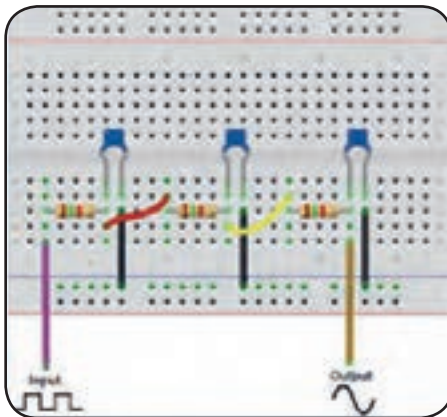


پودمان سوم

مدارهای الکتریکی AC

واحد یادگیری ۹: کسب شایستگی در تحلیل رفتار مقاومت و سلف در جریان AC و انجام محاسبات مربوطه
واحد یادگیری ۱۰: کسب شایستگی در تحلیل رفتار خازن در جریان AC و انجام محاسبات مربوطه



واحدیادگیری ۹

مقاومت و بوبین در جریان متناوب

۹-۱- مقاومت در جریان متناوب

تنها شامل اندوکتانس باشد، مقدار جریان به نیروی ضد محرکه ایجاد شده بستگی دارد، که با عبور جریان مخالفت می کند. اما چون نیروی ضد محرکه (Cemf) بر حسب ولت بیان می شود، نمی توان آن را به جای اهم قرار داد و جریان را به دست آورد.

لذا تأثیر نیروی ضد محرکه بر مدار را می توان بر حسب اهم به دست آورد. این اثر را مقاومت القایی می گویند و با X_L نمایش می دهند.

مقدار نیروی ضد محرکه ایجاد شده در مدار، توسط مقدار L و فرکانس جریان عبوری از مدار تعیین می شود. بنابراین مقاومت القایی نیز باید وابسته به همین عوامل باشد.

$$X_L = 2\pi fL \quad \text{یعنی:}$$

در رابطه فوق، X_L مقاومت القایی بر حسب اهم، 2π عدد ثابت و برابر 6.28 و f فرکانس جریان بر حسب هرتز و L اندوکتانس بر حسب هانری است که در رابطه قرار می گیرد. با توجه به رابطه یاد شده هرچه فرکانس یا اندوکتانس بیشتر باشد مقاومت القایی بیش تر و هرچه فرکانس کمتر باشد، مقدار مقاومت القایی کمتر خواهد بود.

از طرفی $2\pi f$ همان سرعت زاویه ای (ω) است که سرعت تغییرات جریان را نمایش می دهد و بر حسب رادیان بر ثانیه بیان می شود. هر قدر جریان با سرعت بیشتری تغییر کند، افت ولتاژ القایی در دوسر سلف نیز زیادتر خواهد شد. بنابراین با توجه به قانون اهم می توان رابطه زیر را نوشت:

$$X_L = 2\pi fL \quad \text{و} \quad X_L = \frac{U_L}{I_L}$$

رفتار مقاومت در جریان متناوب با رفتار آن در جریان DC تفاوتی نمی کند. همانطور که در درس عرضه تخصصی قطعات الکتریکی و الکترونیکی فراگرفتید، مقاومت ها انرژی الکتریکی را به صورت توان مفید (مؤثر) تلف می کنند، فقط باید توجه داشته باشید که هنگام محاسبه توان در جریان متناوب، از مقدار مؤثر جریان و ولتاژ استفاده کنید. مقدار جریان و ولتاژ در مقاومت ها برای جریان متناوب براساس قانون اهم محاسبه می شود.

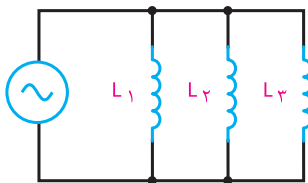
۹-۲- بوبین در جریان متناوب

برخلاف مدارهای DC که در آنها جریان فقط هنگام باز و بسته شدن مدار تغییر می کند، در مدارهای AC جریان به صورت پی در پی تغییر می کند. لذا اندوکتانس اثری دائمی بر کار مدار می گذارد. یعنی از لحظه بسته شدن مدار تا لحظه قطع مدار اندوکتانس بر عملکرد مدار تأثیر دارد. بوبین ها معمولاً ایده آل نیستند. لذا هر بوبین در مدار AC علاوه بر خاصیت القایی از خاصیت اهمی نیز برخوردار است.

به علاوه منبع و سیم های رابط نیز مقداری مقاومت دارند. حال اگر این مقاومت ها به قدری کوچک باشند که اثرشان بر مدار در مقابل اثر اندوکتانس ناچیز باشد، می توان فقط اثر سلفی را در مدار در نظر گرفت و از اثر اهمی آن صرف نظر کرد.

۹-۳- مقاومت القایی

می دانیم که مقاومت اهمی در مقابل جریان DC و AC به ازاء ولتاژ ثابت عکس العمل مشابهی دارد. اما اگر مداری



شکل ۹-۲ اتصال موازی بوبین‌ها

همچنین برای محاسبه مقاومت القایی معادل در مدارهای سری و موازی نیز می‌توان مشابه محاسبه اندوکتانس معادل بوبین‌ها عمل کرد. روابط محاسبه مقاومت القایی معادل، در مدار سری و موازی به صورت زیر است:

مدار سری: $X_{LT} = X_{L1} + X_{L2} + X_{L3} + \dots + X_{Ln}$

مدار موازی:

$$\frac{1}{X_{LT}} = \frac{1}{X_{L1}} + \frac{1}{X_{L2}} + \dots + \frac{1}{X_{Ln}}$$

نکته

در هریک از اتصالات سری یا موازی بوبین‌ها مقاومت القایی کل را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$X_{LT} = 2\pi f L_T \quad L_T = \omega L_T$$

مثال ۱: سه بوبین با اندوکتانس‌های ۱۵، ۶ و ۱ میلی‌هائری یک بار به صورت سری و یکبار به صورت موازی بسته شده‌اند. اندوکتانس کل را در هر دو حالت سری و موازی محاسبه کنید.

۱- اتصال سری:

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3$$

$$L_T = 15 + 6 + 1 = 22 \text{ mH}$$

۲- اتصال موازی:

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} = \frac{1}{15} + \frac{1}{6} + \frac{1}{15}$$

$$\frac{1}{L_T} = \frac{2+5+3}{30} = \frac{10}{30} \text{ (mH)}$$

$$L_T = \frac{30}{10} = 3 \text{ (mH)}$$

۹-۴ اتصال بوبین‌ها

برای دستیابی به اندوکتانس مناسب اغلب مجبوریم بوبین‌ها را به صورت سری یا موازی ببندیم. در چنین مواردی بدون در نظر گرفتن اثر میدان‌ها بر یکدیگر، اندوکتانس کل عیناً شبیه مقاومت معادل در مدارهای سری و موازی به دست می‌آید.

الف - اتصال سری بوبین‌ها: با اتصال بی‌دری (متوالی) بوبین‌ها، اندوکتانس کل برابر مجموع تک‌تک اندوکتانس‌های موجود در مدار است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$L_T = L_1 + L_2 + \dots + L_n$$

در صورت مساوی بودن اندوکتانس‌ها، اندوکتانس کل برای n بوبین برابر است با:

$$L_T = nL$$

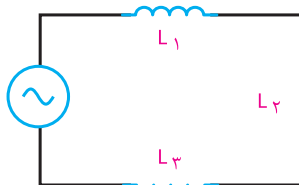
ب - اتصال موازی بوبین‌ها: در اتصال موازی بوبین‌ها اندوکتانس کل از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

در صورت مساوی بودن بوبین‌ها اندوکتانس کل برای n بوبین، برابر است با:

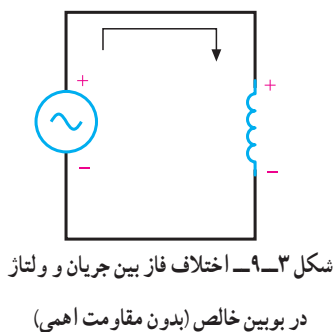
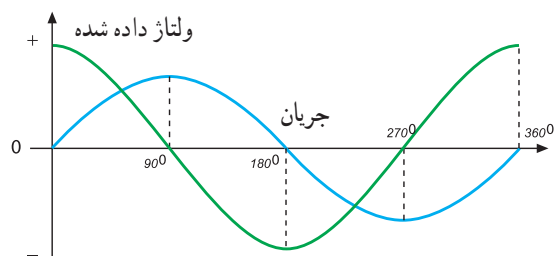
$$L_T = \frac{L}{n}$$

شکل‌های ۹-۱ و ۹-۲ اتصال سری و موازی را برای سه بوبین که با فاصله زیاد از یکدیگر قرار دارند (بدون داشتن ارتباط مغناطیسی) نشان می‌دهد.



شکل ۹-۱ اتصال سری بوبین‌ها

بستن کلید به دلیل وجود نیروی ضد محرکه در سیم پیچ، مقدار جریان صفر است و بعد از طی 90° درجه، جریان ماکزیمم و ولتاژ صفر خواهد شد.



۹-۷- انرژی ذخیره شده در سلف

میدان مغناطیسی وابسته به جریان در یک سیم پیچ دارای انرژی الکتریکی است که از طریق منبع ولتاژی که جریان را تولید می کند، تأمین می شود. این انرژی به صورت میدان مغناطیسی ذخیره می شود و به مقدار اندوکتانس (L) و مجذور جریان عبوری از سیم پیچ بستگی دارد و از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$W = \frac{1}{2} LI^2$$

در رابطه فوق I برحسب آمپر، L برحسب هانری و انرژی ذخیره شده (W) برحسب وات ثانیه یا ژول است.

مثال ۲: از یک سیم پیچ با ضریب خود القایی ۳ هانری، جریان مستقیم برابر 60 آمپر می گذرد. هنگام قطع این سیم پیچ چقدر انرژی آزاد می شود؟

$$W = \frac{1}{2} LI^2$$

$$W = \frac{1}{2} \times 3 \times (60)^2 = \frac{3 \times 3600}{2} = 5400 \text{ J} = 5 \text{ KJ}$$

تمرین: در مثال ۱ اگر فرکانس مدار 1000 هرتز در نظر گرفته شود، مقاومت القایی معادل را در هر دو حالت سری و موازی را به دست آورید.

۹-۵- القاء متقابل

هرگاه دو سیم پیچ طوری در نزدیکی یکدیگر قرار گیرند که خطوط قوای تولید شده توسط یکی از حلقه ها، سیم پیچ دیگری را قطع کند، در سیم پیچ دوم ولتاژی القاء می شود، چنانچه به سیم پیچ دوم مصرف کننده ای متصل شود، با توجه به مقدار ولتاژ، جریانی از مصرف کننده عبور خواهد کرد. در اثر عبور این جریان خطوط قوای جدیدی به وجود می آید که حلقه های سیم پیچ اول را قطع می کند و در سیم پیچ اول ولتاژی القاء می شود. با توجه به اینکه دو سیم پیچ هیچ گونه ارتباطی باهم ندارند، به این عمل القاء متقابل می گویند. مقدار ولتاژ القایی ناشی از القای متقابل بین دو بوبین بستگی به وضع قرار گرفتن آنها نسبت به یکدیگر و تعداد خطوط قوای ارتباطی بین دو بوبین دارد.

مفاهیم تزویج کامل (سفت) و ناقص (سست) را بیابید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.



۹-۶- منحنی تغییرات جریان و ولتاژ بوبین در جریان متناوب

در یک مدار با مقاومت اهمی اختلاف فاز بین ولتاژ دو سر مقاومت با جریان عبوری از آن برابر صفر است. یعنی جریان با ولتاژ دوسر یک مقاومت هم فاز است. اما اگر مداری شامل اندوکتانس باشد نیروی ضد محرکه و تأخیر ایجاد شده توسط اندوکتانس در جریان، بین ولتاژ داده شده و جریان عبوری از آن اختلاف فاز ایجاد می کند.

شکل ۳-۹ اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ را در بوبین خالص نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود در زمان



فیلم مقاومت و سیم پیچ در جریان متناوب را ببینید.

با استفاده از نرم افزاری که در اختیار دارید اتصال بوبین ها به صورت سری و موازی و بوبین در جریان متناوب را تجربه کنید.

الگوی پرسش (ارزشیابی و احیاءگیری ۹ از فصل سوم):

۱ اثرات جریان DC و AC را بر سیم پیچ با یکدیگر مقایسه کنید.

۲ القاء متقابل را شرح دهید و برای آن مثالی بزنید.

۳ اثرات جریان DC در القاء متقابل را شرح دهید.

۴ اثر مقاومت القایی را در جریان متناوب توضیح دهید.

۵ دلیل سری یا موازی بستن سیم پیچ ها را بیان کنید.

۶ رابطه فازی بین ولتاژ و جریان یک بوبین را با رسم نمودار شرح دهید.

۷ دو بوبین با ضریب خود القاء 100 میلی هانری را یک بار به طور سری و بار دیگر به طور موازی به هم وصل می کنیم. ضریب خود القایی کل را در هر دو حالت محاسبه کنید. (جواب: 200 و 50 میلی هانری)

۸ ضریب خود القایی سیم پیچ 20 mH و جریان عبوری از آن 10 آمپر است چه مقدار انرژی در سیم پیچ ذخیره می شود؟ (جواب: ژول $W=1$)

۹ چهار بوبین با ضریب خود القاء 50 ، 25 ، 100 و 25 میلی هانری را یکبار سری و یکبار موازی ببندید. ضریب خود القاء کل را در هر حالت به دست آورید. (جواب: 200 و 9 میلی هانری)

۱۰ از یک بوبین با ضریب خود القایی 10 mH جریان متناوبی با فرکانس 50 هرتز عبور می کند. مقاومت القایی بوبین چندان هم است؟ اگر فرکانس به 1 کیلو هرتز تغییر یابد، مقاومت القایی بوبین را محاسبه کنید. (جواب: $3/14$ و $62/8$)

واحدیادگیری ۱۰

خازن در جریان متناوب

۱-۱ مدارهای جریان متناوب خازنی

به طوری که جریان از ولتاژ به اندازه 90° درجه جلوتر است یا تقدم فاز دارد. با توجه دقیق به منحنی‌های ولتاژ و جریان در شکل ۱-۲، این نتیجه به دست می‌آید که، خازن در زمانی که ولتاژ زیاد می‌شود (چه در جهت مثبت، چه در جهت منفی) انرژی ذخیره می‌کند و در زمانی که ولتاژ داده شده کاهش می‌یابد (زمان‌های T_1 تا T_2 و T_3 تا T_4) در هر سیکل انرژی ذخیره شده را پس می‌دهد. دامنه شارژ و دشارژ خازن با ظرفیت آن و سرعت تغییرات ولتاژ متناسب است. با وجود اینکه جریان از داخل خازن عبور نمی‌کند ولی اگر آمپرمتری در مدار داشته باشیم، به دلیل شارژ و دشارژ خازن جریان عبوری از مدار را نشان می‌دهد، درست مانند این است که مقاومتی در مدار قرار دارد و جریان را محدود می‌کند.



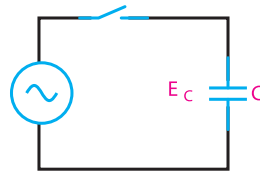
با یک موج سینوسی داده شده به خازن وقتی خازن حداکثر شارژ خود را دارد (T_2 و T_4) جریان آن صفر است. همچنین زمانی که ولتاژ روی خازن صفر می‌شود جریان حداکثر مقدار خود را دارد (T_1 و T_3).

مخالفت خازن در مقابل جاری شدن جریان را عکس‌العمل (راکتانس) خازنی یا مقاومت خازنی می‌گویند و آن را با X_C نمایش می‌دهند.

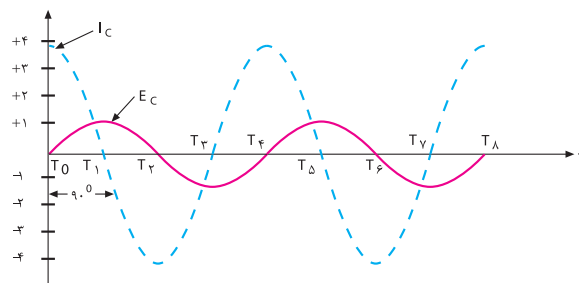
۱-۲ عوامل مؤثر بر عکس‌العمل خازنی

عوامل مؤثر در عکس‌العمل (مقاومت) خازنی فرکانس و ظرفیت خازنی است.

در واحد یادگیری ۸ رفتار خازن در جریان مستقیم بررسی شد. اکنون چگونگی رفتار خازن را وقتی که جریان متناوب به آن اعمال می‌شود، مورد بررسی قرار می‌دهیم. در این قسمت، به روابط فازی بین جریان و ولتاژ و عکس‌العمل خازنی می‌پردازیم. بررسی رفتار خازن در جریان متناوب بسیار پیچیده است و نیاز به بررسی مدار به صورت لحظه‌ای دارد اما در مجموع هنگامی که منبع ولتاژ به خازن ایده‌آل متصل می‌شود، جریان به اندازه 90° درجه از ولتاژ خازن جلو می‌افتد، یعنی در لحظه‌ای که ولتاژ کمترین مقدار را دارد، جریان بیشینه است. در شکل ۱-۲ منحنی‌های ولتاژ و جریان شکل ۱-۱ را ملاحظه می‌کنید.



