو برابر کننده‌های ولتاژ: شکل ۴-۳۰ یک مدار دو برابر کننده‌ی ولتاژ نیم موج را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۳۰ دو برابر کننده‌ی ولتاژ

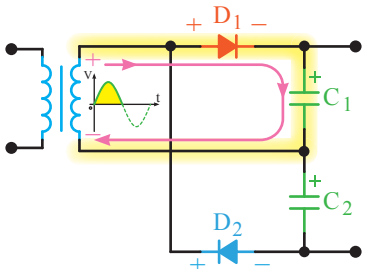
در این مدار، بعد از چند سیکل خازن C_1 تا ماکزیمم ولتاژ ثانویه ترانسـفورماتور (V_m) و خـازن C_2 تا $2V_m$ شارژ می‌شـود. از توضیح نحوه‌ی شـارژ خازن‌ها صرف نظر شده است.

نوع دیگر مدار دو برابر کننده‌ی ولتاژ، در شکل ۴-۳۱ رسم شـده اسـت. این مدار، دو برابر کننده‌ی ولتاژ تمام موج نام دارد.



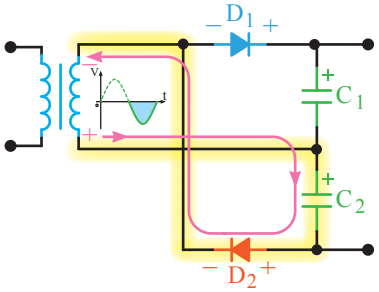
شکل ۴-۳۱ نوع دیگری از مدار دو برابر کننده‌ی ولتاژ

طرز کار مدار، به این صورت اسـت که در مدت نیم سـیکل مثبت ولتاژ ثانویه‌ی ترانسفورماتور، دیود D_1 در بایاس مسـتقیم قرار گرفته و هادی است. لذا خازن C_1 تا مقدار حدّاکثر (V_M) شـارژ می‌شود. در این حالت، دیود D_2 در بایاس معکوس قرار گرفته و قطع اسـت. (شـکل ۴-۳۲)



شکل ۴-۳۲ عملکرد مدار در نیم سیکل مثبت

در مدت نیم سیکل منفی ولتاژ ثانویه‌ی ترانسفورماتور، دیود D_2 در بایاس مسـتقیم اسـت. خـازن C_2 تا مقدار حداکثر ولتاژ (V_M) شـارژ می‌شود. در این حالت، دیود D_1 در بایاس معکوس بوده، قطع اسـت. (شـکل ۴-۳۳) اگر باری به مدار وصل نشـود، مقدار ولتاژ خروجی برابر $2V_M$ ثابـت می‌ماند در حالی که ولتاژ دو سـر هر خازن V_M اسـت و هر یک، فقط در مدت نیم سـیکل شـارژ می‌شوند.

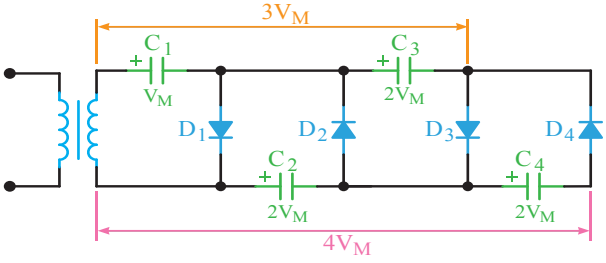


شکل ۴-۳۳ عملکرد مدار در نیم سیکل منفی

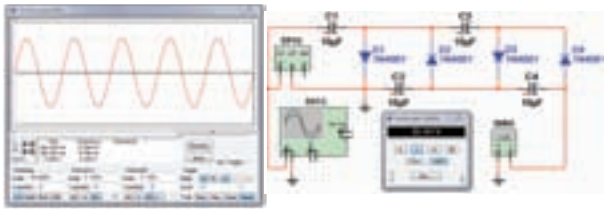
بنابراین، شـکل موجی که خازن‌ها را شـارژ می‌کند بـه صورت تمام موج خواهد بود (بـه عبارت دیگر مدار

توسط ولتاژ یک سو شـده‌ی 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.

۴-۵-۲ سه و چهار برابر کننده‌های ولتاژ: یک مدار سـه و چهار برابر کننده‌ی ولتاژ، در شـکل ۴-۳۴- الف نشـان داده شـده اسـت. در حقیقت این مدار، یک مدار دو برابر کننده‌ی ولتاژ اسـت 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 شـده اسـت. این مدار می‌تواند با اضافه شـدن متوالی دیودها و خازن‌ها به عنوان یک مدار پنج و شـش و ... برابر کننده، به کار آید. در شـکل ۴-۳۴- ب، این مدار را که توسط نرم‌افزار مولتی سیم بسته شده است، مشاهده می‌کنید.



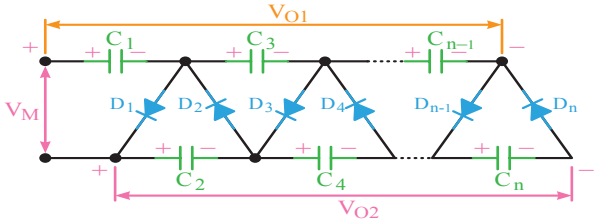
الف



ب

شکل ۴-۳۴ مدار سه و چهار برابر کننده‌ی ولتاژ

طـرز کار مـدار به طور سـاده و خلاصه بـا توجه به شـکل ۴-۳۳ به این صورت است که در مدت نیم سیکل مثبـت ولتاژ ثانویه‌ی ترانسـفورماتور، خازن C_1 از طریق دیود D_1 به اندازه‌ی ولتاژ ماکزیمم (V_M) شارژ می‌شود. خازن C_2 در مدت نیم سـیکل منفی و از طریق دیود D_2 به اندازه‌ی $2V_M$ شارژ می‌گردد (بعد از چند سیکل). در مدت نیم سـیکل مثبت بعدی، خـازن C_3 از طریق دیود D_3 به اندازه $2V_M$ شـارژ می‌شود (بعد از چند سیکل) و در مدت نیم سـیکل منفی خازن C_4 از طریق دیود D_4 به اندازه $2V_M$ شارژ می‌گردد (در این حالت ولتاژ ثانویه‌ی ترانسـفورماتور و ولتاژ خـازن C_1 و C_3 با هم جمع و به اندازه‌ی $4V_M$ می‌شوند که بین دو خازن C_2 و C_4 تقسیم می‌گردد.) بنابراین، در این مدار ولتاژ هر خازن به اندازه‌ی $2V_M$ و ولتاژ معکوس هر دیود به اندازه‌ی $2V_M$ اسـت. شـکل ۴-۳۵، یک مدار n برابرکننده را نشـان می‌دهد. خازن‌های ردیف بالا، نمایشـگر اعداد فرد مقدار شـارژ، نسبت به ابتدای مدار و خازن‌های ردیف پایین، نمایشگر اعداد زوج مقدار شارژ، نسبت به ابتدای مدار است.



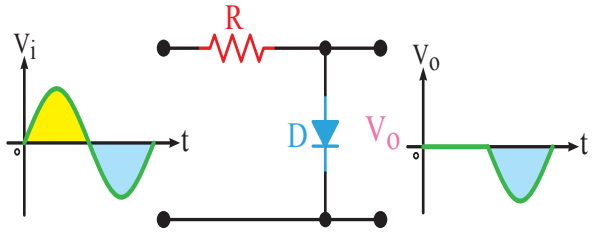
شکل ۴-۳۵ مدار n برابر کننده‌ی ولتاژ

۴-۶ برش دهنده‌ها (Clippers)

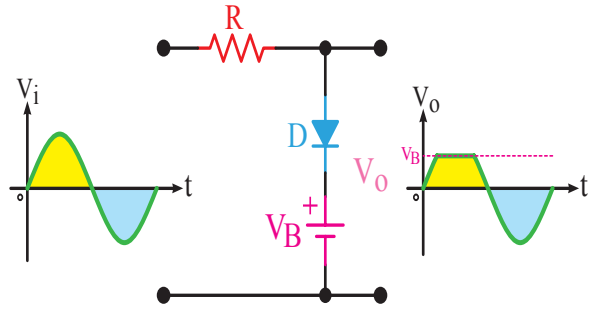
در بسـیاری از موارد، از جمله در دیجیتال و کامپیوتر لازم می‌شـود که دامنه‌ی سـیگنال‌ها از قسـمت مثبت یا منفی یا هر دو به انـدازه‌ی معینی محدود گردد. مدارات برش دهنده‌ها چنین عملی را انجام می‌دهند.

۴-۶-۱ برش دهنده‌ی موازی:

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



الف- مدار برش دهنده‌ی نیم سیکل مثبت



ب- مدار برش دهنده‌ی قسمتی از نیم سیکل مثبت

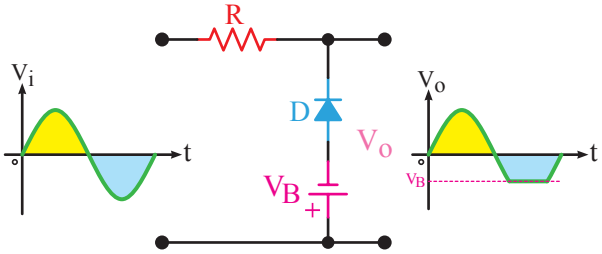
شکل ۴-۳۶ مدار برش دهنده‌ی مثبت

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 اندازه‌ی 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.

ب) برش دهنده‌ی 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 اندازه‌ی 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 مجدّداً عین ولتاژ ورودی می‌شود.

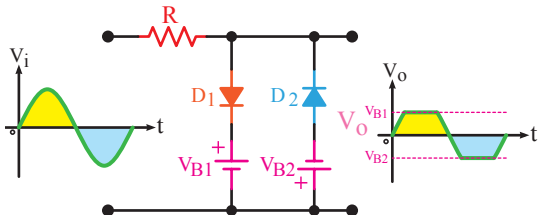


شکل ۴-۳۷ مدار برش دهنده‌ی قسمتی از نیم سیکل منفی

۴-۶-۲ برش دهنده‌ی دو طرفه:

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

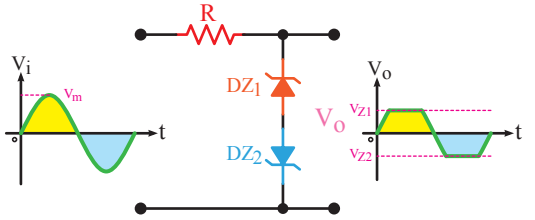
مدار برش دهنده‌ی دو طرفه را می‌توانیم با استفاده از دو دیود زنر نیز انجام دهیم. شکل ۴-۳۹ یک برش دهنده‌ی دو طرفه با استفاده از دیود زنر را نشان می‌دهد.