شکل ۱-۱ اتصال خازن به ولتاژ متناوب



شکل ۱-۲ منحنی تغییرات ولتاژ نسبت به

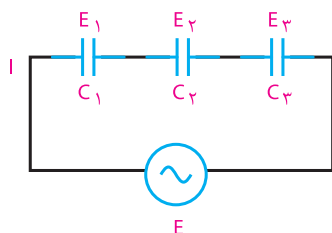
جریان عبوری از خازن

همان‌طور که مشاهده می‌شود، منحنی ولتاژ و جریان، هردو به صورت سینوسی تغییر می‌کنند.

با توجه به اینکه در مدار سری جریان یکسان است، پس :
با فاکتورگیری و حذف I از طرفین خواهیم داشت :
که X_{Ct} مقاومت خازنی معادل است.

$$I X_{Ct} = I X_{C1} + I X_{C2} + I X_{C3}$$

$$X_{Ct} = X_{C1} + X_{C2} + X_{C3}$$



شکل ۳-۱۰- اتصال سری خازن ها

رابطه گفته شده عیناً شبیه رابطه محاسبه مقاومت معادل در مدارهای سری مقاومتی است.

ب- اتصال موازی خازن ها :

مدار شکل ۴-۱۰ اتصال چند خازن موازی را نشان می دهد. با موازی بستن خازن ها ظرفیت کل افزایش می یابد، زیرا سطوح صفحات افزایش یافته است.

برای محاسبه مقاومت معادل چند خازن موازی با استفاده از قانون جریان های کیرشهف می گوئیم که شدت جریان کل از جمع شدت جریان های شاخه های موازی بدست می آید،

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad \text{یعنی :}$$

$$I = \frac{E}{X_c}$$

به علاوه، طبق قانون اهم می دانیم که :

همچنین می دانیم که در مدار موازی، ولتاژ برای همه شاخه ها یکسان است. پس خواهیم داشت :

با حذف E از طرفین داریم :

$$\frac{E}{X_{CT}} = \frac{E}{X_{C1}} + \frac{E}{X_{C2}} + \frac{E}{X_{C3}}$$

$$\frac{1}{X_{CT}} = \frac{1}{X_{C1}} + \frac{1}{X_{C2}} + \frac{1}{X_{C3}}$$

مقدار عکس العمل خازنی با مقدار فرکانس وابستگی معکوس دارد، یعنی با افزایش فرکانس عکس العمل خازنی کاهش و با کاهش فرکانس عکس العمل خازنی افزایش می یابد.
عکس العمل خازنی با اندازه ظرفیت خازنی نیز وابستگی معکوس دارد، یعنی اگر فقط ظرفیت خازن زیاد شود، جریان بیشتری از مدار می گذرد و اجازه شارژ بیشتری را می دهد. در نتیجه، عکس العمل خازنی کاهش می یابد و برعکس، با کم شدن ظرفیت خازن عکس العمل خازنی زیاد می شود.

اکنون با مشخص شدن عوامل مؤثر در امپدانس یا عکس العمل خازنی، می توانیم رابطه بین آنها را مشخص کنیم.
 X_C عکس العمل خازنی برحسب اهم، F فرکانس برحسب هرتز و C ظرفیت خازنی برحسب فاراد است.

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c}$$

عکس العمل خازنی (X_C) با نام های راکتانس خازنی و کاپاسیتو نیز بیان می شود.

مثال ۱: فرکانس مولد موج سینوسی مدار شکل ۱-۱۰، ۱۰۰۰ هرتز و ظرفیت خازن آن $1\mu F$ است. عکس العمل خازنی را به دست آورید.

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 1000 \times 10^{-6}}$$

$$X_c = \frac{10^5}{6.28} = 15.92 K\Omega$$

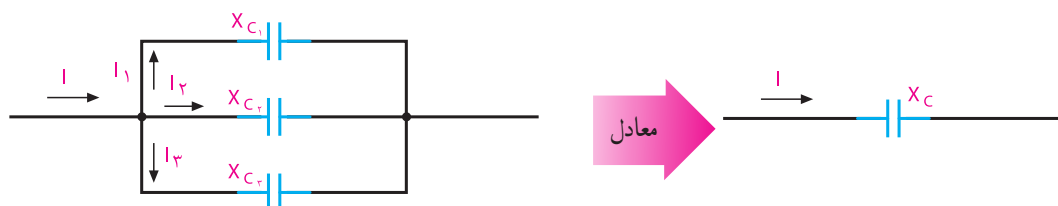
۳-۱۰- نحوه محاسبه مقاومت خازنی معادل

الف- اتصال سری خازن ها : برای محاسبه مقاومت معادل چند خازن سری از شکل ۳-۱۰ و قانون ولتاژهای کیرشهف (KVL) استفاده می کنیم. ولتاژ کل داده شده در مدار برابر است با، یعنی :

$$E_t = E_1 + E_2 + E_3$$

با استفاده از قانون اهم می دانیم که به طور کلی :

$$E = I X_c \Rightarrow \text{مقاومت} \times \text{جریان} = \text{ولتاژ}$$



ظرفیت معادل خازن‌های موازی برابر مجموع تک تک ظرفیت‌هاست.

راکتانس خازنی معادل را می‌توان با موازی فرض کردن تک تک راکتانس‌ها با یکدیگر به دست آورد.

شکل ۴-۱۰ اتصال موازی خازن‌ها



شکل ۵-۱۰ موتور الکتریکی تک فاز

در هریک از اتصالات سری یا موازی خازن‌ها مقاومت خازنی را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$X_{C_T} = \frac{1}{2\pi f C_T} = \frac{1}{\omega C_T}$$

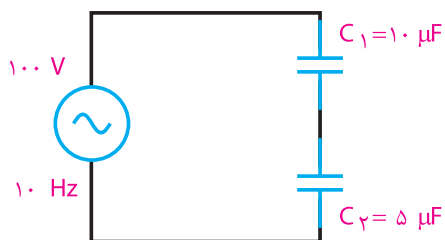
در مورد نقش خازن در راه‌اندازی در موتور الکتریکی تک فاز شکل ۵-۱۰ تحقیق کرده و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.



نکته



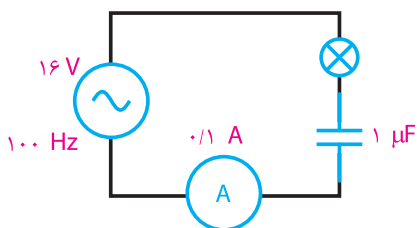
پژوهش



شکل ۸-۱۰- مدار سؤال ۷

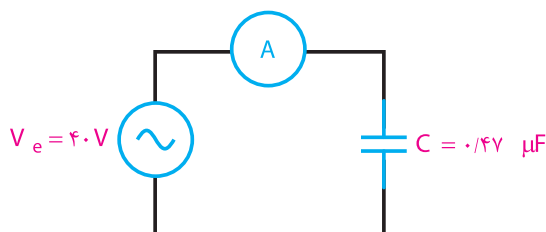
۸ افت ولتاژ دو سری یک خازن $2\ \mu\text{F}$ در فرکانس $1\ \text{kHz}$ برابر ۵ ولت است. شدت جریان عبوری از خازن چقدر است؟
(جواب: $0.629\ \text{A}$)

۹ در مدار شکل ۹-۱۰ اگر ظرفیت خازن دوبرابر شود، نور لامپ چگونه تغییر می کند (کم می شود- ثابت می ماند- زیاد می شود)؟
(جواب: زیاد می شود)



شکل ۹-۱۰- مدار سؤال ۹

۱۰ در مدار شکل ۱۰-۱۰ ۱۰ آمپر متر ۱۰۰ میلی آمپر مؤثر را نشان می دهد. فرکانس منبع چقدر است؟
(جواب: $F = 847\ \text{Hz}$)



شکل ۱۰-۱۰- مدار سؤال ۱۰

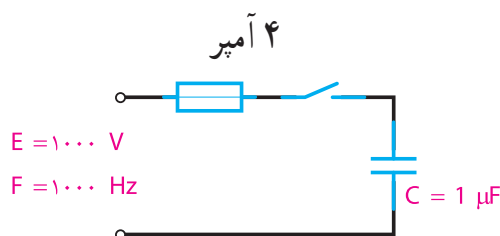
۱۱ در مدار شکل ۱۱-۱۰ X_{C1} چند اهم است؟ اگر $C2$ دو برابر شود، X_{C2} چقدر می شود؟ چنانچه فرکانس

الگوی پرسش (ارزشیابی واحد یادگیری ۱۰ از فصل سوم):

۱ چرا خازن از عبور جریان DC جلوگیری می کند؟
۲ رابطه بین جریان و ولتاژ دو سر خازن را با ولتاژ منبع در جریان AC با رسم شکل شرح دهید.
۳ فرکانس بر جریان خازن و امپدانس خازن چه تأثیری دارد؟

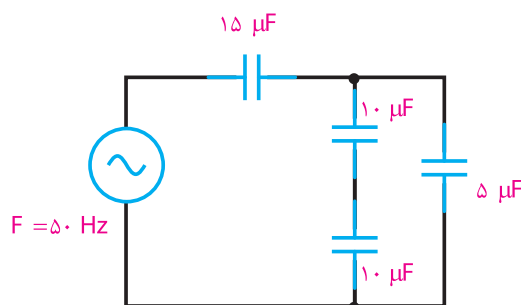
۴ رابطه X_C و واحد آن را بنویسید.

۵ در مدار شکل ۶-۱۰ با بستن کلید چه اتفاقی می افتد؟
(جواب: فیوز عمل می کند)



شکل ۵-۱۰- مدار سؤال ۵

۶ در مدار شکل ۷-۱۰ مقدار X_C کل چقدر است؟
(جواب: $53\ \Omega$)



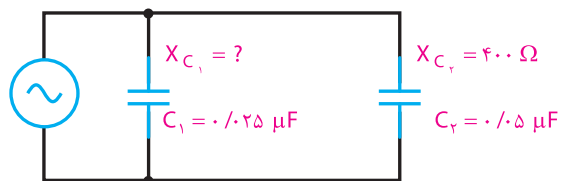
شکل ۷-۱۰- مدار سؤال ۶

۷ در مدار شکل ۸-۱۰ صفحات کدام خازن بالاترین مقدار بار را دارد؟ ولتاژ دو سر خازن چقدر است؟
(جواب: هر دو خازن در یک لحظه دارای بار ذخیره ای برابرند) $\frac{1}{3}\ \text{V}$, $\frac{2}{3}\ \text{V}$

مدار کم شود، X_{C_1} (افزایش – کاهش) می‌یابد.

(جواب: ۸۰۰۰، ۲۰۰، افزایش)

راهنمایی: از تناسب استفاده کنید.



شکل ۱۱-۱۰- مدار سؤال ۱۱

ارزشیابی شایستگی پودمان ۳: مدارهای الکتریکی AC

رشته تحصیلی : الکترونیک		پایه : دهم		سال تحصیلی : ۹۷-۱۳۹۶		
کد رشته : ۷۱۴۱۰		کد درس :		کد کتاب : ۲۱۰۲۷۵		
عنوان پودمان	تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)	استاندارد عملکرد	نتایج ممکن	شاخص تحقق		نمره
	۱- سلف در جریان AC	۱- تعاریف و مفاهیم سلف و خازن در جریان AC		اجرای همه بندها و طرح مسائل سری و موازی خازن و سلف و حل آنها	۳	
		۲- اتصال سری و موازی بوبین ها		در حد انتظار	۲	
	۲- خازن در جریان AC	۳- اتصال سری و موازی خازن ها		پایین تر از حد انتظار	۱	
نمره مستمر از ۵						
نمره شایستگی پودمان						
نمره پودمان از ۲۰						
<p>– نمره شایستگی پودمان منحصراً شامل نمرات ۱، ۲ یا ۳ است.</p> <p>– زمانی هنرجو شایستگی کسب می کند که در ارزشیابی پودمان حداقل نمره شایستگی ۲ را اخذ کند.</p> <p>– حداقل نمره قبولی پودمان ۱۲ از ۲۰ است.</p> <p>– نمره کلی درس زمانی لحاظ می شود که هنرجو در کلیه پودمان ها، شایستگی مورد نیاز را کسب نماید.</p>						



پودمان چهارم

کار و توان الکتریکی



واحد یادگیری ۱۱ : کسب شایستگی لازم در استفاده از روابط انرژی و توان به منظور انجام محاسبات توان و انرژی مجاز و مطمئن در دستگاه‌های مختلف

واحد یادگیری ۱۲ : کسب شایستگی لازم در شناخت و کاربرد انواع انرژی‌های نو و جایگزینی آنها با انرژی‌های متداول



واحد یادگیری ۱۱

انرژی و توان

۱۱-۱ کار الکتریکی

هرگاه جسمی حرکت کند یا تغییر حالت دهد می‌گوییم کار انجام شده است. در الکتریسیته، اگر اختلاف پتانسیل V ولت در دوسر یک هادی قرار گیرد به طوری که q کولن بار از آن عبور کند، کاری معادل W ژول انجام می‌شود. کار الکتریکی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$W = v \times q \quad V = \frac{W}{q}$$

V - اختلاف پتانسیل بر حسب ولت

q - مقدار بار الکتریکی جابه‌جا شده بر حسب کولن

W - کار انجام شده بر حسب وات ثانیه یا ژول

در رابطه W اگر به جای مقادیر q و V عدد یک (واحد) قرارداد شود، تعریف واحد یعنی یک ژول به دست می‌آید. رابطه فوق یک رابطه کلی برای کار الکتریکی است که کمتر در مدارهای الکتریکی کاربرد دارد زیرا در مدارهای الکتریکی معمولاً با کمیت‌های V و I سروکار داریم. به همین دلیل برای به دست آوردن رابطه کار بر حسب V و I یک بار به جای q و یک بار به جای V معادل آنها را قرار می‌دهیم.

$$q = I \times t \rightarrow W = V \times I \times t$$

$$V = R \times I \rightarrow W = (R \times I)(I \times t)$$

$$W = R \times I^2 \times t$$

در این رابطه واحدهای کمیت‌ها به صورت زیر قرارداد شده می‌شود:

$$\text{ثانیه} \times \text{آمپر} \times \text{ولت} = \text{ژول}$$

$$J = V \times A \times S$$

۱۱-۲ توان الکتریکی (Electrical Power)

مقدار کار انجام شده در واحد زمان را «توان» یا «قدرت»

می‌گویند. توان را از رابطه زیر می‌توان به دست آورد:

$$P = \frac{W}{t}$$

W - کار انجام شده بر حسب وات ثانیه یا ژول (J)

t - مدت زمان انجام کار بر حسب ثانیه (s)

P - توان (قدرت) بر حسب ژول بر ثانیه (J/s) یا وات (W)

■ واحد توان الکتریکی

اگر با اختلاف پتانسیل 1 ولت، شدت جریانی معادل 1 آمپر در مدار برقرار شود، توان مصرف شده در مدار برابر با 1 وات است. واحد توان به احترام جیمزوات بر حسب وات (W) نام گذاری شده است. در صنعت از واحدهای کوچک‌تر و بزرگ‌تر، میکرووات، میلی‌وات، کیلووات و مگاوات نیز استفاده می‌شود.

توان الکتریکی را با واحد دیگری به نام «اسب بخار» (hp) نیز بیان می‌کنند. این واحد در سیستم انگلیسی و آمریکایی به صورت زیر تعریف شده است.

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ W} \quad (\text{یک اسب بخار در سیستم انگلیسی})$$

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ W} \quad (\text{یک اسب بخار در سیستم آمریکایی})$$



پژوهش

در مورد اسب بخار پژوهش کنید و بررسی نمایید، چرا این واژه وارد مبحث الکتریسیته شده است.

در انتخاب مصرف‌کننده‌های الکتریکی برای انجام کاری مشخص می‌بایست به توان نوشته شده روی بدنه آنها توجه خاص شود. به عنوان مثال هرگاه هدف تأمین روشنایی

یک اتاق باشد باید با توجه به ابعاد و رنگ اتاق، لامپی را انتخاب کرد که توان نوشته شده روی حباب آن مناسب باشد.

اگر هدف انتخاب کولر برای ایجاد هوای خنک در یک فضای بسته باشد، باید ابعاد و توان الکتریکی موتوری که در کولر به کار رفته است مورد توجه قرار گیرد. با توجه به مقدار توان و ولتاژ کار هر وسیله الکتریکی می توان سایر مشخصات آن، مانند مقاومت (R) و جریان (I) آن را حساب کرد.

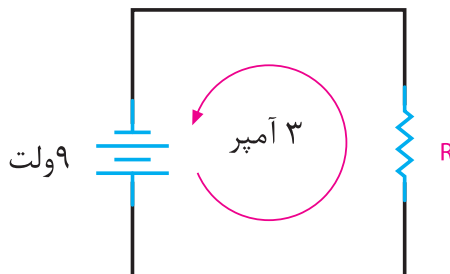
■ معادلات توان

رابطه توان الکتریکی ($P=U \cdot I$) را پس از ترکیب با روابط قانون اهم به شکل های دیگر نیز می توان نوشت.

$$P=U \times I \quad U=RI \rightarrow P=RI \times I \rightarrow P=RI^2$$

$$I = \frac{U}{R} \rightarrow P = U \times \frac{U}{R} \rightarrow P = \frac{U^2}{R}$$

مثال ۱: در مدار شکل ۱۱-۱ مقدار مقاومت الکتریکی و توان مصرفی آن را محاسبه کنید.

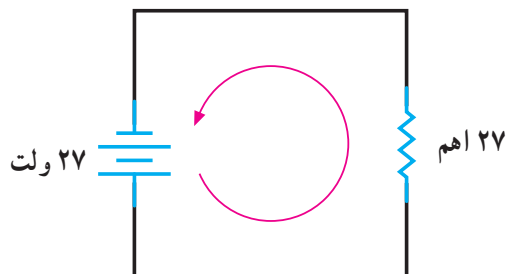


$$R = \frac{U}{I} = \frac{9}{3} = 3\Omega$$

$$P = U \times I = 9 \times 3 = 27W$$

شکل ۱۱-۱- مدار مثال ۱

تمرین: در مدار شکل ۱۱-۲ مقدار شدت جریان و توان مصرفی مقاومت را محاسبه کنید.



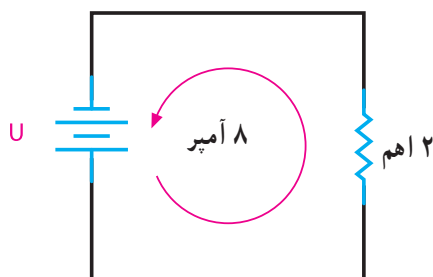
شکل ۱۱-۲- مدار تمرین

تمرین: شدت جریان و توان مصرفی اتوی برقی شکل ۱۱-۳ را محاسبه کنید.



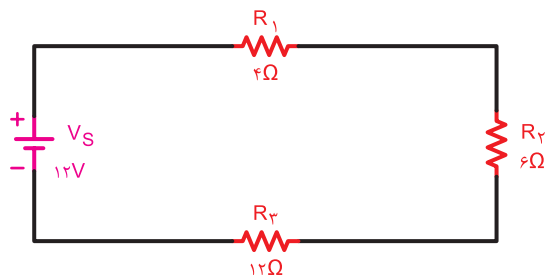
شکل ۱۱-۳- مدار تمرین

تمرین: ولتاژ منبع و توان مصرفی مقاومت ۲ اهمی مدار شکل ۱۱-۴ را محاسبه کنید.



شکل ۱۱-۴- مدار تمرین

مثال ۳: در مدار شکل ۱۱-۶ توان مصرفی مقاومت‌های R_1 ، R_2 و R_3 و توان کل مدار را به دست آورید.



شکل ۱۱-۶- مدار مثال ۳

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 \rightarrow R_t = 4 + 6 + 12 = 22$$

$$I_t = \frac{V_t}{R_t} = \frac{12}{22} = 0.545 \text{ A} \quad P_1 = R_1 \times I_t^2$$

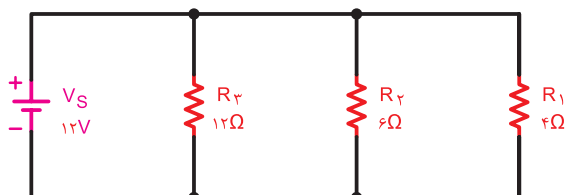
$$P_1 = 4 \times (0.545)^2 = 1.16 \text{ W}$$

$$P_2 = 6 \times (0.545)^2 = 1.75 \text{ W}$$

$$P_3 = 12 \times (0.545)^2 = 3.5 \text{ W}$$

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 = 1.16 + 1.75 + 3.5 = 6.41 \text{ W}$$

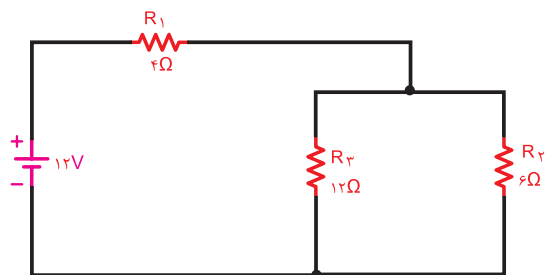
تمرین: توان مصرفی هریک از مقاومت‌ها و توان کل مدار شکل ۱۱-۷ را محاسبه کنید.



شکل ۱۱-۷- مدار تمرین

تمرین: در مدار شکل ۱۱-۸ مطلوب است:

الف - توان هریک از مقاومت‌ها ب - توان کل مدار



شکل ۱۱-۸- مدار تمرین

مثال ۲: مقدار جریان و انرژی مصرفی یک موتور الکتریکی مانند شکل ۱۱-۵ با قدرت ۱ hp (انگلیسی) که در شبکه ۲۲۰ ولتی به مدت ۲۰ دقیقه کار می‌کند، را حساب کنید.

حل:

$$P = 1 \text{ hp} = 1 \times 736 = 736 \text{ W}$$

$$P = V \times I \rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{736}{220} = 3.345 \text{ A}$$

$$t = 20 \text{ دقیقه} \rightarrow t = 20 \times 60 = 1200 \text{ s}$$

$$P = \frac{W}{t} \rightarrow W = P \times t = 736 \times 1200 = 883200 \text{ J}$$



شکل ۱۱-۵

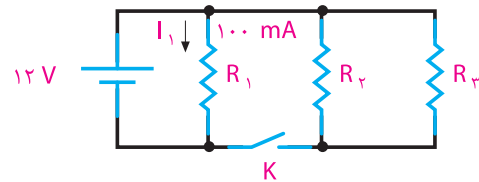
توان مصرفی کل یک مدار الکتریکی که از چند جزء تشکیل شده است از حاصل جمع توان‌های تک‌تک عناصر مدار به دست می‌آید.

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$$

برای محاسبه توان هریک از عناصر، لازم است دو کمیت از سه کمیت V ، I و R معلوم باشد تا به توان یکی از روابط P را به کاربرد. در صورتی که مقادیر دو کمیت از کمیت‌های V و I و R مدار معلوم باشد، توان کل مصرفی در یک مدار را از روابط زیر می‌توان محاسبه کرد:

$$P_t = R_t \cdot I_t^2 \quad P_t = V_t \cdot I_t \quad P_t = \frac{V_t^2}{R_t}$$

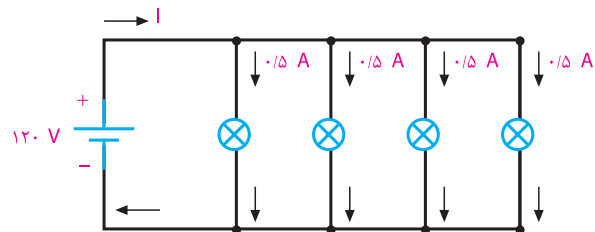
تمرین: توان مصرفی کل شبکه در شکل ۱۱-۹ در دو حالت الف و ب چه قدر است؟ در صورتی که $R_1=R_2=R_3$ باشد.



شکل ۱۱-۹- مدار تمرین

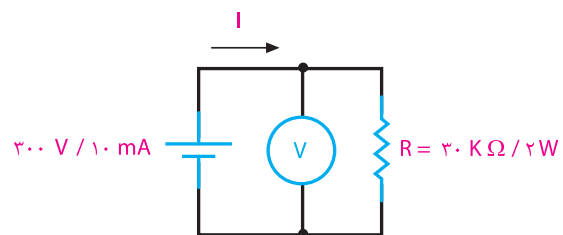
الف - کلید K باز است. ب - کلید K بسته است.

تمرین: برای تغذیه لامپ‌های مشابه شکل ۱۱-۱۰ که به طور موازی بسته شده‌اند، چه توانی از منبع به لامپ‌ها منتقل می‌شود؟



شکل ۱۱-۱۰

مثال ۴- توانی که یک منبع تغذیه با مشخصات $300V/10mA$ می‌تواند تولید کند، چه قدر است؟ اگر این منبع را مطابق شکل ۱۱-۱۱ به یک مقاومت $30k\Omega/2W$ متصل کنیم، چه اتفاقی می‌افتد؟



شکل ۱۱-۱۱- مدار مثال ۴

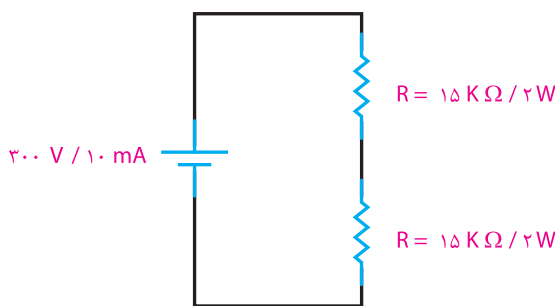
حل:

$$P_i = U \times I = 300 \times 10 \times 10^{-3} = 3W$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{300}{30K} = 10mA$$

$$P_R = U_R \times I = 300 \times 10 \times 10^{-3} = 3W$$

چون توان مجاز مقاومت بیش از ۲ وات نیست و اکنون ۳ وات مصرف می‌کند، مقاومت گرم می‌شود و می‌سوزد. اگر دو مقاومت $15K\Omega/2W$ را با همان منبع تغذیه مانند شکل ۱۱-۱۲ سری کنیم، توان مصرفی هر مقاومت $1/5$ وات می‌شود که از توان مجاز آن کمتر است. در نتیجه برای مقاومت‌ها مسئله‌ای پیش نمی‌آید.



شکل ۱۱-۱۲- مدار اصلاح شده مثال ۴

تمرین: دو مقاومت $30k\Omega/2W$ را به صورت سری به منبع تغذیه $300V/10mA$ وصل می‌کنیم. توان مصرفی هر مقاومت و توان تولید شده توسط منبع تغذیه را حساب کنید.

تمرین: روی لامپی مقادیر $220V$ و $300W$ به چشم می‌خورد. شدت جریان و مقاومت آن را محاسبه کنید. در صورت کاهش ولتاژ به میزان $180V$ ، شدت جریان و توان مصرفی توسط لامپ چقدر می‌شود؟

۱۱-۳- ضریب بهره (راندمان الکتریکی)

طبق اصل «بقای انرژی» انرژی هیچ‌گاه از بین نمی‌رود و فقط از نوعی به نوع دیگر تبدیل می‌شود. در هنگام تبدیل انرژی‌ها به یکدیگر، مقداری از انرژی به مصرف مفید نمی‌رسد و به نوعی دیگر از انرژی تبدیل می‌شود

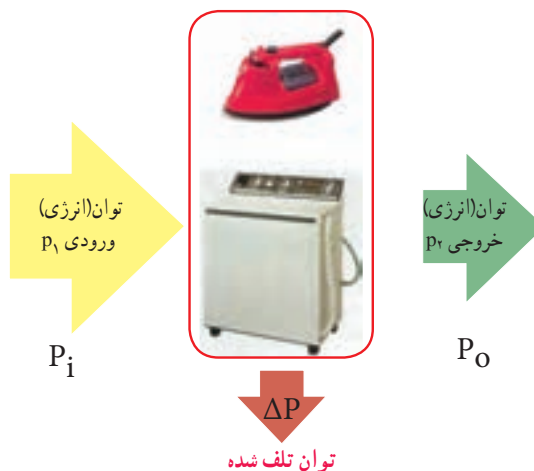
که مورد نظر ما نیست. این انرژی را «انرژی تلف شده» می نامند. مثلاً در یک موتور الکتریکی که انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی تبدیل می شود، بخشی از انرژی الکتریکی موتور به صورت های زیر تلف می شود:

الف - اصطکاک قسمت های مکانیکی گردنده

ب - حرارت در سیم های حامل جریان

پ - حرارت در سیم پیچی و هسته

در عمل تمام انرژی الکتریکی دریافتی از شبکه به انرژی مکانیکی تبدیل نخواهد شد. با توجه به توضیحات بالا می توان نتیجه گرفت که انرژی یا توان داده شده به هر وسیله ای از انرژی یا توان دریافت شده از آن بیشتر است. از طرف دیگر مقدار توان تلف شده در همه دستگاه ها یکسان نیست. لذا لازم است تا با عاملی میزان کارایی هر وسیله را بیان کنیم که معمولاً از اصطلاح «کارایی» یا «راندمان» استفاده می شود. شکل ۱۱-۱۳ وضعیت مصرف کننده ها را از نظر ورودی و خروجی نشان می دهد.



شکل ۱۱-۱۳ - وضعیت مصرف کننده ها از نظر توان

به طور کلی نسبت توان گرفته شده (خروجی) به توان داده شده (ورودی) را بازده می گویند. ضریب بهره که معرف مقدار عددی راندمان است، همیشه بر حسب درصد بیان می شود. هر قدر عدد راندمان بیشتر باشد نشان دهنده آن است که کیفیت کاری دستگاه بهتر است. اگر توان ورودی را با

(P_۱) و توان خروجی را با (P_۲) و ضریب بهره را با (η-اِتا) نشان دهیم رابطه آن به صورت زیر خواهد شد:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

مثال ۵: توان مفید الکتروموتوری ۱ اسب بخار انگلیسی و راندمان آن ۸۵ درصد است. توان ورودی و تلفات داخلی آن را محاسبه کنید. در صورتی که ولتاژ الکتروموتور ۲۲۰ ولت باشد، شدت جریان چقدر است؟

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \rightarrow P_1 = \frac{P_2}{\eta}$$

$$P_1 = \frac{1 \times 736}{0.85} = 866 \text{ W}$$

$$\text{وات} P_1 = 866 = \text{قدرت ورودی}$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 866 - 736 = 130 \text{ W}$$

$$\Delta P = 130 \text{ W} = \text{تلفات داخلی}$$

$$I = \frac{P_1}{U} = \frac{866}{220} = 3.93 \text{ A}$$

تمرین: مولدی با قدرت ۵ کیلووات مانند شکل ۱۱-۱۴ حداکثر می تواند انرژی الکتریکی ۴۴ لامپ ۲۲۰ ولتی ۵۰٪ آمپری را تأمین کند. حساب کنید راندمان آن چند درصد است؟

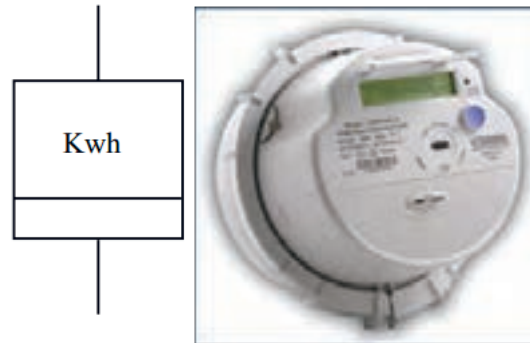


شکل ۱۱-۱۴ - مولد جریان متناوب

۴-۱۱- محاسبه هزینه برق مصرفی :

کار الکتریکی به وسیله دستگاهی به نام «کنتور» اندازه گیری می شود. تصویری از این وسیله را به همراه علامت اختصاری آن در شکل ۱۱-۱۵ مشاهده می کنید. کار الکتریکی را از رابطه زیر می توان محاسبه کرد :

$$W = V.I.t \rightarrow W = P.t$$



شکل ۱۱-۱۵- کنتور و علامت فنی

در رابطه کار الکتریکی اگر P بر حسب وات و t بر حسب ثانیه باشد، W بر حسب وات ثانیه یا ژول به دست می آید. چون وات ثانیه یا ژول واحد کوچکی است، لذا برای محاسبه هزینه برق مصرفی منازل و کارخانجات از واحدهای بزرگ تر استفاده می شود. در مقیاس تجارتی توان را بر حسب کیلووات (KW) و زمان را بر حسب ساعت (h) در نظر می گیرند. به همین دلیل مبنای محاسبه قیمت برای برق مصرفی بر حسب کیلووات ساعت (kwh) سنجیده می شود. رابطه ای که برای محاسبه هزینه برق مصرفی به کار می رود برابر است با :

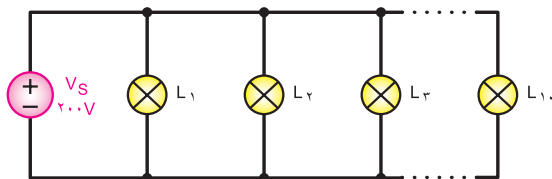
$$C_T = C \cdot W$$

C - قیمت یک کیلووات ساعت برق

W - انرژی (کار الکتریکی) مصرفی بر حسب کیلووات ساعت
 C_T - قیمت کل برق مصرفی

همان گونه که از رابطه (W) و (C_T) مشخص است، هر قدر توان مصرف کننده و یا زمان استفاده از آن بیشتر باشد، کار الکتریکی و هزینه برق مصرفی بیشتر خواهد شد.

مثال ۶: اگر ده لامپ 100 واتی طبق شکل ۱۱-۱۶ به مدت 2 ساعت روشن باشد، هزینه برق مصرفی آنها چقدر است؟ قیمت هر کیلووات ساعت برق مصرفی را 500 ریال در نظر بگیرید.



شکل ۱۱-۱۶- مدار مثال ۶

حل :

توان مصرفی کل $P = 10 \times 100 = 1000 \text{ W} = 1 \text{ Kw}$
 زمان روشن بودن لامپ ها $t = 2 \text{ h}$
 انرژی مصرفی کل $W = P \times t = 1 \times 2 = 2 \text{ KWh}$
 کل هزینه به ریال $C_T = C \times W = 500 \times 2 = 1000$

مثال ۷: اگر به جای 10 لامپ رشته ای 100 وات مثال ۶، از 10 لامپ LED که توان هر لامپ 10 وات است استفاده کنیم، هزینه برق مصرفی را محاسبه کنید.