شکل ۳۸-۴ مدار برش دهنده‌ی دو طرفه

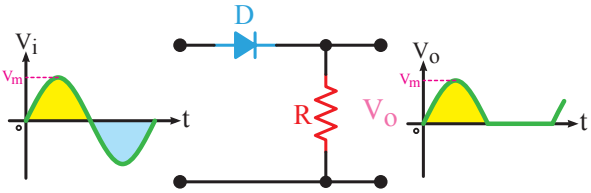
تمرین: طرز کار مدار شکل ۳۹-۴ را توضیح دهید.

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.

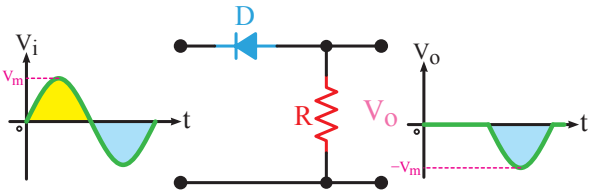


شکل ۳۹-۴ برش دهنده‌ی مثبت و منفی با استفاده از دیود زنر

۴-۶-۳ برش‌دهنده‌های 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 ۴۰-۴ و ۴۱-۴ این مدارها را ملاحظه می‌کنید.

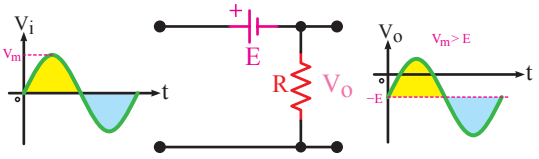


شکل ۴۰-۴ برش دهنده‌ی سری برای نیم سیکل منفی

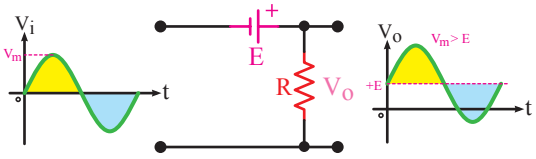


شکل ۴۱-۴ برش دهنده‌ی سری برای نیم سیکل مثبت

چنان چه طبق شکل ۴۲-۴ و ۴۳-۴ 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.

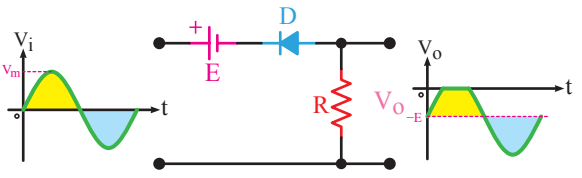


شکل ۴۲-۴ منبع ولتاژ AC سری با DC

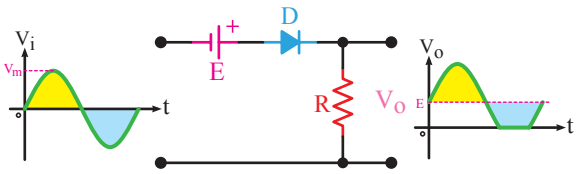


شکل ۴۳-۴ منبع ولتاژ AC سری با DC

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 ۴۴-۴، برش دهنده‌ی قسمتی از نیم سیکل مثبت و در شکل ۴۵-۴ برش دهنده‌ی قسمتی از نیم سیکل منفی را ملاحظه می‌کنید.



شکل ۴۴-۴ برش دهنده‌ی قسمتی از نیم سیکل مثبت



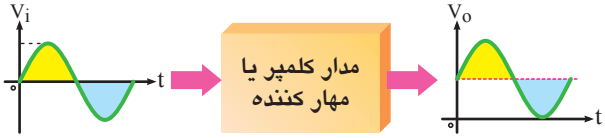
شکل ۴۵-۴ برش دهنده‌ی قسمتی از نیم سیکل منفی

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.

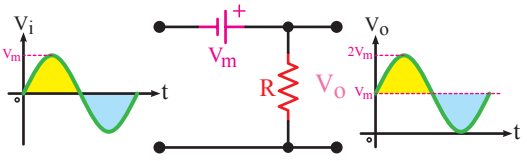
۴-۷ مدارهای مهار کننده (Clampers)

در مدار مهار کننده، تنها کاری که انجام می‌گیرد اضافه شدن مؤلفه‌ی dc به سیگنال است. عمل مهار کنندگی در شکل ۴۶-۴ 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.

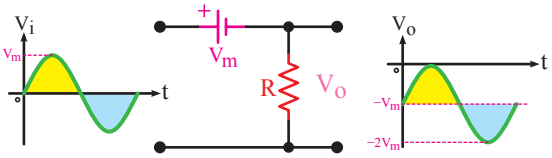


شکل ۴۶-۴ عمل مهار کنندگی

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 ۴۷-۴، مهارکننده‌ی مثبت و شکل ۴۸-۴ مهار کننده‌ی منفی را نشان می‌دهد.

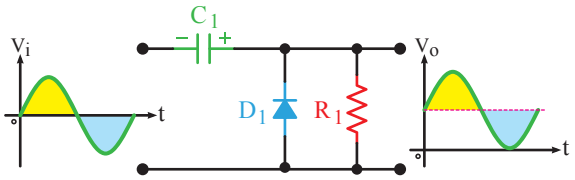


شکل ۴۷-۴ مدار مهار کننده‌ی مثبت



شکل ۴۸-۴ مدار مهار کننده‌ی منفی

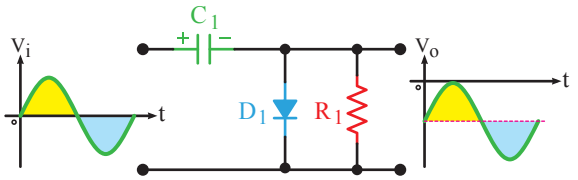
اما در عمل، در مهار کننده‌ها از باتری استفاده نمی‌شود، بلکه به جای آن خازن و دیود مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۴۹-۴، یک مهار کننده‌ی مثبت را با استفاد از خازن نشان می‌دهد.



شکل ۴۹-۴ 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 Vm شارژ می‌شود (دیود D در این مدت اتصال کوتاه است).

قطب‌های ولتاژ شارژ شده در شکل نشان داده شده است. در مدّت 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 ۵۰-۴ یک مدار مهار کننده منفی را نشان می‌دهد.



شکل ۵۰-۴ 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 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:

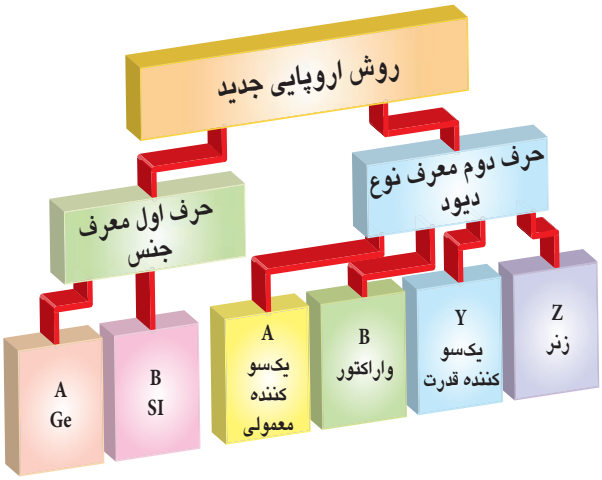
۴-۸-۱ روش ژاپنی: در این روش نام‌گذاری از عدد ۱ و حرف S، که به دنبال آن می‌آید استفاده می‌شود و به دنبال آن تعدادی شماره خواهد آمد که با مراجعه به جدول می‌توان مشخّصات الکتریکی آن‌ها را به دست آورد. در این روش، جنس و نوع دیود مشخص نیست. برای مثال، دیود 1S3010A دیود زنر است (در موارد زیادی برای دیودهای زنر حرف A را در انتهای شماره‌ها می‌آورند) و دیود 1S310 یک دیود معمولی و دیود 1S2049 دیود واراکتور است.

۴-۸-۲ 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 مشخّصات الکتریکی آن‌ها را به دست آوریم. مانند دیود OA۳۴. امّا 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 معیّن می‌گردند.

در ذیل روش نامگذاری دو حرفی و سه شماره‌ای خواهد آمد.

حرف اوّل، جنس نیمه هادی به کار رفته در دیود را مشخّص 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)



شکل ۴-۵۲ نام‌گذاری دیودها به روش اروپایی جدید

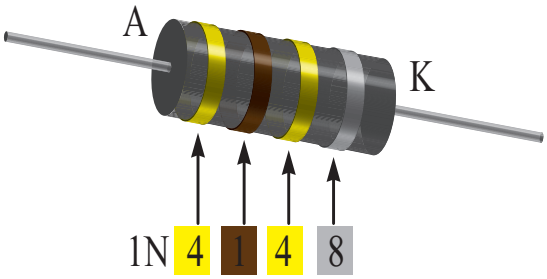
بعد از حروف، شماره‌هایی آورده می‌شود که می‌توان با مراجعه به جدول، مشخصّات الکتریکی آن را به دست آورد. در ذیل تعدادی از دیودها، که به این روش نام‌گذاری شده‌اند، آمده است.

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، مشخصّات الکتریکی و نوع دیود را تعیین کرد. بعضی مواقع نیز به جای ارقام بعد از 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 مشخصّه‌های الکتریکی دیود، باید با توجه به شماره‌ی دیود، به جدول‌های مربوط مراجعه نمود. یکی از این جدول‌ها که حاوی مشخصّات 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 واراکتور نیز آمده است.

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

جدول ۲-۴ مشخصات دیود

TYPE	Manufacturer	Germanium Silicon	V_R V	I_F mA	I_{FRM} mA	T_j °C	R_{thj-a} °C/W	I_F at V_F mA	V_F V	C_D at V_R pF	V_R V	t_{rr} from I_F to V_R at R_L sec	I_F mA	V_R V	R_L Ω	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
S سیلیسیم
G ژرمانیم

ماکزیمم ولتاژ معکوس مجاز

مقدار متوسط جریان مجاز

مقدار ماکزیمم جریان مجاز تکراری

ماکزیمم درجه حرارت قابل تحمل محل پیوند PN

مقاومت حرارتی دیود از محل پیوند PN به محیط

به ازای عبور این جریان از دیود

افت ولتاژ دو سر دیود به وجود می‌آید

شکل‌ظاهری و ابعاد دیود که در ذیل همین صفحات، با توجه به شماره‌ای که قید شده است، رسم شده‌اند.