توان مصرفی کل $P = 10 \times 10 = 100 \text{ W} = 0.1 \text{ Kw}$
 زمان روشن بودن لامپ ها $t = 2 \text{ h}$
 انرژی مصرفی کل $W = P \times t = 0.1 \times 2 = 0.2 \text{ KWh}$
 کل هزینه به ریال $C_T = C \times W = 500 \times 0.2 = 100$

تمرین: در یک منزل مسکونی در شبانه روز تلویزیون با توان 240 وات 5 ساعت و رایانه شخصی با توان 100 وات 8 ساعت روشن است، قیمت برق مصرفی را در مدت 30 روز به ازاء هر کیلووات ساعت برابر 500 ریال محاسبه کنید.



پژوهش

در مورد موتورهای خانگی، نظیر موتور یخچال، کولر آبی، کولر گازی و پنکه، در موارد زیر تحقیق کنید و نتیجه تحقیق را به کلاس ارائه دهید. توان موتور بر حسب اسب بخار، راندمان موتور، جریان نامی موتور.



الگوی پرسش (ارزشیابی واحد یادگیری ۱۱ از فصل چهارم):

۱ رابطه کار الکتریکی ($W = V \cdot q$) و ($W = R \cdot I^2 t$) را با هم

مقایسه کنید و موارد کاربرد هریک را شرح دهید.

۲ توان الکتریکی را تعریف کنید و رابطه آن را با کار

الکتریکی بنویسید.

۳ در صورتی که توان مصرفی یک کارخانه هفت مگاوات

در ماه باشد، مقدار توان را برحسب اسب بخار

انگلیسی و آمریکایی به دست آورید.

۴ مقدار جریان و انرژی مصرفی یک موتور به قدرت ۴

اسب بخار آمریکایی را در شرایطی که ولتاژ کار آن ۲۲۰ ولت

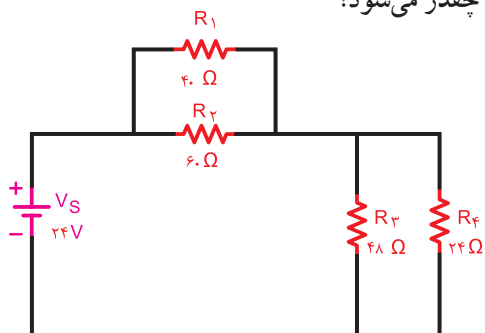
باشد و به مدت ۴ ساعت و ۲۵ دقیقه کار کند، محاسبه کنید.

۵ در مدار شکل ۱۷-۱۱، مقدار توان مصرفی هر مقاومت

و مقدار توان کل را محاسبه کنید. در صورتی که دستگاه

به مدت ۸ ساعت روشن باشد، مقدار انرژی مصرفی

چقدر می شود؟



شکل ۱۷-۱۱

۶ با مراجعه به فضای مجازی، پلاک یک نمایش گر لامپ

اشعه کاتدیک و یک نمایش گر LCD را بخوانید و

توان مصرفی هریک را بنویسید. در صورتی که قیمت

هر کیلووات ساعت برق مصرفی ۵۵۰ ریال باشد و

هر رایانه در روز به مدت ۱۰ ساعت روشن بماند، در

یک سال (۱۲ ماه و هر ماه ۳۰ روز) با جایگزین کردن

نمایش گر LCD با CRT چقدر صرفه جویی می شود؟

۷ با مراجعه به سایت های مرتبط، پلاک یک موتور

کولر یا موتور دیگری را بخوانید و میزان راندمان آن را

محاسبه کنید.

پژوهش کنید که کنتورهای معمولی مکانیکی با کنتورهای دیجیتالی چه تفاوت هایی دارند؟ نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

تمرین: یک یخچال ساید بای ساید قدیمی برای برطرف کردن برفک از یک رشته حرارتی با توان یک کیلووات استفاده می کند و در طول شبانه روز هر ۸ ساعت یک بار این رشته حرارتی به مدت ۲۰ دقیقه روشن می شود. در صورتی که قیمت برق مصرفی کیلووات ساعتی ۵۰۰ ریال باشد، تعیین کنید: الف - میزان انرژی مصرفی توسط رشته حرارتی در طول یک سال (۳۶۵ روز)

ب - در صورتی که در یخچال های جدید، رفع برفک با برگشت گاز حد اکثر ۱۰۰ وات انرژی مصرف کند، با جایگزین کردن یخچال قدیمی با یخچال جدید، چقدر در هزینه صرفه جویی می شود؟

واحد یادگیری ۱۲

انرژی های نو

۱۲-۱- انرژی های نو

انرژی های نو یا جایگزین، به آن دسته از انرژی هایی گفته می شود که در تولید آنها، از منابع سوخت های فسیلی استفاده نمی شود. از انواع این انرژی ها می توان انرژی خورشیدی، باد و امواج، «زمین- گرمایی»، دریایی، آب و «زیست - توده» را نام برد. چون این نوع انرژی ها معایب نیروگاه های با سوخت های فسیلی را ندارند، سبب افزایش دمای کره زمین نمی شوند و تغییرات آب و هوایی و آلودگی زیست محیطی را ایجاد نمی کنند.

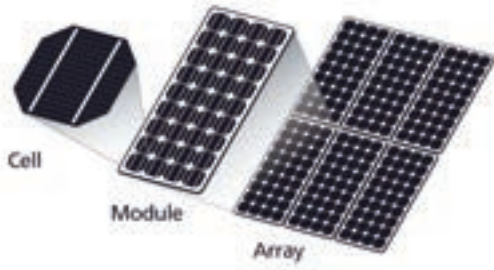
۱۲-۲- انرژی خورشیدی (Solar Energy)

یکی از بهترین و تمیزترین روش های تولید انرژی الکتریکی، استفاده از سلول های خورشیدی است، این سلول ها بدون هیچ گونه آلاینده ای و صدا، می توانند برق تولید کنند. سلول های فتوولتائیک (PV- Photovoltaic Cell) که آن را با نام سلول خورشیدی می شناسیم، از مواد نیمه رسانای جامد تشکیل شده اند. مهم ترین ماده نیمه رسانا در طبیعت سیلیسیم (سیلیکون) است که به علت فراوانی، از آن در ساخت سلول های خورشیدی استفاده می کنند. شکل ۱۲-۱ یک نمونه سلول فتوولتائیک را نشان می دهد.



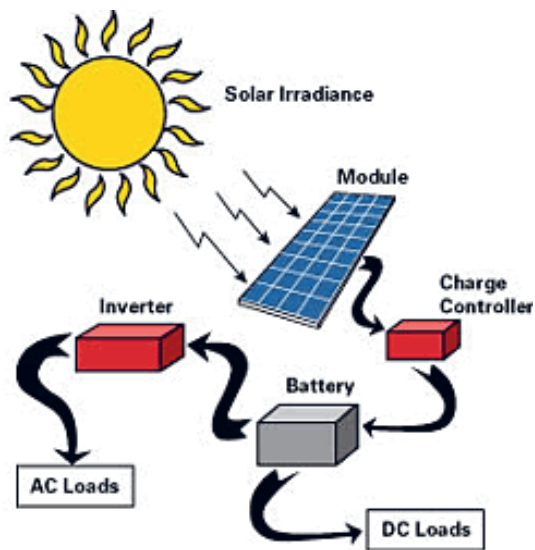
شکل ۱۲-۱- سلول خورشیدی

ماسه یکی از منابع مهم سیلیسیم است که پس از پالایش، از آن کریستال های سیلیسیم به دست می آید. با افزودن ناخالصی به کریستال ها، دو نوع کریستال P و N شکل می گیرد. در مورد این کریستال ها در واحد یادگیری ۱۳ توضیح داده می شود. با اتصال کریستال های P و N به یکدیگر سلول فتوولتائیک شکل می گیرد. از مجموع چند سلول، پانل ها (صفحه ها - Modules - Paneles) و از تعدادی پانل، آرایه های (Arrays) فتوولتائیک به وجود می آید. شکل ۱۲-۲ سلول، پانل و آرایه را نشان می دهد.

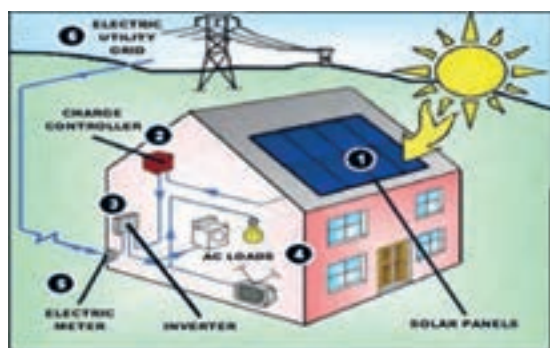


شکل ۱۲-۲- آرایه های خورشیدی

ولتاژ خروجی یک سلول خورشیدی در حالت بی باری (بدون مصرف کننده) برابر با ۰/۶ ولت است. بنابراین با سری کردن مثلاً ۵۰ سلول خورشیدی، یک پانل خورشیدی ۳۰ ولتی ساخته می شود. همانطور که قبلاً گفته شد، این ولتاژ عبارت از ولتاژی است که پانل در حالت بی باری به ما می دهد. تعداد ۱۲ عدد از این پانل ها که یک آرایه را می سازند، ولتاژی برابر با ۳۶۰ ولت ایجاد می کنند. ولتاژ پانل ها معمولاً در استاندارد ۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸ و ۶۰ ولت ساخته می شوند. با اتصال یک پانل به بار و کشیدن جریان از آن، ولتاژ خروجی افت می کند.



شکل ۱۲-۳- مراحل استفاده از انرژی خورشیدی



شکل ۱۲-۴- مراحل استفاده از انرژی خورشیدی



فعالیت گروهی

مراحل استفاده از انرژی خورشیدی را در شکل ۱۲-۳ و مرحله ۱ تا ۶ را در شکل ۱۲-۴ به فارسی ترجمه کنید و در مورد این مراحل با هم بحث و گفت‌وگو کنید.

■ کاربرد پانل‌های خورشیدی : از پانل‌های خورشیدی علاوه بر استفاده در نیروگاه‌های خورشیدی و تولید الکتریسیته برای روشنایی و تأمین انرژی در ماهواره‌ها، در مواردی مانند، ایجاد گرمایش و سرمایش مکان‌ها، اجرای فرایندهای صنعتی، آب‌شیرین‌کن‌ها، یخچال خورشیدی، خشک‌کن خورشیدی و

میزان افت ولتاژ سلول‌ها با توجه به کارخانه سازنده آن متفاوت است. مثلاً برای نوع خاصی از این سلول‌ها ولتاژ در حداکثر توان ۱۷/۴۷ ولت و در حالت مدار باز مقدار ولتاژ خروجی ۲۲/۲ ولت می‌شود. یعنی میزان افت ولتاژ ۴/۷۳ ولت است.

آرایه‌ها در توان‌های DC متفاوت مثلاً از ۱۰۰ تا ۳۲۰ وات با راندمان‌های متفاوت ساخته می‌شوند. راندمان به این مفهوم است که اگر صفحات مستقیماً به سمت خورشید تنظیم شده باشند، چند درصد از انرژی دریافتی از خورشید را به الکتریسیته تبدیل می‌کنند. به عبارت دیگر میزان تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی در شرایطی که نور مستقیم به سلول می‌تابد، را راندمان می‌نامند.

راندمان یک آرایه، مساحت آن را تعیین می‌کند. مثلاً آرایه‌ای ۲۳۰ وات با راندمان ۸ درصد دارای مساحتی دو برابر آرایه‌ای ۲۳۰ وات با راندمان ۱۶ درصد است. آرایه‌ها در حالت ثابت یا با ردیاب متحرک نصب می‌شوند. ردیاب متحرک با توجه به فصل و زاویه تابش خورشید، زاویه خود را تطبیق می‌دهد.

هرچند ولتاژ حاصل از پانل‌های خورشیدی در طول روز متفاوت است ولی انرژی تولیدی آن به باتری قابل شارژ متصل شده و در آن ذخیره می‌شود. لذا باتری یا بانک باتری وظیفه اصلی تأمین انرژی الکتریکی را به عهده دارد. با قرار دادن یک دستگاه مبدل (Inverter) می‌توان ولتاژ DC را به ولتاژ AC تبدیل نمود. شکل ۱۲-۳ این فرایند را نشان می‌دهد.

گلخانه خورشیدی استفاده می کنند. در شکل ۱۲-۵ تعدادی از وسایلی که انرژی آن از طریق سلول های خورشیدی تأمین می شود را مشاهده می کنید.



شکل ۱۲-۵ کاربرد انرژی خورشیدی

اطلاعات فنی مربوط به پانل های خورشیدی در برگه های اطلاعات ارائه شده توسط کارخانه های تولید کننده نوشته می شود. در شکل ۱۲-۶ یک نمونه برگه اطلاعات را مشاهده می کنید.

		CS6P-200P	CS6P-210P	CS6P-220P	CS6P-230P	CS6P-240P
Nominal Maximum Power at STC (P _{max})		200W	210W	220W	230W	240W
Optimum Operating Voltage (V _{mp})		28.9V	28.9V	29.3V	29.8V	30.4V
Optimum Operating Current (I _{mp})		6.93A	7.26A	7.52A	7.71A	7.91A
Open Circuit Voltage (V _{oc})		34.2V	34.4V	34.8V	34.8V	37.8V
Short Circuit Current (I _{sc})		7.68A	7.91A	8.09A	8.34A	8.61A
Operating Temperature		-40°C ~ +85°C				
Maximum System Voltage		1,000V (IEC) / 600V (UL)				
Maximum Series Fuse Rating		15A				
Power Tolerance		±5W				
Temperature Coefficient	P _{max}	-0.45%/°C				
	V _{oc}	-0.35%/°C				
	I _{sc}	0.060%/°C				
	NOCT	45°C				

شکل ۱۲-۶ برگه اطلاعات یک نمونه پانل خورشیدی



اگر بخواهیم یک دستگاه با توان ۴۰۰ وات و با همان ولتاژ را توسط این مدل پانل خورشیدی راه اندازی کنیم، از چند پانل و به چه صورت باید استفاده کنیم؟

۱۲-۳- انرژی باد (Wind Energy)

انرژی حاصل از هوای متحرک، انرژی باد است. در بین انرژی‌های تجدیدپذیر انرژی باد یکی از بهترین و اقتصادی‌ترین روش‌های تولید برق است. این نوع انرژی مانند انرژی خورشیدی آلودگی زیست‌محیطی ندارد و پایان‌ناپذیر است. به‌طور کلی با جایگزینی انرژی «برق - بادی» به‌جای انرژی برق حاصل از نیروگاه‌های فسیلی، می‌توان انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش داد و ضمن ایجاد جاذبه‌های طبیعی، از سطح زمین نیز برای فعالیت‌های کشاورزی و دامپروری استفاده نمود. در شکل ۱۲-۸ مجموعه‌ای از توربین‌های بادی جهت تولید انرژی الکتریکی نشان داده شده است. در شکل ۱۲-۹ ساختمان داخلی یک توربین بادی را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۲-۸- توربین‌های بادی

تمرین: اطلاعات زیر را از برگه اطلاعات پانل خورشیدی داده شده در شکل ۱۲-۶ برای دو نمونه استخراج کنید.

۱- حداکثر توان نامی

۲- ولتاژ کار مطلوب

۳- جریان کار مطلوب

۴- ولتاژ مدار باز

۵- جریان اتصال کوتاه

۶- درجه حرارت کار

۷- کدام نوع از پانل‌های خورشیدی شکل ۱۲-۶ بیش‌ترین توان نامی را دارد؟

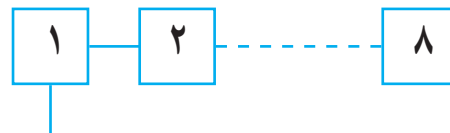
۸- کدام مدل از پانل‌های خورشیدی شکل ۱۲-۶ کم‌ترین جریان اتصال کوتاه را دارد؟

۹- خطای توان در این مدل‌ها چند وات است؟

مثال ۱: اگر با استفاده از پانل $CS6P-200P$ در شکل ۱۲-۶ بخواهیم یک دستگاه با ولتاژ کار در محدوده ۲۲۰ تا ۲۴۰ ولتی و با توان ۲۰۰ وات را راه‌اندازی کنیم، چند پانل و به چه صورت (سری - موازی) باید استفاده کنیم؟

حل: $\frac{240}{28/9} = 8/3$ تعداد پانل‌ها

از ۸ پانل و به صورت سری مانند شکل ۱۲-۷ استفاده می‌شود.



شکل ۱۲-۷- قرار گرفتن پانل‌ها به صورت سری

در محاسبات دقیق، ضرایب و جداولی مانند ضریب تولید پانل (ضریب شدت تابش نور خورشید) توسط کارخانه سازنده برای طراحان ارائه می‌شود، که لازم است هنگام طراحی عملی این ضرایب را در محاسبات دخالت دهیم. در این مثال، ضرایب لحاظ نشده است.



شکل ۱۰-۱۲- یک توربین بادی

برخی مزایای استفاده از انرژی باد عبارت‌اند از:

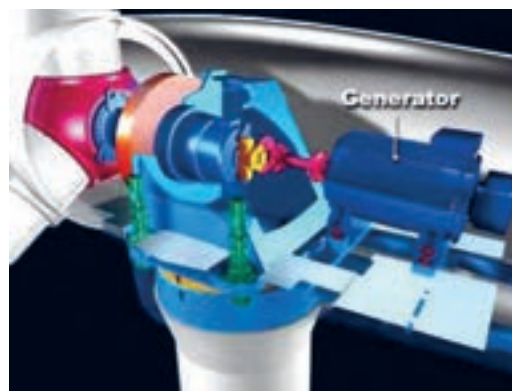
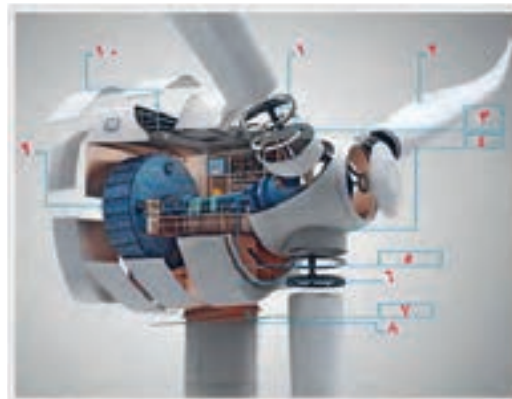
- عدم نیاز به توربین‌هایی که با سوخت فسیلی کار می‌کنند.
- رایگان بودن انرژی باد
- عدم نیاز به آب
- نداشتن آلودگی زیست‌محیطی



با مراجعه به منابع مختلف از جمله فضای مجازی، بررسی کنید در ایران چند مزرعه مولد انرژی «برق، بادی» وجود دارد؟ مکان آن‌ها کجاست؟ چند درصد از انرژی تولیدی ایران از طریق نیروگاه «برق، بادی» تأمین می‌شود؟

۴-۱۲- انرژی «زمین-گرمایی» (Geothermal Energy)

ژئو به معنی زمین و ترمال به معنی گرما (گرمایی) است. بنابراین در تولید انرژی «زمین - گرمایی»، از انرژی درونی زمین استفاده می‌شود. زمین در زمان پیدایش حالت مذاب داشته و تدریجاً سرد شده و بخش خارجی آن به صورت جامد درآمده است. اما بخش‌های داخلی زمین حالت مذاب خود را حفظ کرده و دارای درجه حرارت بسیار بالا است. مناطق دارای چشمه‌های آب گرم و آفشان‌های طبیعی، مناطقی مناسب برای استفاده از انرژی «زمین - گرمایی» هستند. در شکل ۱۱-۱۲ یک نیروگاه «زمین - گرمایی» نشان داده شده است.



اجزای یک توربین بادی

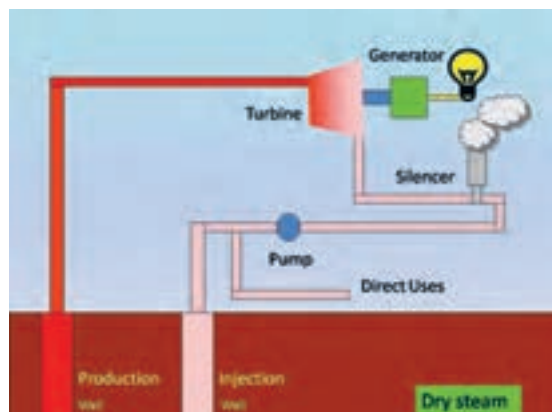
- | | |
|---------------------|---------------|
| ۱- هدایت جهت پره‌ها | ۶- پوشش بدنه |
| ۲- بال‌ها | ۷- هدایت مسیر |
| ۳- اتصال بال‌ها | ۸- برج |
| ۴- روتور | ۹- ژنراتور |
| ۵- شفت روتور | ۱۰- مدار برق |

شکل ۹-۱۲- اجزای داخلی توربین‌های بادی



اجزاء داخلی توربین بادی برای آشنایی است و نباید از این اجزاء سؤال داده شود.

نیروگاه بادی‌تکی مانند شکل ۱۰-۱۲ می‌تواند انرژی الکتریکی واحدهای مسکونی، تجاری، صنعتی یا کشاورزی را تأمین کند. یک مزرعه مولد انرژی «برق، بادی» می‌تواند بخشی از تقاضای انرژی برق شبکه سراسری را تأمین نماید.



شکل ۱۳-۱۲- نیروگاه زمین گرمایی با بخار خشک

در انتها، مجموعه بخار و آب خروجی وارد یک صدا خفه کن (Silencer) می شود تا آن قسمت از سیال که به صورت بخار است به فضا منتقل شود. از مایع گرم خروجی توربین، برای مصارف مستقیم حرارتی استفاده می کنند، یا آن را دوباره به داخل چاه تزریق (Injection Well) برمی گردانند.

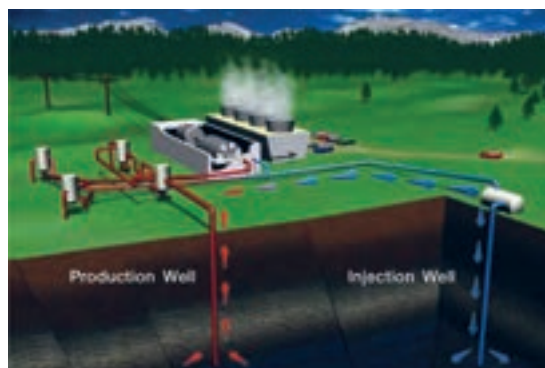
ب- نیروگاه بخار حاصل از آب داغ: این نوع نیروگاه ها از آب داغ حاصل از مخازن زیرزمینی استفاده می کنند. به این ترتیب که با حفر چاه، آب داغ به سطح می آید و به دلیل آزاد شدن از فشار مخازن، بخشی از آن به بخار تبدیل می شود. بخار حاصل برای چرخاندن توربین به کار می رود.

پ- نیروگاه ترکیبی (بخار و آب داغ): در این نوع نیروگاه، آب گرم خارج شده از زمین، فاقد هرگونه بخار است. این آب از میان مبدل های گرمایی (Heat Exchanging) می گذرد و گرما را به نوعی مایع دیگر انتقال می دهد. چون این مایع نسبت به آب دارای نقطه جوش پایین تری است. با گرمای حاصل از مایع اول گرم شده و به بخار تبدیل می شود. این نیروگاه را نیروگاه دوسیاله هم می نامند. شکل ۱۴-۱۲ عملکرد این نوع نیروگاه را نشان می دهد.



شکل ۱۱-۱۲- نیروگاه زمین گرمایی

در نیروگاه «زمین- گرمایی»، آب داغ و بخار خارج شده از مخازن زمین گرمایی، نیروی لازم را برای چرخاندن توربین ژنراتور فراهم می کند تا انرژی الکتریسیته تولید شود. آب مورد استفاده از طریق چاه های تزریق به مخزن برگشت داده می شود تا دوباره مورد استفاده قرار گیرد. شکل ۱۲-۱۲ این فرایند را نشان می دهد.



شکل ۱۲-۱۲- نیروگاه زمین گرمایی

سه نوع نیروگاه «زمین- گرمایی» برای تولید برق وجود دارد.

الف- نیروگاه خشک (Dry Steam):

در این نیروگاه بخار خشک از چاه تولید بخار (Production Well) به وسیله لوله به سمت نیروگاه هدایت می شود و نیروی لازم را برای چرخاندن توربین ژنراتور فراهم می کند.

شکل ۱۳-۱۲ عملکرد این نوع نیروگاه را نشان می دهد.

کلمات انگلیسی مندرج در شکل ۱۵-۱۲ را ترجمه کنید و نتایج را در کلاس به بحث بگذارید.

«زیست - توده» قابلیت تولید انرژی الکتریکی، حرارت، سوخت‌های مایع، سوخت‌های گازی و انواع کاربردهای مفید را دارد. منابع «زیست - توده» در حالت مستقیم مثلاً در بخاری‌های هیزمی در منازل یا تولید حرارت برای آب گرم در صنایع به کار می‌رود. چنانچه از «زیست - توده» بیوگاز (Biogas)، تولید شود می‌توان از آن در ژنراتورهای مولد برق استفاده کرد. در این روش با استفاده از بیوگاز بخار آب تولید می‌شود و بخار آب سبب گردش توربین ژنراتورها برای تولید برق می‌شود. شکل ۱۶-۱۲ تعدادی از کاربردهای بیوگاز را نشان می‌دهد.



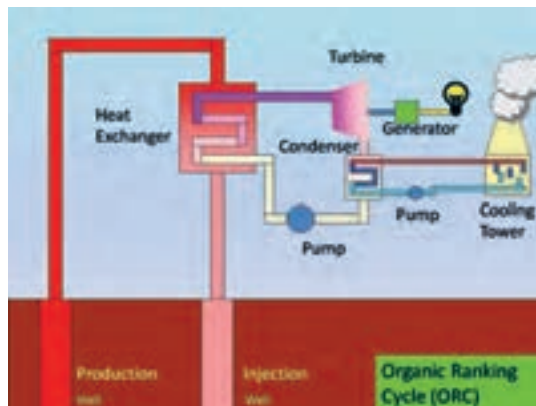
الف - تولید سوخت با استفاده از زیست توده



ب - سوخت وسیله نقلیه با استفاده از بیوگاز



پ - ژنراتور برق که با سوخت حاصل از بیوگاز کار می‌کند. شکل ۱۶-۱۲ - مواردی از کاربرد بیوگاز



شکل ۱۴-۱۲ - نیروگاه دو سیاله زمین گرمایی



نیروگاه‌های دو سیاله (دو فازی) براساس چرخه کار و تجهیزات مورد استفاده به چند دسته تقسیم‌بندی می‌شوند؟ در این مورد پژوهش کنید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

۱۲-۵ - انرژی «زیست - توده» (Biomass)

«زیست - توده» یکی از منابع مهم انرژی‌های تجدیدپذیر است. به هر موجود زنده‌ای که قابلیت رشد و نمو را دارد، «زیست - توده» می‌گویند. جنگل‌ها، اجزاء گیاهان، برگ‌ها، موجودات زنده موجود در اقیانوس‌ها، زائادات حیوانی، پسماندهای شهری و غذائی، فاضلاب‌های شهری جزء «زیست - توده» هستند. این مواد قابلیت ذخیره انرژی را در خود دارند. شکل ۱۵-۱۲ تعدادی از منابع «زیست - توده» را نشان می‌دهد.



شکل ۱۵-۱۲ - منابع زیست توده

۱۲-۶- انرژی آبی (Hydropower)

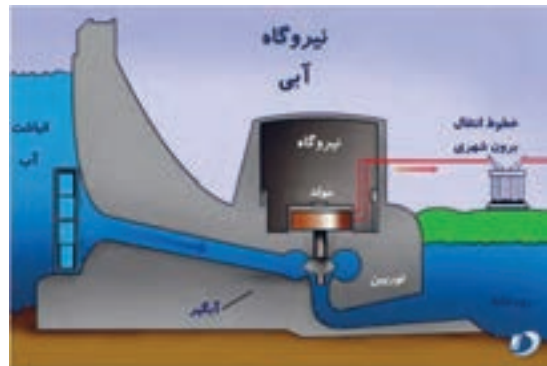
این انرژی از اختلاف سطح و حرکت آب به دست می آید. انرژی آب مانند انرژی خورشید، از منابع طبیعی انرژی است. با ایجاد سد در مقابل رودخانه ها می توان انرژی جنبشی آب را به صورت انرژی پتانسیل ذخیره کرد. (شکل ۱۲-۱۷)



شکل ۱۲-۱۷- ذخیره آب در سد

در نیروگاه های «برق-آبی» با استفاده از انرژی آب، انرژی الکتریکی تولید می شود.

شکل ۱۲-۱۸ فرآیند تولید برق را در یک نیروگاه «برق-آبی» نشان می دهد.



شکل ۱۲-۱۸- فرآیند تولید برق در نیروگاه «برق-آبی»

بیشترین مزیت نیروگاه های «برق-آبی» عدم نیاز به سوخت و کاستن آلاینده های زیست محیطی است. همچنین در این نیروگاه ها هزینه های مربوط به تأمین سوخت حذف می شود. معمولاً عمر نیروگاه های «برق-آبی» بیش تر از نیروگاه های گرمایی است. در ضمن از آب ذخیره شده در پشت سد

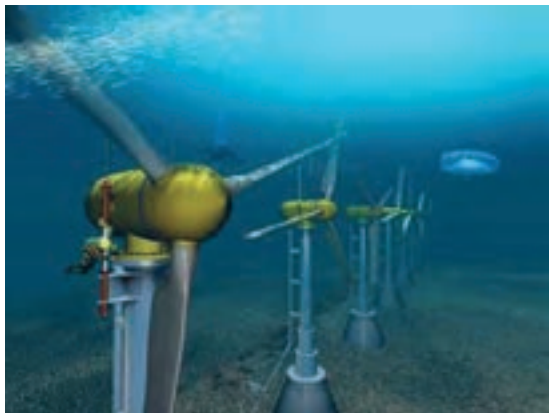
جهت آبیاری مزارع، ورزش های آبی و پرورش موجودات آبی و تأمین آب شرب مناطق پائین دست سد می توان استفاده کرد.

■ انرژی اقیانوس (Ocean Energy): انرژی موجود در اقیانوس ها و دریاها در سه شکل به صورت زیر وجود دارد: الف- امواج

ب- انرژی جزر و مد

پ- انرژی حاصل از اختلاف دما

با وجود پتانسیل بسیار زیاد اقیانوس ها، به دلیل نیاز به فناوری ویژه و هزینه زیاد برای بهره برداری، معمولاً از این انرژی در حد قابل قبول استفاده نمی شود. در شکل ۱۲-۱۹ یک نمونه از توربین های نصب شده در عمق اقیانوس و زیر آب را ملاحظه می کنید.



شکل ۱۲-۱۹- توربین ها در زیر آب



(ب)

شکل ۱۲-۲۱- دو نوع پانل خورشیدی قابل حمل

۵ قسمتی از برگه اطلاعاتی مربوط به یک پانل خورشیدی در شکل ۱۲-۲۲ آمده است. مطالب را به فارسی ترجمه و استخراج کنید.

Sunmodule⁺ SW 250 mono / Version 2.0		
PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)*		
Maximum power	P_{max}	250 Wp
Open circuit voltage	V_{oc}	37.8 V
Maximum power point voltage	V_{mp}	31.1 V
Short circuit current	I_{sc}	8.28 A
Maximum power point current	I_{mp}	8.05 A



شکل ۱۲-۲۲- برگه اطلاعات و شکل ظاهری یک نمونه پانل خورشیدی

الگوی پرسش (ارزشیابی واحد یادگیری ۱۲ از فصل چهارم):

۱ انواع انرژی‌های نو را نام ببرید و مزایای استفاده از آن را بنویسید.

۲ معنی فارسی Solar Energy

و معنی فارسی Biomass است.

۳ انرژی الکتریکی مورد نیاز برای یک چادر عشایری مانند شکل ۱۲-۲۰ را می‌توان با پانل خورشیدی تأمین نمود.

☐ درست ☐ نادرست



شکل ۱۲-۲۰- شکل سؤال ۳

۴ در صورتی که انرژی خورشید کافی باشد، از سیستم شکل ب-۱۲-۲۱ و برای تأمین شارژ باتری تلفن همراه، لبتاپ و تبلت از شکل الف-۱۲-۲۱ استفاده می‌شود.

☐ درست ☐ نادرست



(الف)



شکل ۲۵-۱۲ - نمونه دیگری از آسیاب بادی



شکل ۲۶-۱۲ - یک نمونه نیروگاه برق - بادی



پژوهش

در شکل ۲۷-۱۲ یک نمونه بادگیر را که در مناطق کویری مورد استفاده قرار می‌گیرد مشاهده می‌کنید. بررسی کنید که قدمت و دلیل استفاده از این بادگیرها در ایران چیست؟ نتیجه را به کلاس ارائه نمایید.



شکل ۲۷-۱۲ - یک نمونه بادگیر مناطق کویری

۶ چهار مورد مزایای استفاده از نیروگاه بادی را شرح دهید.

۷ Geo به معنی و

Thermal به معنی است.

۸ کدام گزینه تولید انرژی را توسط زائدات حیوانی، پسماندهای شهری و غذایی و فاضلاب شهری بیان می‌کند؟

۱-Hydropower ۲-Biomass

۳-Geothermal ۴-Ocean Energy

۹ شکل ۲۳-۱۲ - چه نوع تولید انرژی را نشان می‌دهد؟

۴ مرحله نشان داده شده در شکل را شرح دهید.



شکل ۲۳-۱۲ - شکل سؤال ۹

در شکل ۲۴، ۲۵، ۲۶-۱۲ دو نمونه آسیاب بادی و یک نمونه نیروگاه «برق-بادی» نشان داده شده است. با مراجعه به سایت‌های اینترنتی، این دو سامانه را با هم مقایسه کنید. در ضمن بررسی نمایید اولین آسیاب بادی در کدام کشور ساخته شده و قدمت آسیاب بادی در ایران چند سال است.