کاربرد مراجعه به جدول ۲-۴

مقاومت بار ↑

ولتاژ معکوس ↑

جریان عبوری از مدار به ازای ↑

زمان بازیابی دیود ↑

این مقدار ولتاژ معکوس

ظرفیت خازن محل اتصال PN به ازای

جدول ۳-۴ کاربرد انواع دیودها

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

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

را در یک سوکننده‌های نیم موج، تمام موج و پل با هم مقایسه کنید.

۴-۱۰-۸ اصول کار چند برابرکننده‌های ولتاژ را توضیح دهید.

۴-۱۰-۹ یک مدار ۷ برابرکننده‌ی ولتاژ رسم کنید و درباره‌ی آن توضیح دهید.

۴-۱۰-۱۰ کاربرد چندبرابرکننده‌های ولتاژ را نام ببرید.

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

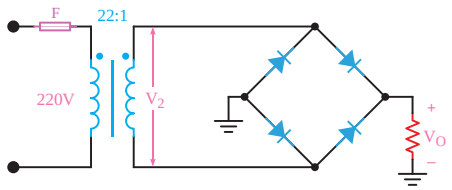
۴-۱۰-۱۲ کاربرد مدارهای قیچی کننده را بنویسید.

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

۴-۱۰-۱۴ روش‌های نام گذاری دیود را نام ببرید.

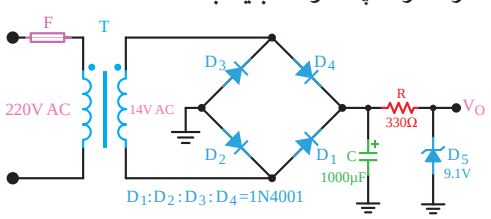
۴-۱۰-۱۵ طرز استفاده از کاتالوگ و جدول‌های مربوط به دیودها را با ذکر مثال توضیح دهید.

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



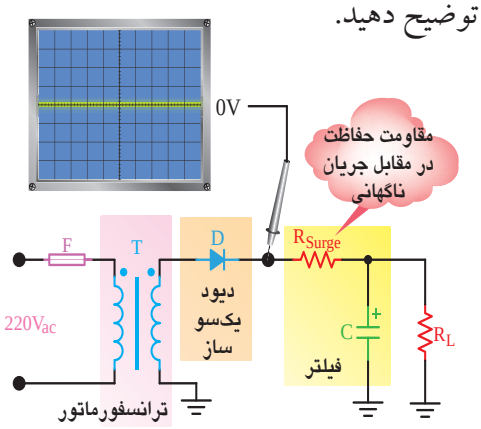
شکل ۴-۵۴ مدار یک‌سو ساز تمام موج پُل با بار

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



شکل ۴-۵۵ منبع تغذیه ۹ ولت

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.



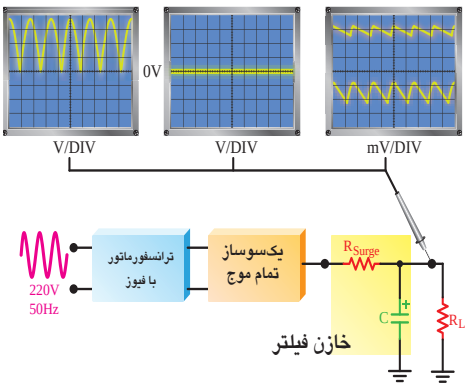
شکل ۴-۵۶ یک‌سو ساز نیم‌موج با صافی خازنی

معرفی سایت

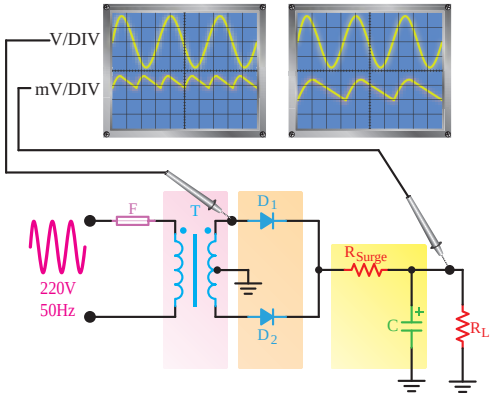
برای دسترسی به سئوالات امتحانی می‌توانید به سایت http://all.medu.ir مراجعه کنید.

۴-۱۱ برای هنرجویان علاقه‌مند

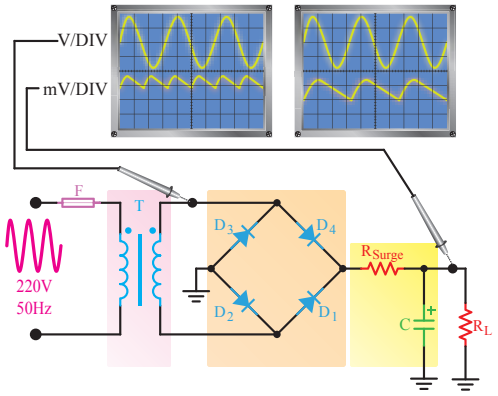
۴-۱۱-۱ با توجه به شکل موج‌های نشان داده شده در شکل‌های ۴-۵۷، ۴-۵۸ و ۴-۵۹، در هر حالت بیان کنید آیا مدار یک سوساز و صافی سالم هستند یا معیوب؟ در صورت معیوب بودن آیا دیود قطع یا اتصال کوتاه است؟ آیا خازن صافی قطع است یا نشتی دارد؟



شکل ۴-۵۷ بلوک دیاگرام در یک‌سوساز تمام موج با صافی

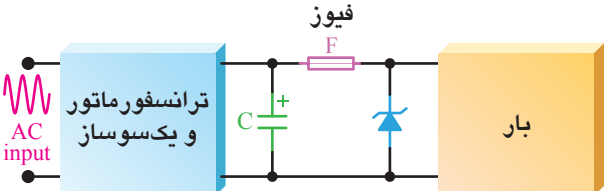


شکل ۵۸-۴ مدار یک‌سوساز تمام موج با ترانس سر وسط و صافی خازنی



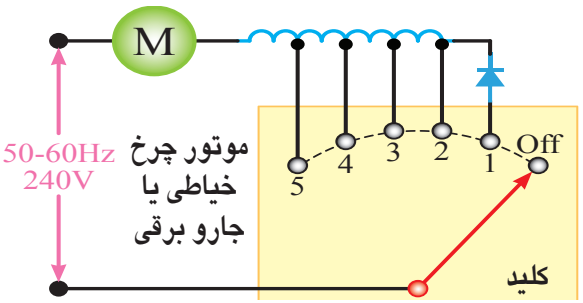
شکل ۵۹-۴ یک‌سوساز تمام موج پل با صافی خازنی و بار

۴-۱۱-۲ در مدار شکل ۶۰-۴ اگر ولتاژ ورودی زیاد شود، ولتاژ خروجی منبع تغذیه از ولتاژ شکست زنر بیش‌تر می‌شود، در این حالت در مدار چه اتفاقی رخ می‌دهد؟ کاربرد مدار چیست؟



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

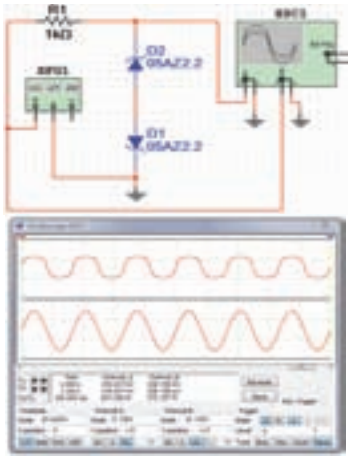
۴-۱۱-۳ در مدار شکل ۶۱-۴، در کدام حالت دور موتور کم‌ترین مقدار را داراست؟ PIV دیود را محاسبه کنید.



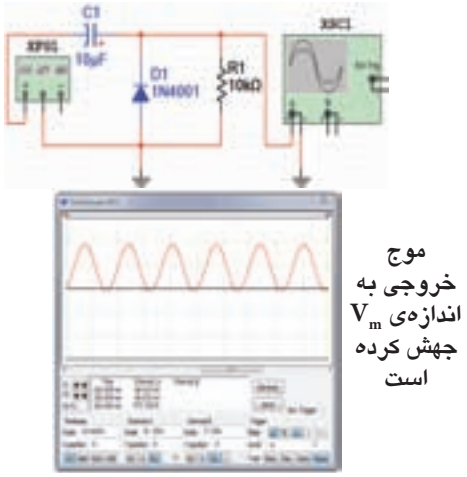
شکل ۶۱-۴ نقش دیود در کنترل دور موتور

۴-۱۲ کار با نرم‌افزار مولتی سیم

در شکل ۶۲-۴ مدار برش دهنده با دیود زنر و در شکل ۶۳-۴ مدار مهار کننده را مشاهده می کنید. این مدارها و سایر مدارها را می‌توانید با استفاده از نرم‌افزار تجربه کنید.



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



شکل ۶۳-۴ مهار کننده

فصل پنجم

زمان اجرا: ۱۸ ساعت آموزشی

ترانزیستور

هدف کلی

آموزش ساختمان ترانزیستور و کاربرد آن در مدارهای تقویت کننده

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می‌رود که:

۱- تاریخچه‌ی اختراع ترانزیستور را شرح دهد.

۲- ترانزیستور را تعریف کند.

۳- برتری‌های ترانزیستور برلامپ‌های‌الکترونی رانام 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(علامت‌اختصاری)ترانزیستورراتوضیح دهد.

۹- جهت جریان در ترانزیستور را توضیح دهد.

۱۰- ولتاژهای روی پایه‌های ترانزیستور را نام‌گذاری کند.

۱۱- انواع آرایش‌های ترانزیستور را با شکل ساده شرح دهد.

۱۲- منحنی‌های مشخصه‌ی ترانزیستور را در آرایش امیتر مشترک شرح دهد.

۱۳- نواحی کار ترانزیستور (قطع، فعال‌واشباع)راشرح دهد.

۱۴- نواحی کار ترانزیستور را روی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور نشان دهد.

۱۵- نقطه‌ی کار DC را شرح دهد.