پژوهش



شکل ۲۴-۱۲ - یک نمونه آسیاب بادی

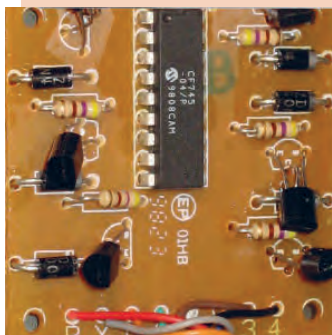
ارزشیابی شایستگی پودمان ۴ : کار و توان الکتریکی

رشته تحصیلی : الکترونیک			پایه : دهم		سال تحصیلی : ۹۷-۱۳۹۶	
کد رشته : ۷۱۴۱۰			کد درس :		کد کتاب : ۲۱۰۲۷۵	
عنوان پودمان	تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)	استاندارد عملکرد	نتایج ممکن	شاخص تحقق		نمره
				بالاتر از حد انتظار	اجرای همه بندها و ارائه نمونه‌های جدید از انرژی‌های نو	۳
				در حد انتظار	اجرای بند ۲، ۳ و ۴	۲
				پایین تر از حد انتظار	اجرای ۱ یا ۲ بند	۱
نمره مستمر از ۵						
نمره شایستگی پودمان						
نمره پودمان از ۲۰						
نمره شایستگی پودمان منحصراً شامل نمرات ۱، ۲ یا ۳ است.						
زمانی هنرجو شایستگی کسب می‌کند که در ارزشیابی پودمان حداقل نمره شایستگی ۲ را اخذ کند.						
حداقل نمره قبولی پودمان ۱۲ از ۲۰ است.						
نمره کلی درس زمانی لحاظ می‌شود که هنرجو در کلیه پودمان‌ها، شایستگی مورد نیاز را کسب نماید.						



پودمان پنجم

الکترونیک و کاربرد آن



واحد یادگیری ۱۳ : کسب شایستگی لازم در شناخت رفتار و عملکرد دیود در مدارهای الکترونیکی و استفاده از روابط مربوطه برای انجام محاسبات ساده و انطباق آن با محاسبات نرم افزاری.

واحد یادگیری ۱۴ : کسب شایستگی لازم در شناخت رفتار و عملکرد ترانزیستور در تحلیل مدارهای الکترونیکی و استفاده از روابط مربوطه برای انجام محاسبات ساده و انطباق آن با محاسبات نرم افزاری.

۱۳-۱- نیمه‌های ها

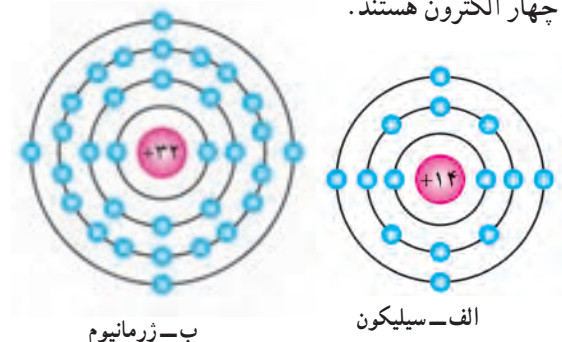
به عناصری که اتم‌های آن در مدار آخر خود چهار الکترون دارند «نیمه‌های» گویند. نیمه‌های ها در صفر مطلق (0°C) تقریباً عایق هستند. در درجه حرارت معمولی (25°C) انرژی حرارتی محیط باعث آزاد شدن تعدادی از الکترون‌های لایه ظرفیت می‌شود و هدایت الکتریکی در جسم بالا می‌رود. البته افزودن ناخالصی هم می‌تواند هدایت الکتریکی جسم را بالا ببرد. عناصری نظیر کربن، سیلیکون و ژرمانیوم جزء نیمه‌های ها به شمار می‌آیند. دو عنصر نیمه‌های سیلیکون و ژرمانیوم در برق و الکترونیک کاربرد فراوان دارند.

بررسی کنید آیا عنصری وجود دارد که در صفر مطلق هادی باشد؟ نتیجه را به کلاس درس ارائه دهید.



۱۳-۲- ساختمان اتمی سیلیکون و ژرمانیوم

سیلیکون دارای عدد اتمی ۱۴ است. یعنی دارای ۱۴ پروتون و ۱۴ الکترون است. ژرمانیوم دارای عدد اتمی ۳۲ است، یعنی ۳۲ پروتون و ۳۲ الکترون دارد. در شکل ۱۳-۱ ساختمان اتمی سیلیکون (Si) و ژرمانیوم (Ge) نشان داده شده است. هر دو عنصر سیلیکون و ژرمانیوم در لایه ظرفیت دارای چهار الکترون هستند.



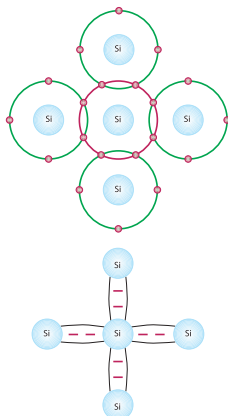
شکل ۱۳-۱- ساختمان اتمی سیلیکون و ژرمانیوم

۱۳-۳- پیوند اشتراکی (کووالانس) در اتم‌های سیلیکون و ژرمانیوم

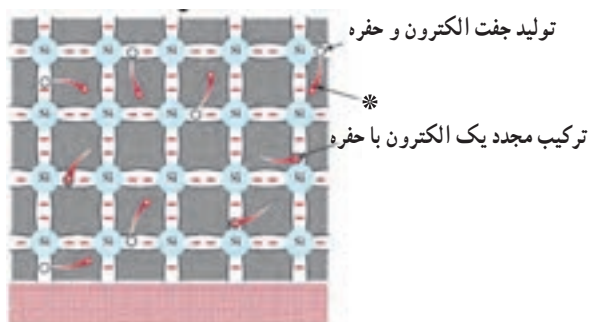
هرگاه اتمی در مدار آخر خود دارای هشت الکترون باشد مدار آن کامل بوده، از نظر شیمیایی حالت پایداری پیدا می‌کند. نیمه‌های ها و عایق‌ها تمایل به دریافت الکترون و تکمیل مدار آخر خود دارند.

چون اتم سیلیکون و ژرمانیوم در مدار آخر خود چهار الکترون دارند، می‌خواهند مدار آخر خود را کامل کنند. برای این منظور هر اتم یک الکترون با اتم مجاور به اشتراک می‌گذارد. (الکترون‌های ظرفیت هر اتم علاوه بر اینکه به دور هسته خود در گردش هستند، به دور هسته اتم مجاور هم گردش می‌کنند). این نوع پیوند بین اتم‌ها را «پیوند اشتراکی» یا «کووالانس» گویند. در شکل ۱۳-۲ پیوند اشتراکی بین اتم‌های سیلیکون را مشاهده می‌کنید.

البته پیوند بین اتم‌های ژرمانیوم نیز مشابه اتم‌های سیلیکون است. چون هر اتم در مدار آخر خود هشت الکترون دارد و دارای حالت پایدار بوده و در صفر مطلق کریستال سیلیکون و ژرمانیوم الکترون آزاد ندارند و عایق هستند.



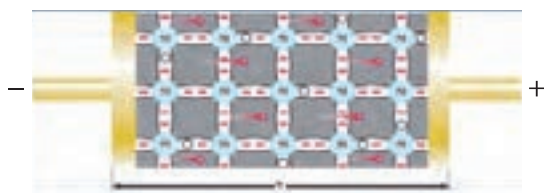
شکل ۱۳-۲- پیوند اشتراکی بین اتم‌های سیلیکون



انرژی گرمایی

شکل ۱۳-۴- تولید زوج «الکترون-حفره»

وقتی مطابق شکل ۱۳-۵ ولتاژی به دوسر کریستال متصل شود، الکترون‌های آزاد به طرف قطب مثبت باتری حرکت می‌کنند و شارشی را در مدار بوجود می‌آورند که ناشی از حرکت الکترون‌هاست و به این شارش جریان الکترون‌ها گویند.



شکل ۱۳-۵- جریان الکترون‌ها

۱۳-۶- جریان حفره‌ها

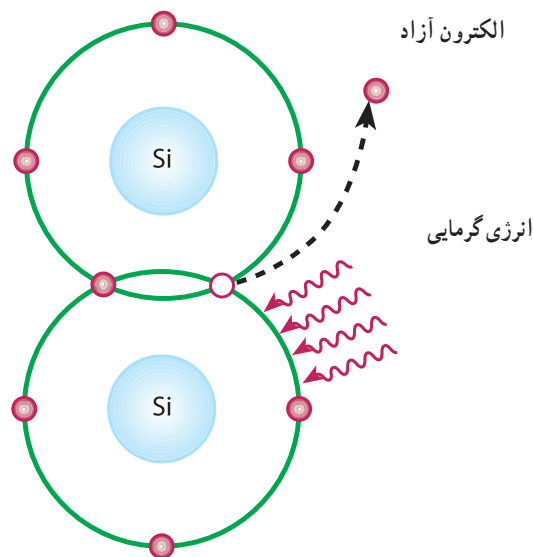
وقتی در اتم حفره‌ای وجود دارد به دلیل آنکه حفره گرایشی به جذب الکترون دارد از اتم مجاور الکترونی را جذب می‌کند، اما جای الکترون جذب شده حفره جدیدی ایجاد می‌گردد. به این ترتیب به نظر می‌رسد وقتی الکترون از چپ به راست حرکت می‌کند حفره از راست به چپ حرکت است. این جریان فرضی را جریان حفره‌ها می‌نامند.

۱۳-۷- افزودن ناخالصی به کریستال نیمه‌هادی

چون تعداد الکترون‌های آزاد و حفره‌های ایجاد شده در کریستال نیمه‌هادی سیلیکون و ژرمانیوم در اثر انرژی گرمایی به اندازه کافی نیست و از این نیمه‌هادی‌ها نمی‌توان برای ساختن قطعاتی نظیر دیود یا ترانزیستور استفاده کرد. برای افزایش هدایت نیمه‌هادی به آن ناخالصی اضافه می‌کنند.

۱۳-۴- ایجاد حفره (Hole)

انرژی‌های خارجی نظیر حرارت می‌توانند باعث شکسته شدن پیوند شوند و در نتیجه الکترون از قید هسته آزاد گردد. آزاد شدن یک الکترون از مدار ظرفیت، یک جای خالی الکترون ایجاد می‌کند که به این جای خالی الکترون حفره می‌گویند. در شکل ۱۳-۳ الکترون آزاد و محل خالی آن یعنی حفره نشان داده شده است. چون محل خالی الکترون می‌تواند یک الکترون آزاد نزدیک به خود را جذب کند، مانند یک بار مثبت عمل می‌کند.



شکل ۱۳-۳- الکترون آزاد و محل خالی آن حفره

۱۳-۵- جریان الکترون‌های آزاد

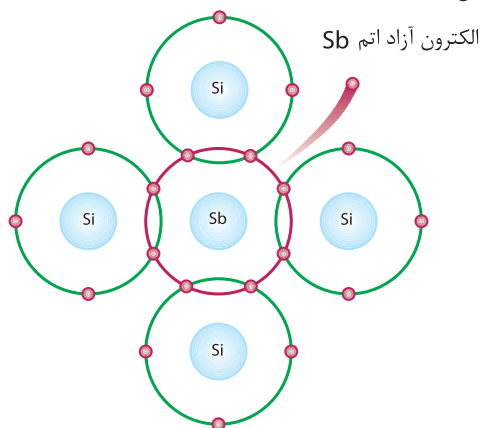
الکترون‌های آزاد شده در کریستال به صورت نامنظم حرکت می‌کنند. اگر بصورت اتفاقی الکترونی به حفره‌ای نزدیک شود جذب حفره می‌گردد. به این ترتیب تا زمانی که نیرویی از خارج اعمال نشود، حرکت الکترون‌ها و جذب آن‌ها به وسیله حفره‌ها در کریستال به طور نامنظم ادامه می‌یابد. در شکل ۱۳-۴ چگونگی تولید زوج «الکترون-حفره» و ترکیب مجدد الکترون با حفره نشان داده شده است.

ناخالص کردن نیمه‌هادی به دو شکل با اتم پنج ظرفیتی و سه ظرفیتی صورت می‌گیرد.

۱۳-۸- ناخالص کردن کریستال نیمه‌هادی با اتم پنج ظرفیتی (نیمه‌هادی نوع N)

هرگاه یک عنصر پنج ظرفیتی مانند آرسنیک (As)، آنتیموان (Sb) یا فسفر (P) را که در لایه ظرفیت خود پنج الکترون آزاد دارند، به کریستال سیلیسیوم یا ژرمانیوم اضافه کنیم، اتم ناخالص با چهار اتم سیلیسیوم مجاور خود تشکیل پیوند اشتراکی می‌دهد. از طرفی در لایه ظرفیت آنتیموان (Sb) یک الکترون می‌تواند به راحتی از قید هسته آزاد شود و به صورت الکترون آزاد درآید، به این ترتیب با افزودن هر اتم ناخالصی یک الکترون آزاد در کریستال ایجاد می‌شود. پس با تغییر تعداد اتم‌های ناخالصی، می‌توان تعداد الکترون‌های آزاد کریستال را کنترل کرد.

علاوه بر الکترون‌های آزادی که در اثر افزودن اتم‌های ناخالصی پنج ظرفیتی به کریستال به وجود می‌آیند، تعداد کمی الکترون نیز در اثر انرژی گرمایی محیط از قید هسته آزاد می‌شوند و جای خالی آن‌ها حفره ایجاد می‌گردد. در این فرآیند، اتم ناخالص ۵ ظرفیتی که یک الکترون آزاد به کریستال می‌دهد، به صورت یون مثبت در می‌آید. لذا به این اتم کریستال «اهداکننده» یا «Donor» می‌گویند، (شکل ۱۳-۶).



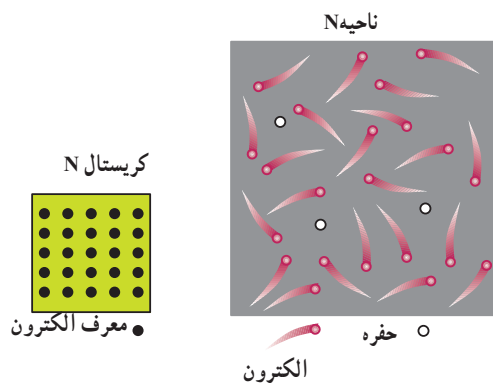
شکل ۱۳-۶- اتم Donor

به این کریستال که حامل‌های اکثریت برای هدایت الکتریکی در آن الکترون‌ها هستند، کریستال نوع N می‌گویند. در شکل ۷-۱۳ الکترون‌ها و حفره‌های کریستال نوع N نشان داده شده است.

یادآور می‌شود که در مجموع کریستال N از نظر بار الکتریکی خنثی است، زیرا مجموع بارهای مثبت و منفی موجود در آن با هم برابرند.



با توجه به شکل ۶-۱۳ و ۷-۱۳ چگونگی افزودن اتم سه ظرفیتی و تشکیل کریستال نوع P را بررسی کنید و نتیجه را در کلاس به بحث بگذارید.



شکل ۷-۱۳- الکترون‌ها و حفره‌ها در کریستال نوع N

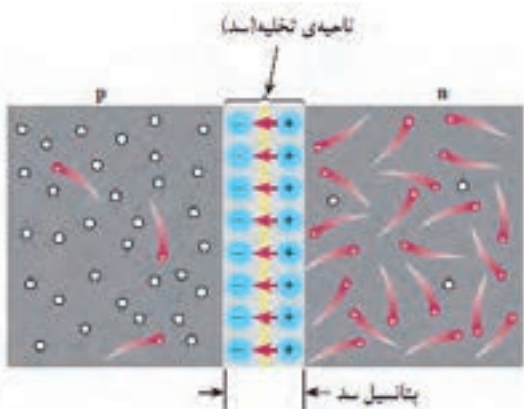


جدول ۱-۱۳ را از طریق بارش فکری به بحث بگذارید.

جدول ۱-۱۳- جمع‌بندی

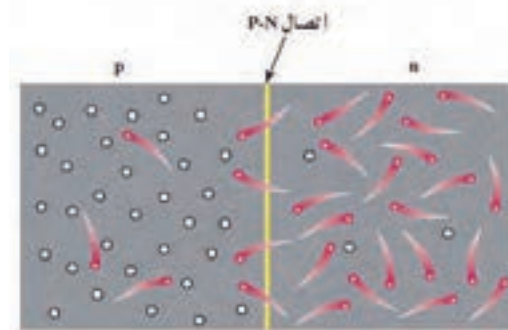
جمع‌بندی کریستال نوع N	جمع‌بندی کریستال نوع P
۱- حامل‌های اکثریت الکترون است و در اثر افزودن ناخالصی پنج ظرفیتی به وجود می‌آید.	۱- حامل‌های اکثریت حفره است و در اثر افزودن ناخالصی سه ظرفیتی به وجود می‌آید.
۲- حامل‌های اقلیت حفره است و در اثر حرارت به وجود می‌آید.	۲- حامل‌های اقلیت الکترون است و در اثر حرارت به وجود می‌آید.
در صورت اتصال ولتاژ به کریستال N یا P، جریان کل از مجموع حامل‌های اکثریت و اقلیت شکل می‌گیرد. چرا؟	
به عبارت دیگر: حامل‌های اقلیت + حامل‌های اکثریت = جریان کل	
ناشی از حامل‌های اکثریت + I ناشی از حامل‌های اقلیت I _T =	

که مانع عبور الکترون از محل اتصال شود، ولتاژی بین دو کریستال P و N به وجود می‌آید. ولتاژ ایجاد شده در ناحیه تخلیه، پتانسیل سد نام دارد و مقدار آن برای دیود سیلیکونی حدود 0.7° و برای دیود ژرمانیومی حدود 0.2° ولت است. در شکل ۹-۱۳ ناحیه تخلیه و پتانسیل سد نشان داده است. به پیوند PN، دیود (Diode) یا دو قطبی می‌گویند زیرا از دو کریستال P و N تشکیل شده است.



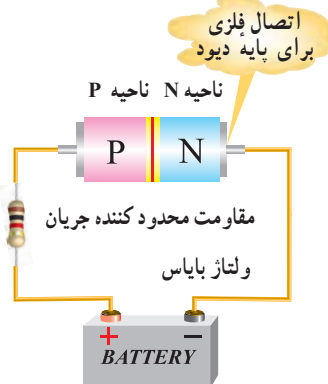
شکل ۹-۱۳ - ناحیه تخلیه (سد)

۹-۱۳ اتصال PN (دیود پیوندی - Junction Diode)
هرگاه دو کریستال نیمه‌هادی نوع N و P به هم اتصال یابند، الکترون‌های آزاد نیمه‌هادی نوع N که در نزدیک محل اتصال PN قرار دارند به منطقه P نفوذ کرده و با حفره‌های کریستال نوع P ترکیب می‌شوند. به این ترتیب تعدادی از حفره‌ها و الکترون‌ها از بین می‌روند و شرایط خاصی را به وجود می‌آورند. در شکل ۸-۱۳ ترکیب الکترون‌ها با حفره‌ها نشان داده شده است.



شکل ۸-۱۳ - پیوند PN

۱۰-۱۳ ولتاژ بندی یا بایاس (Bias) دیود
اتصال ولتاژ به دیود را ولتاژ بندی یا بایاس کردن (Biasing) دیود می‌نامند. اتصال ولتاژ به دیود به دو صورت امکان پذیر است.
الف - دیود در بایاس مستقیم (موافق - Forward Bias):
اگر نیمه‌هادی نوع P را به قطب مثبت باتری و نیمه‌هادی نوع N را به قطب منفی آن متصل کنیم، دیود در بایاس مستقیم قرار می‌گیرد. (شکل ۱۰-۱۳).



شکل ۱۰-۱۳ - پیوند PN در بایاس موافق

عبور یک الکترون از محل اتصال سبب ایجاد یک جفت یون می‌شود. هنگامی که ناحیه N یک اتم پنج ظرفیتی، الکترونی از دست می‌دهد، آن اتم به یون مثبت تبدیل می‌شود. در مقابل در ناحیه P اتم‌های سه ظرفیتی الکترون دریافت می‌کنند و تبدیل به یون منفی می‌شوند. ترکیب بی‌دری الکترون‌ها با حفره‌ها در محل پیوند، تعداد زیادی یون مثبت و منفی را ایجاد می‌کند. این یون‌ها در کریستال ثابت هستند و نمی‌توانند مانند الکترون‌های آزاد حرکت کنند. بنابراین در محل پیوند ناحیه‌ای به نام لایه تخلیه به وجود می‌آید که در آن حامل‌های هدایت الکتریکی یعنی الکترون‌ها و حفره‌ها، وجود ندارد. به ناحیه تخلیه ناحیه سد هم گفته می‌شود.

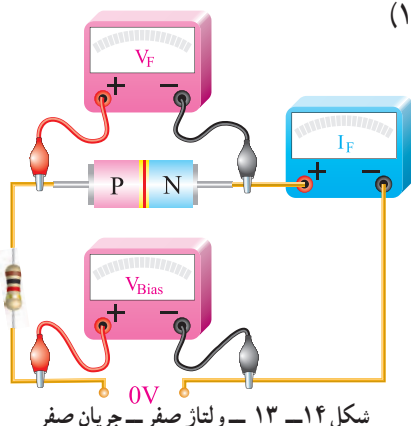
یون‌های مثبت و منفی در ناحیه تخلیه سبب ایجاد میدان الکتریکی می‌شود و نمی‌گذارد الکترون‌های آزاد از محل اتصال عبور کند. هرگاه میدان ایجاد شده به حدی برسد



رفتار دیود در در بایاس مستقیم و بایاس معکوس در مدارهای الکتریکی چه کاربردی می‌تواند داشته باشد؟

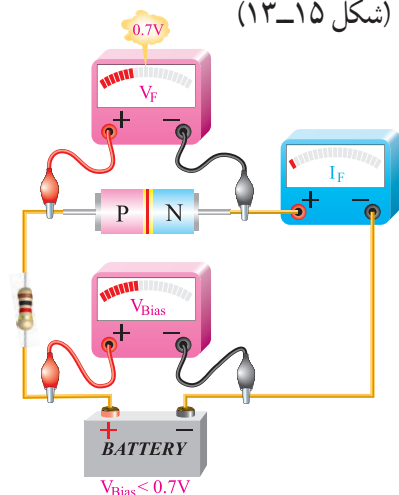
۱۲-۱۳- منحنی مشخصه ولت آمپر دیود در بایاس مستقیم

اگر دیودی را در بایاس مستقیم قرار دهیم و ولتاژ متصل شده به آن را به تدریج از صفر ولت افزایش دهیم و جریان عبوری از دیود را به وسیله میلی‌آمپر متر اندازه بگیریم، در ولتاژ صفر جریان عبوری از دیود صفر است. (شکل ۱۳-۱۴)



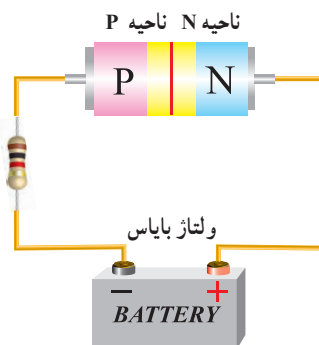
شکل ۱۴-۱۳ ولتاژ صفر-جریان صفر

با افزایش ولتاژ جریان عبوری از دیود هم افزایش می‌یابد. هنگامی که ولتاژ بایاس برای یک دیود سیلیکونی کمتر از ۰.۷ ولت است، جریان بسیار ناچیزی از دیود عبور می‌کند. (شکل ۱۳-۱۵)



شکل ۱۵-۱۳ ولتاژ کمتر از ۰.۷ ولت، جریان بسیار کم

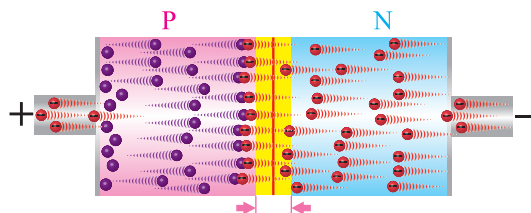
ب- دیود در بایاس معکوس (مخالف Reverse Bias): در صورتی که نیمه‌هادی نوع P را به قطب منفی باتری و نیمه‌هادی نوع N را به قطب مثبت آن وصل نماییم، این حالت را بایاس معکوس می‌نامند. (شکل ۱۱-۱۳).



شکل ۱۱-۱۳ پیوند PN در بایاس مخالف

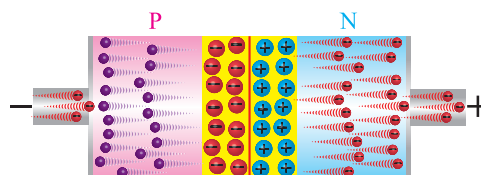
۱۱-۱۳ رفتار دیود در بایاس مستقیم:

شکل ۱۲-۱۳ تصویر پیوند دیود (PN) را در هنگام اتصال باتری در بایاس مستقیم نشان می‌دهد.



شکل ۱۲-۱۳ رفتار دیود در بایاس مستقیم

با توجه به لایه سدکه در شکل‌های ۱۲-۱۳ و ۱۳-۱۳ می‌بینید، با اعضاء گروه، رفتار دیود در بایاس مستقیم و بایاس معکوس را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهید و نتیجه را به کلاس ارائه کنید.



شکل ۱۳-۱۳ بایاس معکوس (مخالف)

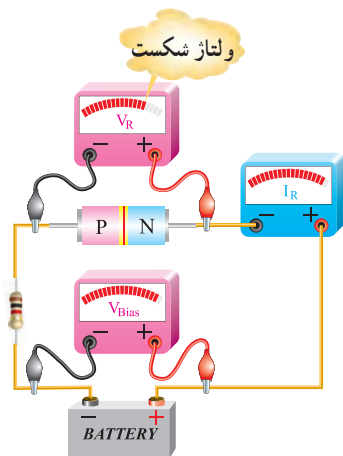
۱۳-۱۳- منحنی مشخصه ولت آمپر دیود در بایاس معکوس

اگر دیود را به طور معکوس بایاس کنیم جریان بسیار ناچیز نشستی از دیود می‌گذرد. با افزایش ولتاژ معکوس، در یک ولتاژ معین که «ولتاژ شکست دیود» (breakdown) نامیده می‌شود. در این حالت جریان عبوری از دیود به سرعت افزایش می‌یابد و دیود آسیب می‌بیند.



فیلم دیود در ولتاژ موافق و مخالف و چگونگی ترسیم منحنی دیود را ببینید.

شکل ۱۳-۱۸ حالتی را نشان می‌دهد که ولتاژ بایاس دیود به حد ولتاژ شکست رسیده است. در این حالت جریان عبوری از دیود به شدت افزایش یافته است.



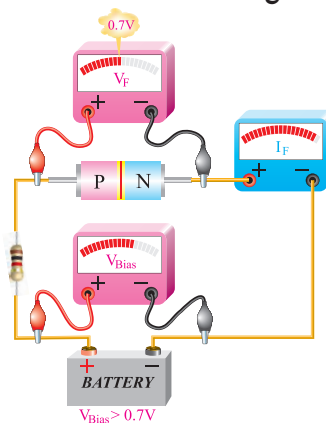
شکل ۱۳-۱۸- ولتاژ شکست دیود در بایاس مخالف

در شکل ۱۳-۱۹ منحنی مشخصه ولت آمپر دیود در گرایش معکوس نشان داده شده است.

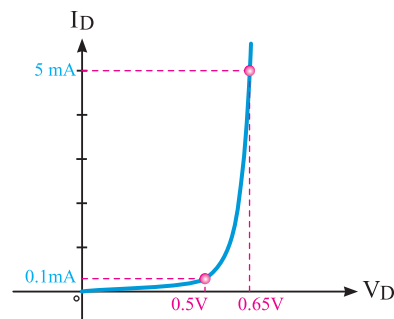


با مراجعه به منابع مختلف درباره جریان نشستی دیود پژوهش کنید و نتیجه را در کلاس به بحث بگذارید.

اگر ولتاژ بایاس زیاد شود (یعنی پتانسیل خارجی بیشتر از $0.7V$ ولت شود)، این پتانسیل بر پتانسیل سد غلبه می‌کند و سد شکسته می‌شود و سرانجام جریان عبوری از دیود به طور ناگهانی افزایش می‌یابد. برای محدود کردن جریان عبوری از دیود لازم است مقاومتی را با آن به صورت سری ببندیم، شکل (۱۳-۱۶).



شکل ۱۳-۱۶- ولتاژ بیشتر از $0.7V$ ولت، از دیود جریان عبور می‌کند. چنانچه در محورهای مختصات، به محور x مولفه ولتاژ و به محور y مولفه جریان را اختصاص دهیم، با استفاده از مقادیر مختلف اندازه‌گیری شده، می‌توانیم منحنی مشخصه دیود را ترسیم کنیم. شکل ۱۳-۱۷ منحنی ولت آمپر دیود در بایاس موافق نشان داده شده است.



شکل ۱۳-۱۷- منحنی ولت آمپر دیود در بایاس موافق

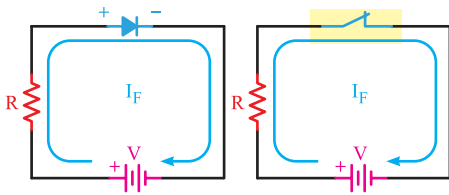
با استفاده از نرم‌افزاری که در اختیار دارید، مدار بایاسینگ دیود را ببندید و آن را تجربه کنید.



آیا از نظر شکل ظاهری انواع دیگری از دیودها وجود دارد؟ نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

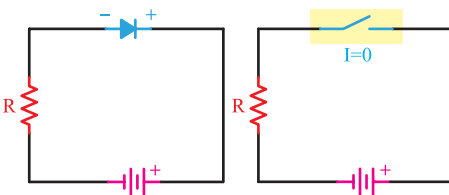
۱۵-۱۳ بررسی دیود در حالت ایده آل

چون دیود در بایاس مستقیم جریان را به راحتی عبور می‌دهد و در بایاس معکوس جریان بسیار ناچیز از دیود عبور می‌کند، پس در حالت ایده آل در بایاس مستقیم مانند هادی و در بایاس معکوس مانند عایق عمل می‌کند. عملکرد دیود را در حالت ایده آل در بایاس موافق می‌توان با یک کلید وصل مقایسه کرد. در بایاس معکوس یک دیود ایده آل مانند یک کلید باز عمل می‌کند. در شکل ۱۳-۲۲ دیود ایده آل در بایاس موافق نشان داده شده است. مقاومت در مدار به عنوان محدودکننده جریان بکاررفته است.



شکل ۱۳-۲۲ دیود ایده آل در بایاس موافق

هم چنین در شکل ۱۳-۲۳ معادل دیود ایده آل در بایاس مخالف نشان داده شده است.

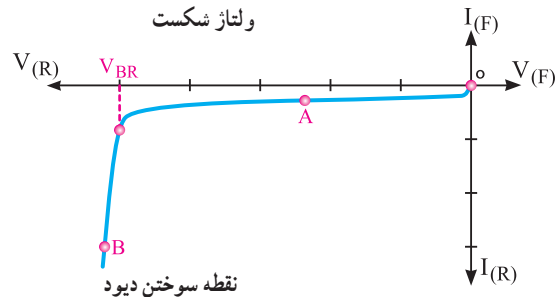


شکل ۱۳-۲۳ دیود ایده آل در بایاس مخالف

۱۶-۱۳ انواع دیودهای نیمه هادی و نمایشگرها

انواع متعددی از دیودهای پیوند PN وجود دارند که از لحاظ نوع کار، مشخصه و زمینه کاربرد با هم متفاوت‌اند. از انواع این دیودها، می‌توان دیود اتصال نقطه‌ای، دیود زنر، دیود نوردهنده (LED) و دیود واراكتور، فتو دیود،

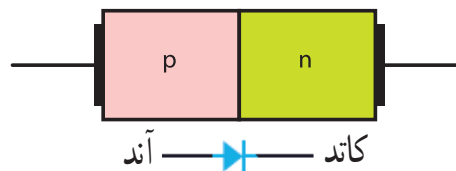
با استفاده از یک دیود زنر (zener) موضوع شکست دیود را در ولتاژ مخالف تجربه کنید.



شکل ۱۳-۱۹ منحنی ولت-آمپر دیود در بایاس مخالف

۱۴-۱۳ علامت اختصاری و شکل ظاهری دیود معمولی

در شکل ۱۳-۲۰ ساختمان کریستالی و علامت اختصاری یک دیود معمولی نشان داده شده است.



شکل ۱۳-۲۰ ساختمان کریستالی و علامت اختصاری دیود

نیمه هادی نوع P آند و نیمه هادی نوع N کاتد نام دارد. همان گونه که دیده می‌شود علامت اختصاری دیود مانند یک پیکان از سمت آند به جانب کاتد بوده که معرف این نکته است که جریان قرار دادی به راحتی از سمت آند به کاتد عبور می‌کند. در شکل ۱۳-۲۱ شکل ظاهری چند نمونه دیود را مشاهده می‌کنید. در این شکل پایه‌های آند و کاتد برخی از دیودها روی شکل ظاهری آن‌ها نشان داده شده است.

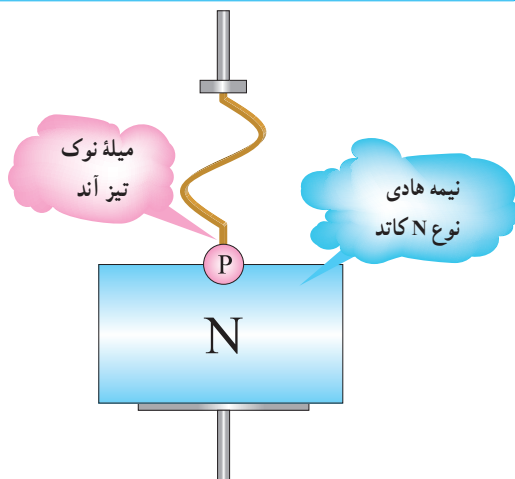


شکل ۱۳-۲۱ شکل ظاهری چند نمونه دیود



نکته

معمولاً مشخصات فنی و کاربرد دیودها را با توجه به شماره فنی آن در برگه اطلاعات دیود (data sheet) می‌نویسند. برگه‌های اطلاعات با شماره دیود از شبکه‌های مجازی از جمله سایت alldatasheet.com قابل بارگیری است.