۱۶- مختصات نقطه‌ی کار DC را بنویسد.

۱۷- خط بار DC را شرح دهد.

۱۸- معادله‌ی خط بار DC را در یک تقویت کننده بنویسد.

۱۹- خط‌بار DC راروی‌منحنی‌مشخصه‌ی‌خروجی‌رسم کند.

۲۰- نقطه‌ی کار را روی خط بار انتخاب کند و مختصات آن را بنویسد.

۲۱- انواع روش‌های بایاس ترانزیستور را شرح دهد.

۲۲- مقاومت‌های بایاس را با معلوم بودن مختصات نقطه‌ی کار در بایاس مستقیم و اتوماتیک محاسبه کند.

۲۳- ولتاژها و جریان‌های پایه‌های ترانزیستور را در بایاس سرخود محاسبه کند.

۲۴- نحوه‌ی تقویت یک سیگنال متناوب را توسط ترانزیستور تشریح کند.

۲۵- از روی سه منحنی مشخصه‌ی ترانزیستور (که در یک مختصات رسم شده‌اند) نقطه کار DC و نحوه‌ی 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 جریان‌هاو ولتاژها را در ترانزیستور شرح دهد.

۲۸- برخی مشخصات سه نوع آرایش ترانزیستور را در جدولی با هم مقایسه کند.

۲۹- کلاس‌های مختلف تقویت کنندگی را به صورت بلوکی و فقط با رسم شکل موج ورودی و خروجی توضیح دهید.

۳۰- مقادیر حد در ترانزیستور را شرح دهد.

۳۱- نحوه‌ی استفاده از Data book را شرح دهد.

۳۲- به الگوی پرسش پاسخ دهد.

۳۳- هدف‌های مربوط به حیطه‌ی عاطفی که در فصل اول آمده است را اجراء نماید.

۵-۱ پیش گفتار

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.

۵-۲ 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 (ترود) و پنج قطبی (پنتود) نیز ساخته شدند. در سال‌های بعد، صنعت الکترونیک به منزله‌ی یک صنعت اصلی و مهم با قابلیّت توسعه‌ی بسیار، مورد توجه قرار گرفت. در ۲۳ دسامبر ۱۹۴۷ صنعت الکترونیک به موفقیّت جدیدی دست یافت. در بعدازظهر این روز والتربراتین 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.

شکل ۱-۵ اولین ترانزیستور ساخته شده در سال ۱۹۴۷

۵-۳ 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) کوچک‌تر و سبک‌تر 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.

هـ) 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

آقای دکتر جان باردین John Bardeen درسال 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 والتربراتین 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.

جان باردین

ویلیام شاکلی

والتر برایتن

نفر نشسته شاکلی و دونفر ایستاده باردین و برایتن در آزمایشگاه

۵-۴ ساختمان ترانزیستور

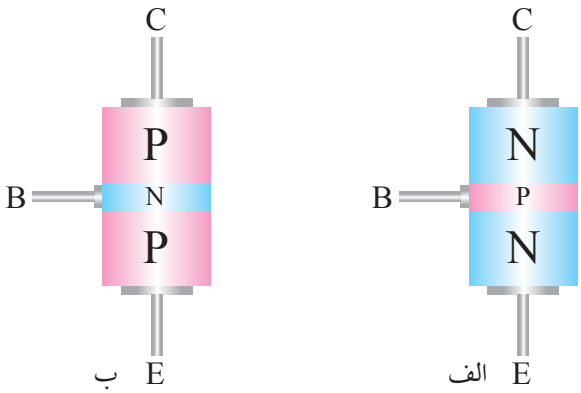
ترانزیستور معمولی، یک المان سه پایه است که از سه کریستال نیمه هادی نوع N و P، که در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند، تشکیل شده است. ترتیب قرار گرفتن نیمه هادی‌ها در کنار هم، به دو صورت انجام پذیر است:

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

هادی نوع P در وسط.

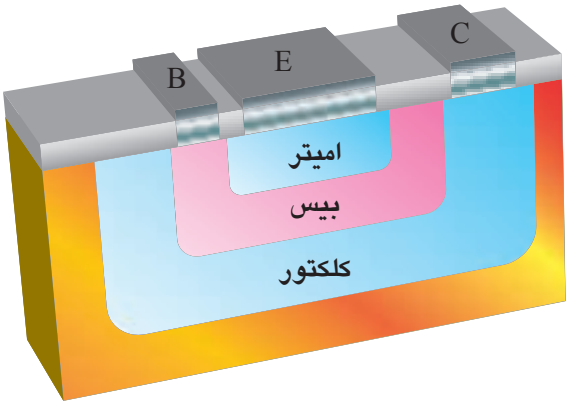
ب) دو قطعه نیمه هادی نوع P در دو طرف و نیمه هادی نوع N در وسط.

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.

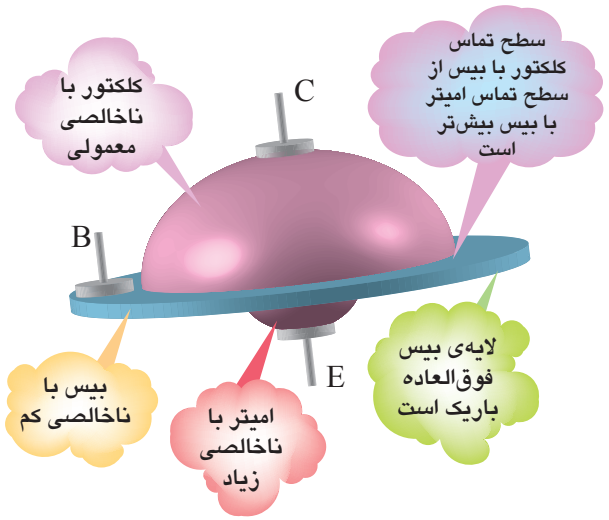


شکل ۴-۵ لایه‌های ترانزیستور

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 ۲۰-۲۰۰μm) 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.

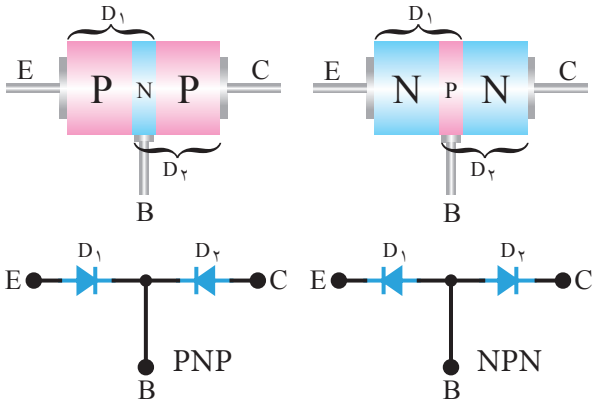


شکل ۵-۵ نمایش نسبت تقریبی لایه‌های ترانزیستور

این نوع ترانزیستورها را به اختصار BJT (**B**ipolar **J**unction **T**ransistor) 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 ۶-۵) نشان داده می‌شود.



شکل ۶-۵ معادل دیودی ترانزیستور

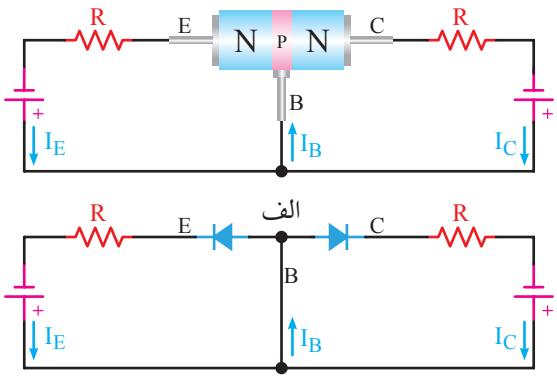
۶-۵ عملکرد ترانزیستور

۱-۶-۵ 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 مجزّاست، می‌توانیم یکی از پایه‌ها را پایه‌ی مشترک و دو پایه‌ی دیگر را ورودی و خروجی آن در نظر بگیریم. اتصّال 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 متصّل کنیم. در این قسمت به شرح انواع اتصّال ولتاژ dc به ترانزیستور می‌پردازیم. با این توضیح که در این جا بیس بین ورودی و خروجی مشترک گرفته شده است.

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

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



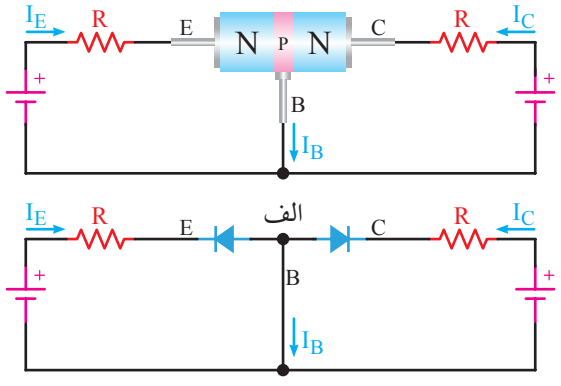
ب

شکل ۷-۵ بایاس موافق در مدار معادل دیودی

همان طوری که از شکل مدار معادل پیداست، در این حالتِ 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.

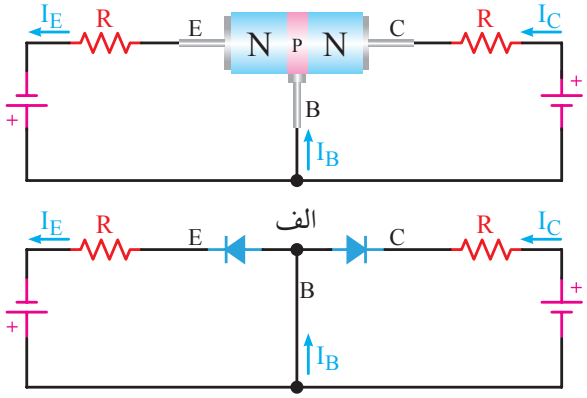
ب) اتصّال بیس- امیتر در بایاس معکوس و اتصّال بیس- کلکتور نیز در بایاس معکوس است. این نوع اتصّال در شکل ۸-۵- الف نشان داده شده است. شکل ۸-۵- ب مدار معادل شکل ۸-۵-الف است. همان طوری که از مدار معادل پیداست، هر دو دیود در بایاس معکوس و قطع‌اند. لذا جریان I_E و I_C برابر صفر است (البته جریان بسیار ضعیفی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

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



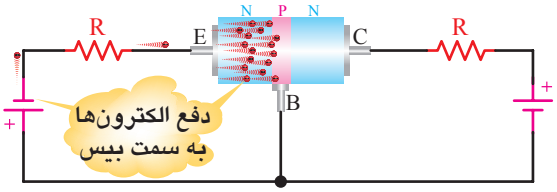
شکل ۸-۵ بایاس مخالف

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



شکل ۹-۵ بایاس موافق و مخالف

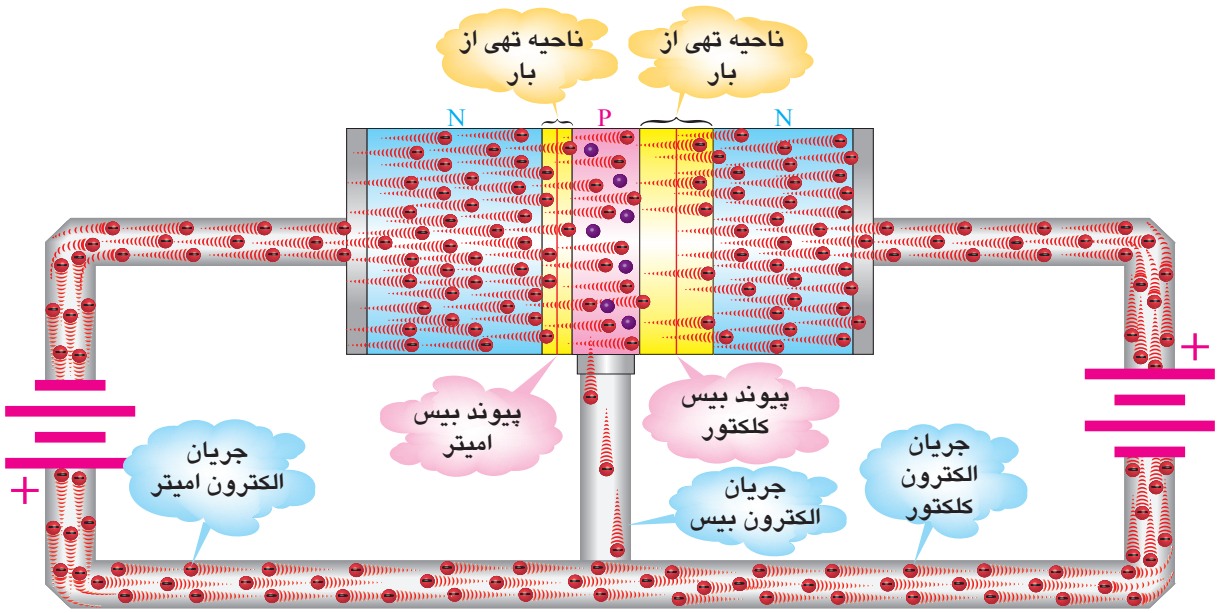
همان طوری که از شکل ۹-۵ پیداست، اتصال بیس - امیتر در بایاس مستقیم است. لذا باید یک جریان در مدار بیس- امیتر داشته باشیم. (در این قسمت استثنائاً جهت جریان را در جهت واقعی الکترون‌ها در نظر می‌گیریم). (شکل ۱۰-۵)



شکل ۱۰-۵ حرکت الکترون‌ها

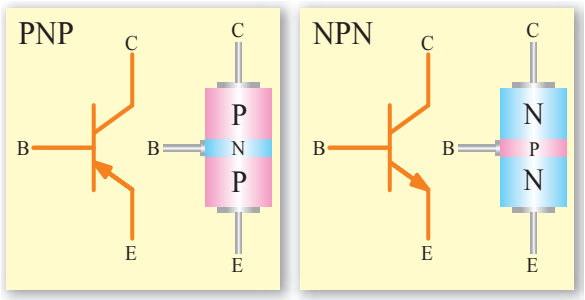
همان طوری که از شکل ۱۰-۵ پیداست، الکترون‌های نیمه هادی نوع N، توسط ولتاژ منفی باتری به سمت بیس رانده می‌شوند. از قبل دانستیم که لایه‌ی بیس نسبت به امیتر و کلکتور ناخالصی کم‌تری دارد و ضخامت آن نیز، نسبت به دو لایه‌ی دیگر فوق‌العاده کم است. در این جا سؤالی پیش می‌آید که آیا این جریان الکترون‌ها مسیر خود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

در وهله‌ای اوّل 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 اوّلاً، 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 ۱۱-۵، نسبت تقسیم تقریبی الکترون‌ها بین کلکتور و بیس را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱-۵ الکترون‌های عبوری از بیس و کلکتور

۵-۶-۲ 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

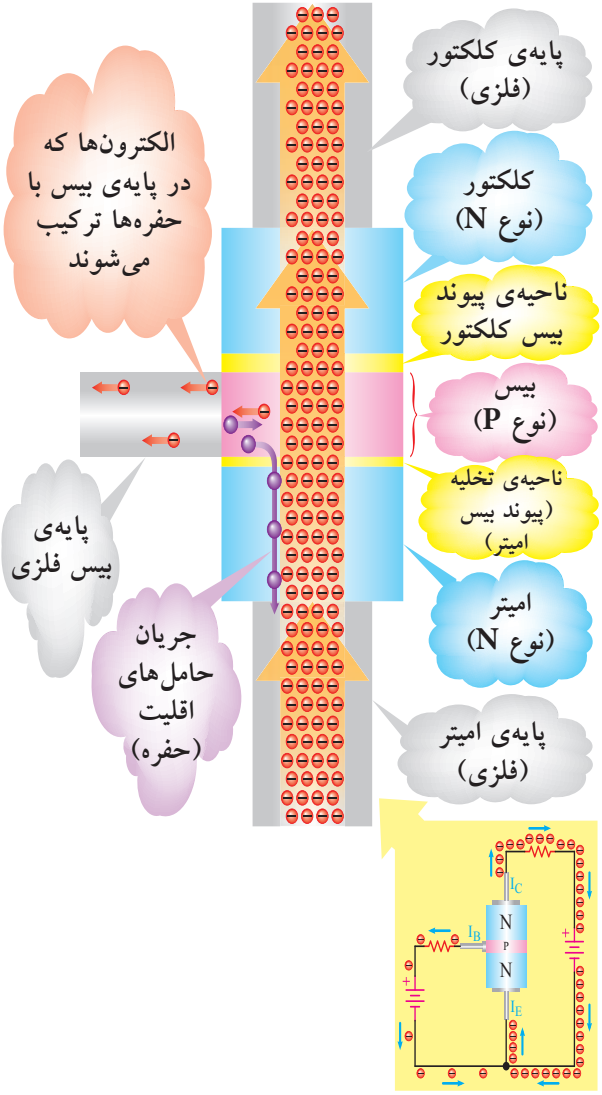
جهت فلش در نماد فنی ترانزیستور، نشان دهنده‌ی جهت دیود امیتر – بیس است.

۵-۶-۳ 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 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 علاوه‌ی جریان کلکتور، یعنی:

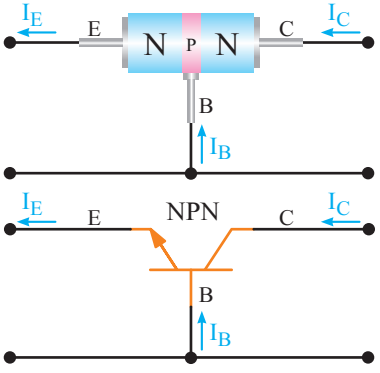
$$I_E = I_B + I_C$$

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.

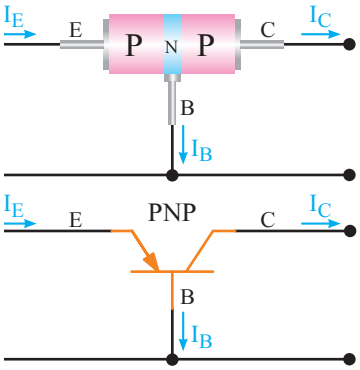
همان طوری که در شـکل‌ها دیده می‌شـود، رابطه‌ی $I_E = I_C + I_B$ برای هر دو نوع ترانزیستور صادق است.



شکل ۱۳-۵ جهت جریان‌ها



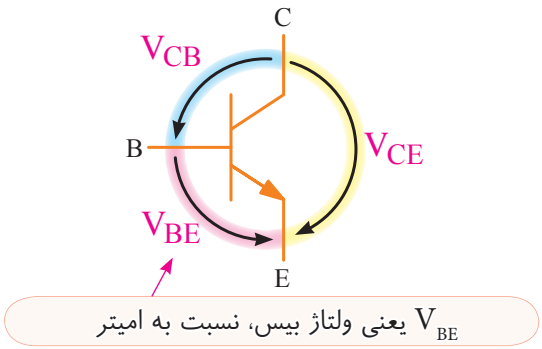
شکل ۱۴-۵ جهت قراردادی جریان در ترانزیستور NPN



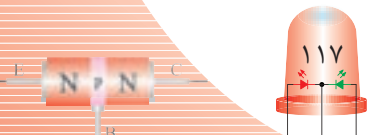
شکل ۱۵-۵ جهت قراردادی جریان در ترانزیستور PNP

۵-۶-۴ نام‌گـذاری ولتاژهـای ترانزیسـتور: برای این که بتـوان از ترانزیسـتور به عنـوان تقویت کننده‌ی سیگنال‌های الکتریکی یا ... استفاده نمود، باید ترانزیستور را با ولتـاژ dc تغذیه کرد. در هر حالـت، ولتاژهایی که به قسـمت‌های مختلف ترانزیستور اعمال می‌شوند، با هم فرق می‌کنند در این قسمت به نام‌گذاری ولتاژ قسمت‌های مختلف می‌پردازیم.

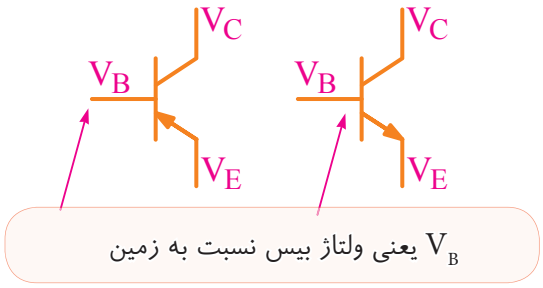
ولتـاژی که بین پایه‌های بیـس و امیتر قرار می‌گیرد با V_{BE}، ولتاژی که در قسمت کلکتور- بیس قرار می‌گیرد بـا V_{CB}، ولتاژی که بین کلکتور- امیتر وصل می‌شـود با V_{CE}، ولتاژ منبع تغذیه‌ی کلکتور را با V_{CC} و ولتاژی که انرژی بیس را تأمین می‌کند با V_{BB} نشـان داده می‌شوند. شـکل ۱۶-۵، ولتاژهای قسـمت‌های مختلف ترانزیستور را نشـان می‌دهد. بیـن ولتاژهـای ترانزیسـتور، رابطه‌ی $V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$ برقرار است.



شکل ۱۶-۵ نام‌گذاری ولتاژ بین پایه‌ها



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



شکل ۱۷-۵ ولتاژ هر پایه‌ی ترانزیستور نسبت به زمین

۵-۷ 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 نام‌گذاری آن‌ها می‌پردازیم.

۵-۷-۱ پایه‌ی مشترک در ترانزیستور: در ترانزیستور، همیشه سیگنال ورودی به دو پایه از سه پایه‌ی ترانزیستور داده می‌شود و سیگنال خروجی از دو پایه‌ی آن گرفته می‌شود؛ به طوری که یکی از پایه‌ها بین ورودی و خروجی، مشترک است. لذا، با توجه به پایه‌ی مشترک، نام آرایش انتخاب می‌شود.

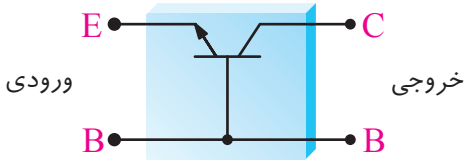
۵-۷-۲ آرایش امیتر مشترک (Common Emitter):

در این آرایش پایه‌ی امیتر، بین ورودی و خروجی مدار مشترک است. و سبب نام‌گذاری این آرایش نیز به دلیل مشترک بودن پایه‌ی امیتر است. در هر آرایشی پایه‌ی مشترک را مبنا قرار می‌دهند و ولتاژهای نقاط مختلف مدار را نسبت به آن اندازه می‌گیرند. شکل ۱۸-۵ آرایش امیتر مشترک را بدون رسم سایر المان‌های مورد نیاز، نشان می‌دهد. آرایش امیتر مشترک، در مدارات کاربرد بیش‌تری دارد.

شکل ۱۸-۵ آرایش امیتر مشترک (CE)

۵-۷-۳ آرایش بیس مشترک (Common Base):

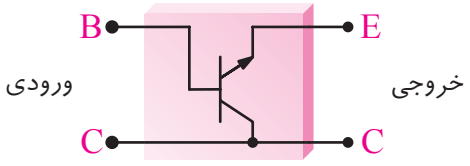
در این آرایش، چون پایه‌ی بیس بین ورودی و خروجی مشترک است. آرایش آن را نیز بیس مشترک نامیده‌اند. شکل ۱۹-۵، این آرایش را به طور ساده نشان می‌دهد.



شکل ۱۹-۵ آرایش بیس مشترک (CB)

۵-۷-۴ آرایش کلکتورمشترک: (Common Collector)

پایه‌ی مشترک بین ورودی و خروجی، در این آرایش، کلکتور است و به دلیل مشترک بودن پایه‌ی کلکتور نیز به آن کلکتور مشترک می‌گویند. شکل ۲۰-۵، آرایش کلکتور مشترک را نشان می‌دهد. این آرایش را امیتر فالوور (Emitter Follower) نیز می‌گویند.



شکل ۲۰-۵ آرایش کلکتور مشترک (CC)

۵-۸ الگوی پرسش:

۵-۸-۱ انواع ترانزیستورها را از نظر ساختار کریستالی نام ببرید.

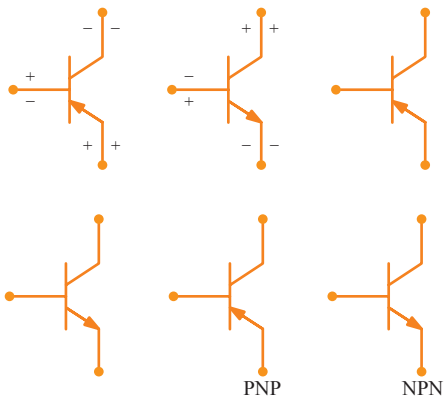
۵-۸-۲ برتری‌های استفاده از ترانزیستور به جای لامپ را نام ببرید.

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.

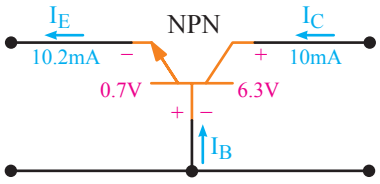


شکل ۵-۲۱ شکل مربوط به سئوال ۶

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 I_B و V_{CE} را محاسبه کنید.

$$V_{CB} = ۶/۳V$$
$$V_{BE} = ۰/۷V$$



شکل ۵-۲۲ شکل مربوط به سئوال ۸

اجرای کار نرم افزاری

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

۵-۹ منحنی‌های مشخصّه‌ی ترانزیستور

روابط بین جریان‌ها و ولتاژها و تغییرات آن‌ها در ترانزیستور و هم چنین ضریب تقویت به عامل‌هایی چون درجه‌ی حرارت، فرکانس و غیر خطّی بودن المان‌ها بستگی دارد (منظور از غیر خطّی 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 بیان کننده‌ی روابط بین جریان‌ها و ولتاژها (با توجه به آرایش ترانزیستور) است استفاده می‌شود. این منحنی‌ها عبارت‌اند از:

الف) منحنی مشخصّه‌ی ورودی

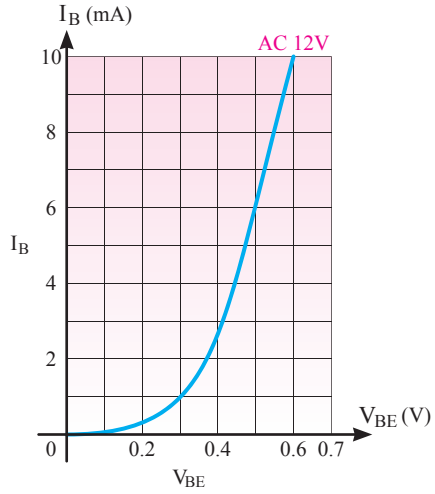
ب) منحنی مشخصّه‌ی انتقالی

ج) منحنی مشخصّه‌ی خروجی

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

آرایش امیتر مشترک توضیحاتی داده خواهد شد.

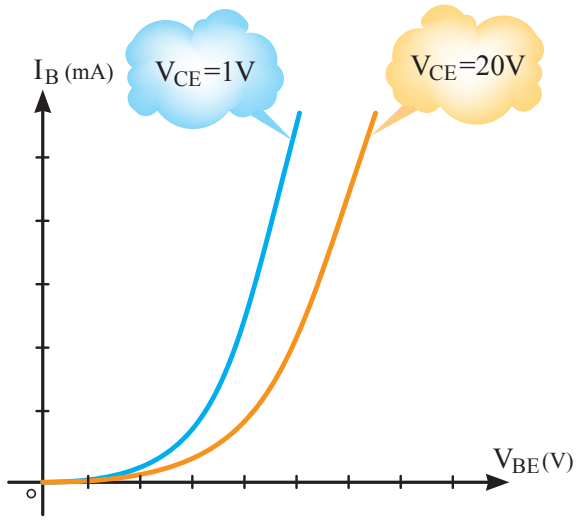
۵-۹-۱ منحنی مشخّصه‌ی ورودی: منحنی مشخّصه‌ی ورودی ترانزیستور، بیان کننده‌ی مقدار جریان ورودی، برحسب ولتاژ ورودی است. همان طوری که مدار ورودی شبیه یک دیود است منحنی مشخصه‌ی آن نیز شبیه منحنی مشخّصه‌ی ولت- آمپر دیود معمولی است. شکل ۲۳-۵، منحنی مشخّصه ورودی ترانزیستور AC ۱۲V را نشان می‌دهد.



شکل ۲۳-۵ منحنی مشخصه‌ی ورودی ترانزیستور

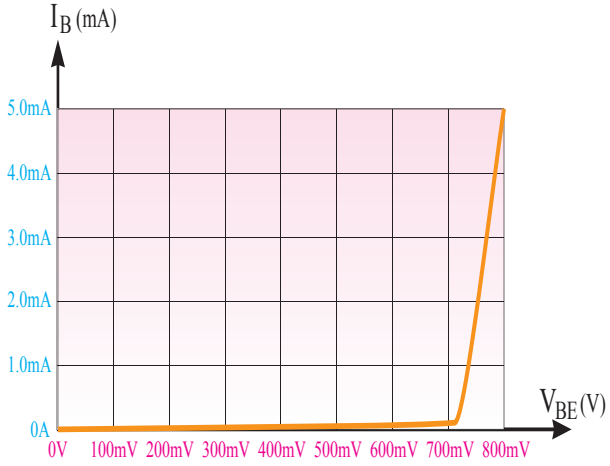
این ترانزیستور از جنس ژرمانیم است، به همین دلیل، جریان بیس آن نیز نسبتاً زیاد است.

باید توجه داشت که منحنی مشخصه‌ی ورودی به ازای یک ولتاژ معین V_{CE} رسم می‌شود. 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 صرف‌نظر کرد. مقدار ولتاژ V_{CE} را، که به ازای آن منحنی مشخصه‌ی ورودی رسم شده است، کارخانه سازنده مشخص می‌نماید. در شکل ۲۴-۵، منحنی مشخصه‌ی ورودی ترانزیستور به ازای $V_{CE}=1V$ و $V_{CE}=20V$ نشان داده شده است.



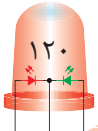
شکل ۲۴-۵ منحنی مشخصه‌ی ورودی ترانزیستور به ازای مقادیر مختلف V_{CE}

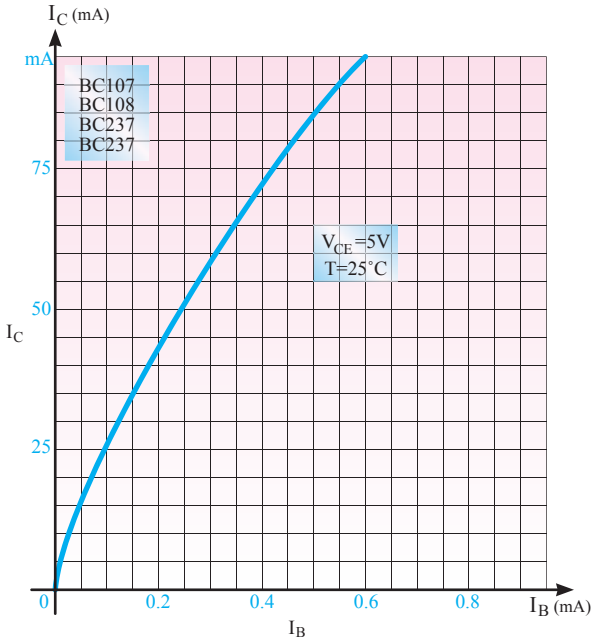
در شکل ۲۵-۵، منحنی مشخصه‌ی ورودی ترانزیستوری از جنس سیلیسیم رسم شده است.



شکل ۲۵-۵ منحنی مشخصه‌ی ورودی ترانزیستور از جنس سیلیسیم

۵-۹-۲ منحنی مشخصه‌ی انتقالی: منحنی مشخصه‌ی انتقالی، رابطه‌ی بین جریان ورودی و خروجی ترانزیستور را به ازای مقادیر ثابت V_{CE} نشان می‌دهد، شکل ۲۶-۵، منحنی مشخصه‌ی انتقالی ترانزیستور BC۱۰۷ را به ازای $V_{CE}=5V$ نشان می‌دهد.





شکل ۲۶-۵ منحنی مشخصه‌ی انتقالی ترانزیستور

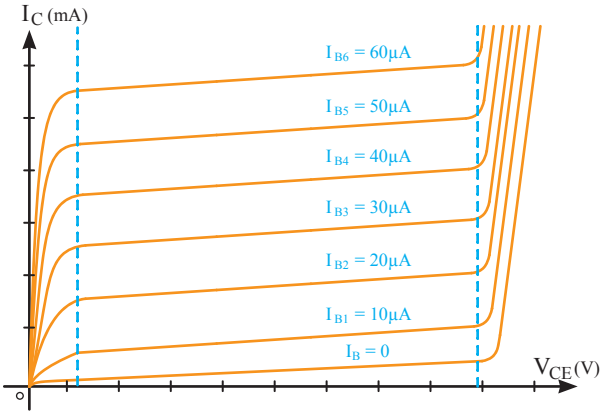
چون ضریب تقویت جریان، برابر نسبت جریان خروجی به جریان ورودی است، لذا از این منحنی می‌توان ضریب تقویت جریان را به دست آورد. ضریب تقویت جریان را با β نشان می‌دهند. مقدار β بستگی به مشخصات فیزیکی و ساخت ترانزیستور دارد.

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

۵-۹-۳ منحنی مشخصه‌ی خروجی:

منحنی مشخّصه‌ی خروجی ترانزیستور، رابطه‌ی بین جریان و ولتاژ خروجی به ازای جریان ورودی معیّن را نشان می‌دهد. اگر تقویت کننده امیتر مشترک باشد(تقویت کننده‌ی امیتر مشترک بعداً توضیح داده خواهد شد)جریان ورودی I_B، جریان خروجی Ic و ولتاژ خروجی V_{CE} خواهد بود.

(تقریباً تمام کارخانه‌های سازنده‌ی ترانزیستور، منحنی مشخصه‌ی ترانزیستور را در حالت امیتر 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

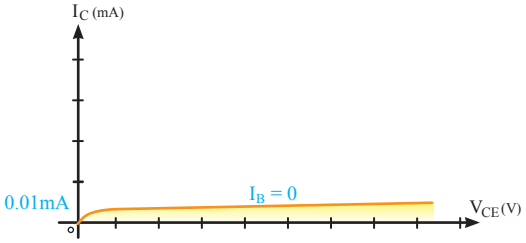
مقدار جریان خروجی I_C تابع دو عامل I_B و V_{CE} است. یعنی با کم و زیاد شدن I_B جریان خروجی I_C نیز کم یا زیاد می‌شود. این مطلب در مورد V_{CE} نیز صادق است، لیکن تأثیر تغییرات V_{CE} بر I_C ناچیر و در مواردی غیر قابل توجّه است. از طرفی جریان I_B هم به V_{BE} بستگی دارد. منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور، 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 مشخصّات زیر است:

ناحیه‌ی قطع

$$I_B = 0$$
$$I_C = 0$$
$$V_{CE} \approx V_{CC}$$

شـکل ۲۸-۵ ناحیه‌ی قطع را روی منحنی مشخصه‌ی خروجی نشان می‌دهد.

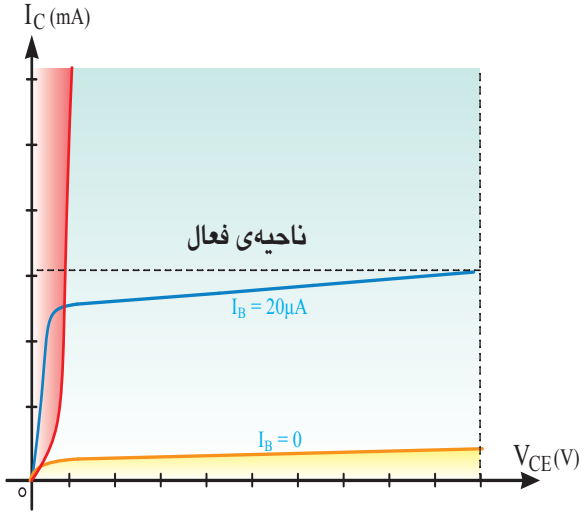


شکل ۲۸-۵ ناحیه‌ی قطع ترانزیستور

ب) ناحیـه‌ی فعّـال (Active): در ایـن ناحیـه، ترانزیسـتور در حال هدایت است و با تغییرات زیاد V_{CE} تغییرات جریان کلکتور کم اسـت. (ثابت = I_B). لذا این ناحیه دارای مشخّصات زیر است:

ناحیه‌ی فعّال	$I_B \neq 0$
	$I_C \neq 0$
	$V_{CE} \neq 0$

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

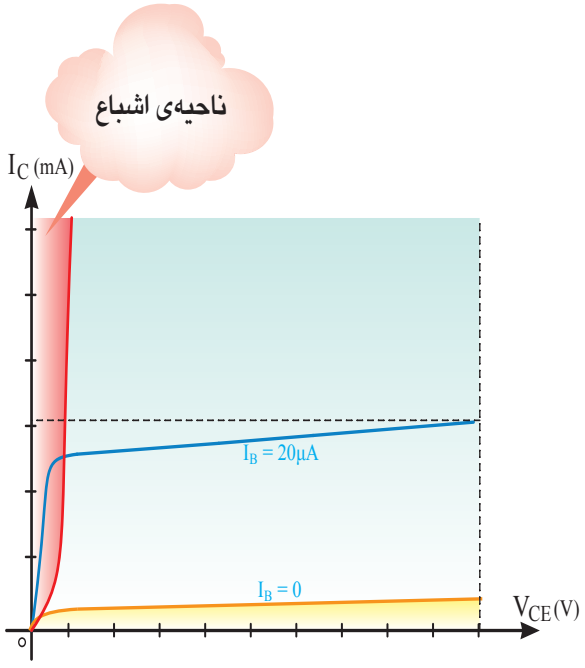


شکل ۲۹-۵ ناحیه‌ی فعال روی منحنی مشخصه‌ی خروجی

ج) ناحیـه‌ی اشـباع (Saturation): ناحیـه‌ای اسـت که ترانزیسـتور در حال هدایت است، ولی با تغییر جزئی V_{CE} (کسـری از ولت) تغییرات بسـیار زیادی در جریان کلکتور مشاهده می‌شود. لذا دارای مشخصات زیر است.

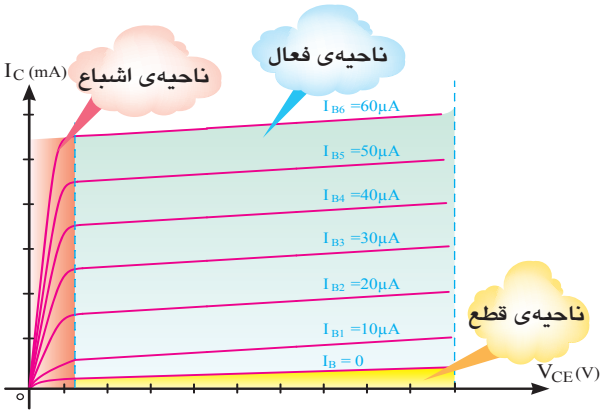
ناحیه‌ی اشباع	تقریباً حداکثر	$I_B \neq 0$
	تقریباً حداکثر	$I_C \neq 0$
	تقریباً حداقل	$V_{CE} \neq 0$
		$V_{CE} \cong 0/27$

در شـکل ۳۰-۵ ناحیه‌ی اشباع روی منحنی مشخصه، خروجی نشان داده شده است.



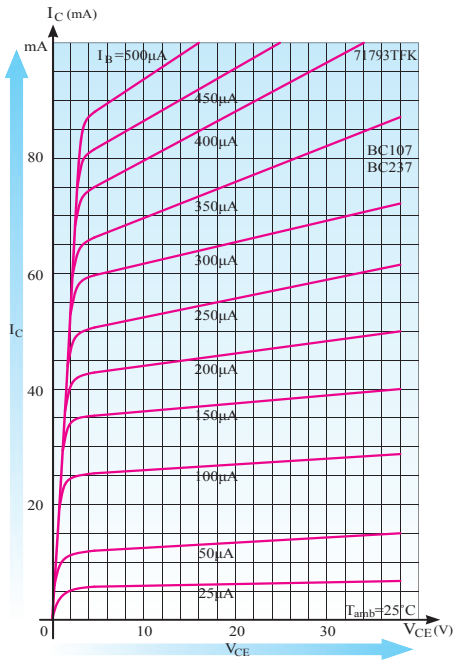
شکل ۳۰-۵ ناحیه‌ی اشباع در منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور

در شـکل (۳۱-۵) منحنـی مشـخصه‌ی خروجـی ترانزیسـتور را، که سـه ناحیه‌ی کار ترانزیستور روی آن مشخص شده است مشاهده می‌کنید.



شکل ۵-۳۱ منحنی مشخصه‌ی خروجی و سه ناحیه‌ی کار

کارخانه‌های سازنده قطعات الکترونیکی، معمولاً منحنی مشخصه‌ی خروجی را به ازای چندین مقدار I_B در اختیار مصرف کنندگان قرار می‌دهند. شکل ۵-۳۲ منحنی مشخّصه‌ی خروجی ترانزیستور BC ۱۰۷ را به ازای چندین I_B مختلف نشان می‌دهد. ترانزیستور BC۱۰۷ یک ترانزیستور معمولی و برای کاربرد عمومی است که به سادگی می‌توان سایر ترانزیستورها را جای‌گزین آن کرد.



شکل ۵-۳۲ منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور BC ۱۰۷

آیا می‌دانید که:

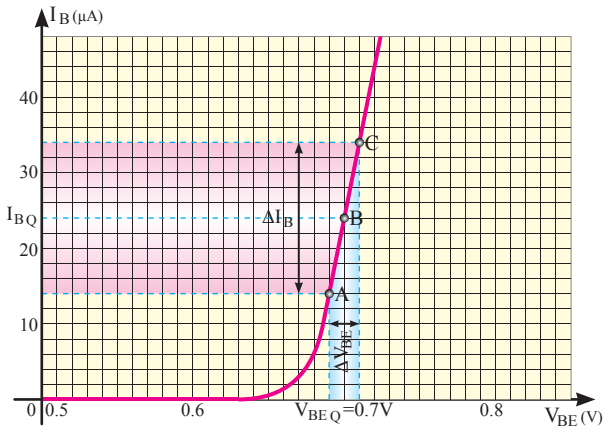
خوش بینی و مثبت اندیشی باعث سهولت و تسریع در انجام کارها می‌شود. پس سعی کنیم که همیشه مثبت اندیش و خوش فکر باشیم.

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 مشخصه‌ی ترانزیستور را نام ببرید. این منحنی‌های مشخصه معمولاً در چه آرایشی توسط کارخانه‌ی سازنده رسم می‌شوند؟

۵-۱۰-۳ با توجه به منحنی مشخصه‌ی ورودی شکل ۵-۳۳ V_{BE} و I_B را در سه نقطه A، B و C محاسبه کنید.

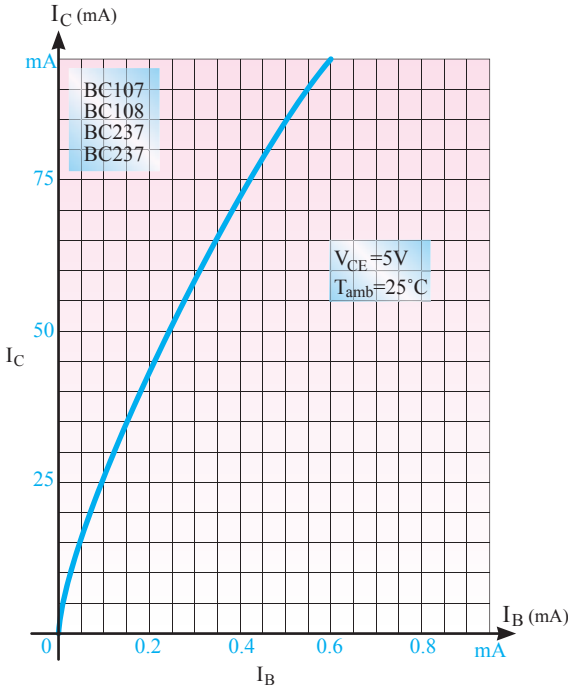


شکل ۵-۳۳ منحنی مشخصه‌ی ورودی ترانزیستور

۵-۱۰-۴ ناحیه فعال و قطع را تعریف کنید و مشخصات نقطه‌ی کار را در این ناحیه‌ها بنویسید.

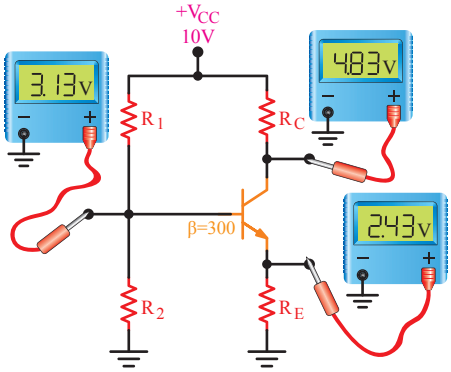
۵-۱۰-۵ به ازای V_{BE} = ۰/۲ ولت و V_{BE} = ۰/۴

ولـت و با توجه بـه شـکل ۵-۳۴، β_{DC} را در هر حالت محاسبه کنید.



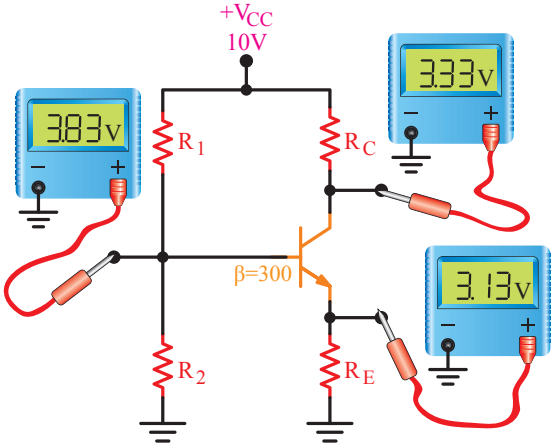
شکل ۵-۳۴ منحنی مشخصه‌ی انتقالی ترانزیستور

۵-۱۰-۶ با توجه به مقادیر نشـان داده شده در شکل ۵-۳۵، V_{BE} و V_{CE} را محاسـبه کنید. سپس ناحیه‌ی کار ترانزیستور را مشخص کنید.



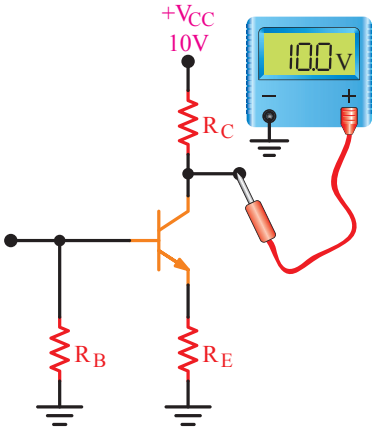
شکل ۵-۳۵ ولتاژ پایه‌های یک نمونه تقویت کننده بایاس سرخود

۵-۱۰-۷ با توجه به مقادیر نشـان داده شده در شکل ۵-۳۶، V_{BE} و V_{CE} و V_{CB} را محاسبه کنید. ناحیه‌ی کار ترانزیستور را مشخص کنید.



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

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

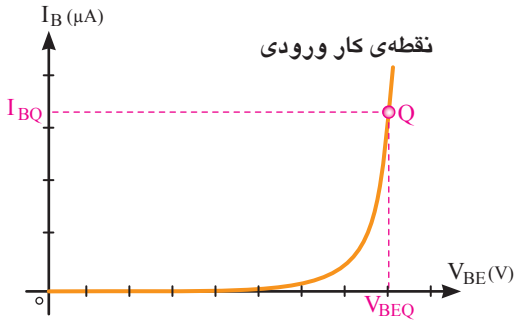


شکل ۵-۳۷ تعیین ناحیه‌ی کار ترانزیستور

۵-۱۱ نقطه‌ی کار و خط بار

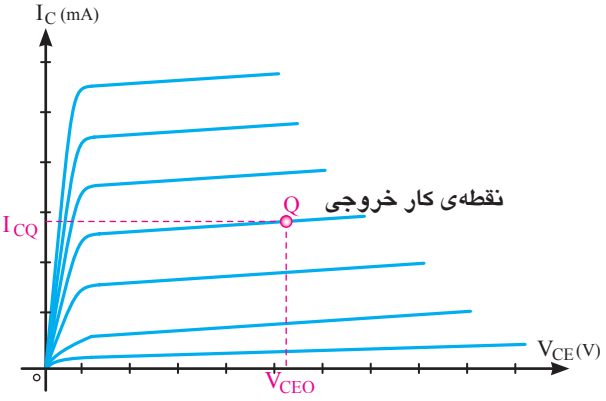
۵-۱۱-۱ نقطه‌ی کار

الف) تعریف نقطه‌ی کار: به مقادیر dc کمیّت‌های I_C – I_B – V_{CE} – V_{BE} در شـرایطی که هیچ منبع سیگنال AC بـه ورودی آن متصـل نباشـد، نقطـه‌ی کار DC ترانزیسـتور گوینـد. شـکل ۵-۳۸ نقطـه‌ی کار را روی منحنی مشخصه‌ی ورودی نشان می‌دهد.



شکل ۵-۳۸ نقطه‌ی کار ورودی روی منحنی مشخصه‌ی ورودی

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

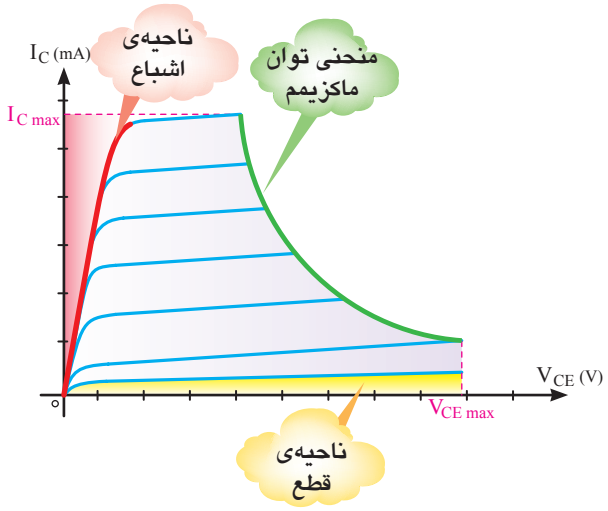


شکل ۵-۳۹ نقطه‌ی کار خروجی روی منحنی مشخصه‌ی خروجی

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 $P_T = V_{CE}.I_C + V_{BE}.I_B$ است، یادآور می‌شود که مقدار $V_{BE}.I_B$ کم است و معمولاً از آن صرف نظر می‌کنند.

نقطه‌ی کار باید در محلی قرار گیرد که حاصل ضرب $V_{CE}.I_C$ با ماکزیمم توان قابل تحمّل ترانزیستور مساوی یا کم‌تر باشد. رسم مشخصّه‌ی $V_{CE}.I_C$ در شکل ۵-۴۰ آمده است. هم چنین، 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

اجرای کار نرم افزاری

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