شکل ۲۵-۱۳- نمایش ساختمان دیود اتصال نقطه‌ای

■ دیود زنر (Zener Diode)

ساختمان دیود زنر: دیود زنر، مانند دیود معمولی از دو نیمه‌هادی نوع P و N ساخته می‌شود. اگر یک دیود معمولی را در بایاس معکوس اتصال دهیم و ولتاژ معکوس را اضافه نماییم، در یک ولتاژ خاص، دیود در بایاس معکوس به حد ولتاژ شکست می‌رسد و دیود آسیب می‌بیند. دانشمندی به نام زنر (zener) اقدام به ساخت نوعی دیود نمود که می‌تواند در ولتاژ شکست کار کند و دوباره به حالت اولیه برگردد. در این دیودها ولتاژ شکست را ولتاژ «زنر» می‌نامند.



پژوهش

با مراجعه به فضای مجازی درباره زندگی‌نامه zener تحقیق کنید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

دیود شاتکی، دیود منتشرکننده اشعه مادون قرمز، دیود لیزری و دیود جریان ثابت را نام برد.

■ دیود یک‌سوکننده معمولی (Rectifiers Diodes)

این نوع دیود برای یک‌سوسازی یا یک طرفه کردن ولتاژهای متناوب (معمولاً سینوسی) به کار می‌رود و با جریان متوسط (I_F) حدود ۵۰ تا ۱۰۰۰ آمپر ساخته می‌شود. دیودهای یک‌سوکننده معمولی در محدوده فرکانس ۵۰ یا ۶۰ هرتز کار می‌کنند. لذا برای یک‌سوسازی فرکانس‌های بالاتر باید از دیودهای سریع استفاده شود. شکل ۲۴-۱۳ شکل ظاهری چند نمونه از دیود یک‌سوکننده معمولی را نشان می‌دهد.



شکل ۲۴-۱۳- چند نمونه دیود یک‌سوکننده معمولی

دیودهای ولتاژ زیاد (high voltage) حداکثر دارای چه ولتاژ و جریانی هستند؟

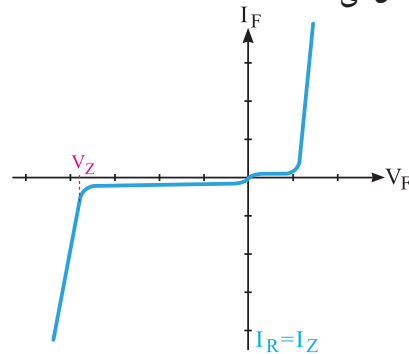


پژوهش

■ دیود اتصال نقطه‌ای (Point Contact Diode)

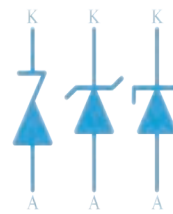
اگر بخواهیم دیودها را در فرکانس‌های بالا به کار ببریم، باید ظرفیت خازنی آنها را در بایاس مخالف کم کنیم. برای کم کردن ظرفیت خازن، ساده‌ترین راه، کم کردن سطح اتصال هادی‌ها و سطح اتصال محل پیوند است. بر این اساس دیودهای اتصال نقطه‌ای برای فرکانس‌های بالا ساخته می‌شود. شکل ۲۵-۱۳ ساختمان ساده یک دیود اتصال نقطه‌ای را نشان می‌دهد.

شکل ۱۳-۲۶ منحنی مشخصه «ولت - آمپر» یک دیود زنر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳-۲۶ - منحنی مشخصه ولت-آمپر

دیود زنر، در بایاس معکوس استفاده می‌شود. با توجه به این که ولتاژ زنر تقریباً در جریان‌های مختلف معکوس ثابت است. از این خاصیت جالب زنر، برای تثبیت ولتاژ استفاده می‌کنند. نمادهای فنی دیود زنر در شکل ۱۳-۲۷ و شکل ظاهری چند نمونه دیود را در شکل ۱۳-۲۸ ملاحظه می‌کنید.



شکل ۱۳-۲۷

پژوهش

معمولاً مقدار تolerانس را روی بدنه دیود زنر می‌نویسند. برای تolerانس ۵ درصد از حرف C و برای تolerانس ۱۰ درصد از حرف D استفاده می‌کنند. مثلاً ولتاژ دیود زنر ۳۲/۷۹ C۳، BZX ۳۲/۹ ولت و تolerانس آن (C) ۵ درصد است. در نامگذاری دیود علامت V به جای ممیز بکار می‌رود.

توان زنر: جریانی که در بایاس معکوس، از دیود زنر عبور می‌کند اگر زیاد شود به سوختن دیود منجر می‌شود. مقدار جریان ماکزیممی که دیود زنر می‌تواند تحمل کند به توان دیود زنر و ولتاژ شکست زنر بستگی دارد.

$$P_Z = I_Z \times V_Z$$



نکته

معمولاً مشخصات فنی و کاربرد دیودهای زنر را با توجه به شماره فنی آن در برگه اطلاعات دیود (data sheet) می‌نویسند. این موارد شامل توان مجاز، ولتاژ موافق و مخالف است. امروزه دیودهای زنر را همراه با سایر قطعات در داخل آی‌سی رگولاتور مانند ۷۸۰۵ قرار می‌دهند، این آی‌سی می‌تواند ولتاژ ۵ ولت و جریان یک آمپر تولید کند و جایگزین دیود زنر شود.

■ دیود جریان ثابت (Constant Current Diode)

این دیود که به آن رگولاتور جریان گفته می‌شود برعکس دیود زنر که ولتاژ دوسر آن ثابت و جریان عبوری از آن تغییر می‌کند، جریان را ثابت نگه می‌دارد. به عبارت دیگر از این دیود می‌توان به عنوان رگولاتور جریان استفاده کرد. نماد فنی دیود در شکل ۱۳-۲۹ رسم شده است.



شکل ۱۳-۲۹ - نماد مداری دیود جریان ثابت

با مراجعه به فضای مجازی از جمله سایت roshd.ir مقادیر استاندارد دیودهای زنر را بیابید و به کلاس ارائه دهید. همچنین موارد درج شده در کادر را ببینید و از صحت آن اطمینان حاصل کنید.



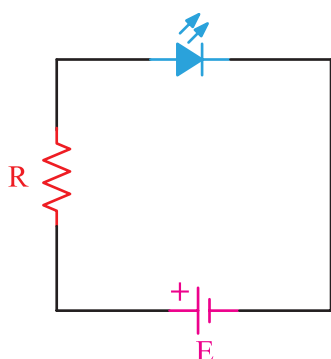
شکل ۱۳-۲۸

نکته

پخش می‌کند. همواره برای محدود کردن جریان و ممانعت از سوختن دیود باید مقاومتی را با LED سری کنیم.

نکته

با استفاده از نرم‌افزار Electronic Assistance مقدار مقاومت سری با LED ها را با شرط داشتن جریان و ولتاژ نامی دیود و ولتاژ تغذیه، محاسبه و صحت آن را با نرم‌افزار دیگر بررسی و تجربه کنید.



شکل ۳۲-۱۳ نحوه بایاس نمودن LED

پژوهش

مشخصات فنی LED را با توجه به شماره فنی آن در برگه (data sheet) می‌دهند. در مورد LED های با شدت نور بالا HB = High Brightness پژوهش کنید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

در شکل ۳۳-۱۳ چند نمونه LED نمایش داده شده است.



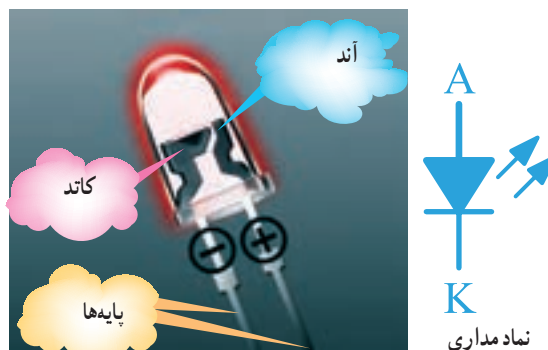
شکل ۳۳-۱۳ چند نمونه LED

معمولاً مشخصات فنی این نوع دیود که شامل ولتاژ کار و جریان ثابت است را با توجه به شماره فنی آن در برگه اطلاعات دیود (data sheet) می‌نویسند.

بمراجعه به فضای مجازی مشخصات دیودهای ۱۵۳۱۴ و ۱۵۲۸۳ را پیدا کنید و به کلاس ارائه دهید.

■ دیود نوردهنده (LED): Light Emitting Diode

همان‌طور که از نام LED پیداست این دیود مولد نور است. دیود نوردهنده، از دو قطعه نیمه‌هادی نوع P و N تشکیل شده است. هرگاه این دیود، در بایاس مستقیم قرار گیرد و شدت جریان عبوری از آن به اندازه کافی باشد، دیود از خود نور پخش می‌کند. نور LED در محل پیوند PN به وجود می‌آید. در شکل‌های ۳۰-۱۳ و ۳۱-۱۳ چند نمونه LED و ساختمان داخلی و نماد فنی آن‌ها نشان داده شده است.



شکل ۳۰-۱۳ نماد فنی و ساختمان داخلی LED



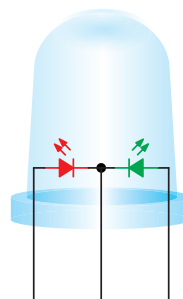
شکل ۳۱-۱۳ نمونه‌هایی از انواع LED

چنانچه مطابق شکل ۳۲-۱۳ LED را در بایاس مستقیم قرار دهیم، به شرط عبور جریان نامی از دیود، LED از خود نور

LED ها در انواع گوناگون ساخته می‌شوند که به تشریح برخی از آنها می‌پردازیم:

■ LED های دو رنگ

ساختار این نوع LED ها معمولاً ترکیبی از دو LED مجزا به رنگ‌های سبز و قرمز است که در داخل قطعه معمولی جاسازی شده است. LED های دو رنگ دارای سه پایه هستند، یکی از پایه‌ها مشترک و دو پایه دیگر هر کدام مربوط به LED های قرمز و سبز است. (شکل ۱۳-۳۴)

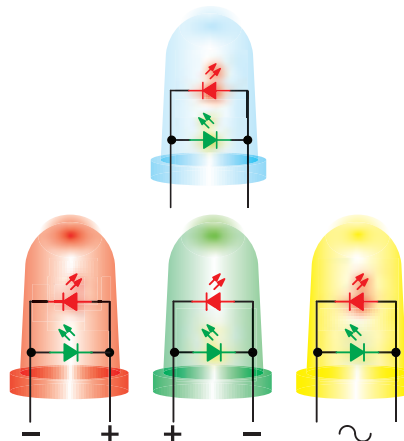


شکل ۱۳-۳۴ - LED دو رنگ

با استفاده از نرم‌افزار چند نمونه LED را ببینید و عملکرد آن را تجربه کنید.

■ LED های سه رنگ

نوع دیگری از LED وجود دارد که دارای دو پایه هستند و سه رنگ مختلف را تولید می‌کنند. شکل ۱۳-۳۵ یک نمونه LED دو پایه و چگونگی اتصال ولتاژ را به آن نشان می‌دهد.



شکل ۱۳-۳۵ - LED سه رنگ دو پایه

پرسش: آیا با LED شکل ۱۳-۳۴ می‌توان سه رنگ تولید کرد؟

■ LED با نور فوق‌العاده زیاد

LED های با نور فوق‌العاده زیاد نوع دیگری از LED است که با نام Ultra Bright LED ساخته شده است. میزان نوردهی آنها فوق‌العاده زیاد است و ده‌ها برابر یک LED معمولی نور تولید می‌کنند. این LED ها در رنگ‌های آبی، سبز، قرمز و سفید در بازار یافت می‌شود. (شکل ۱۳-۳۶)

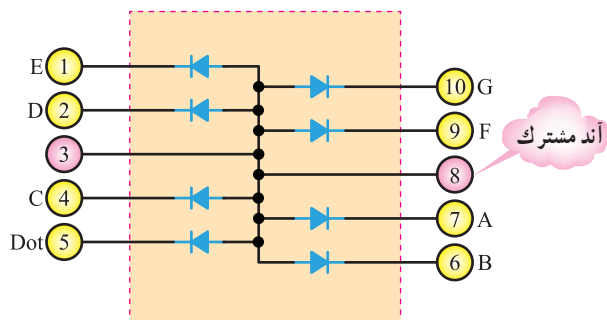


شکل ۱۳-۳۶ - یک نمونه LED با نور فوق‌العاده زیاد

استفاده از LED های پر نور امروزه در سطح بسیار گسترده‌ای توسعه یافته است. استفاده از ریشه‌های LED، ترمز اتومبیل، تابلوی روان و نور تزئینی، تعدادی از موارد کاربرد LED های پر نور است. آرایه‌های LED سفید به تدریج جایگزین لامپ‌های فلورسنت می‌شوند، زیرا این نوع LED ها به راحتی در هوای بد نورافشانی می‌کنند و نور آنها صدبرابر بیشتر است. LED های پر نور سفید و رنگی به خانه‌ها، مغازه‌ها و مراکز تجاری نیز وارد شده‌اند و جای لامپ‌های کنونی را گرفته‌اند. همچنین این نوع LED ها وارد صنایع اتومبیل‌سازی نیز شده‌اند. در چراغ‌های جلوی خودروها از LED های پر نور استفاده می‌شود.

■ LED های ارگانیک (OLED)

کلمه ارگانیک به معنای سازگاری با محیط و بدن انسان است. LED های ارگانیک از دو یا سه لایه مواد ارگانیک پلی‌مری ساخته شده‌اند که در اثر اعمال ولتاژ می‌توانند نور تولید کنند. در صورتی که آند و پایه اصلی نیز از مواد شفاف ساخته



شکل ۳۸-۱۳- نمایشگر آند مشترک

شوند، نور از هر دو طرف پخش می‌شود. در این حالت می‌توانیم از OLEDها برای صفحات نوردهنده دوطرفه استفاده کنیم. برای ساختن OLEDها امروزه به راحتی می‌توان مانند پخش جوهر روی یک صفحه، OLEDها را روی یک پایه اصلی قرار داد. این تکنولوژی باعث شده است که بتوانند صفحات بزرگ نمایشگر را با لایه‌های بسیار نازک طراحی و تولید کنند.



فعالیت

با توجه به نمایشگر هفت قطعه‌ای آند مشترک، نقشه مدار نمایشگر کاتد مشترک را رسم کنید.

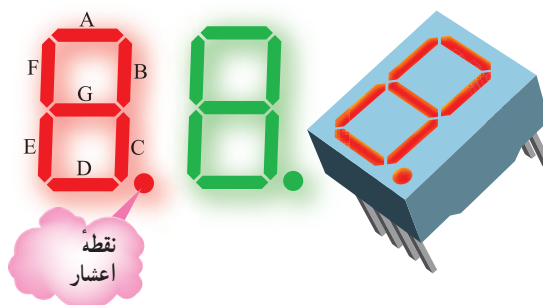


پژوهش

با مراجعه به فضای مجازی انواع دیگر LED را بیابید و به کلاس ارائه کنید.

■ نمایشگر هفت قطعه‌ای (7-Segment)

اگر هفت قطعه LED را به فرم خاص کنار هم قرار دهند، به شکل عدد ۸ انگلیسی در می‌آید که به وسیله آن می‌توان اعداد از ۰ تا ۹ انگلیسی و نیز برخی حروف نظیر A، B، C، D، E و F را نمایش داد. شکل ظاهری نمایشگر ۷ قطعه‌ای با نقطه اعشار را در شکل ۳۷-۱۳ مشاهده می‌کنید.



شکل ۳۷-۱۳- نمایشگر ۷ قطعه‌ای

نمایشگر ۷ قطعه‌ای به دو صورت

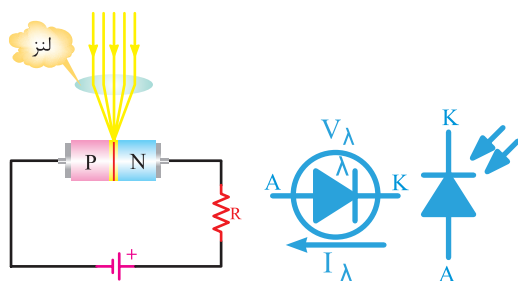
■ آند مشترک (Common Anode)

■ کاتد مشترک (Common Cathode)

ساخته می‌شوند. شکل ۳۸-۱۳ نمایشگر ۷ قطعه‌ای آند مشترک را نشان می‌دهد.

■ نمایشگرهای ترکیبی LED

امروزه LEDها به طور گسترده برای نمایش پیام‌ها، علائم بزرگ و کوچک در فضاهای داخلی و خارجی و به عنوان تلویزیون صفحه بزرگ به کار می‌رود. نمایش سیگنال‌ها می‌تواند به صورت چند رنگ و تمام رنگی باشد. در نمایشگرهای تمام رنگی از گروه‌های LED فشرده با نور زیاد که تشکیل نقطه نورانی رنگی را می‌دهند استفاده



شکل ۴۱-۱۳- نماد و بایاس فتودیود

در شکل ۴۲-۱۳ شکل ظاهری چند نمونه فتودیود نشان داده شده است. از این دیود برای مواردی مانند تشخیص نور، سنجش نور در دستگاه‌های نورسنج، شمارش سریع یا سوئیچ کردن استفاده می‌شود.



شکل ۴۲-۱۳- شکل ظاهری چند نمونه فتودیود

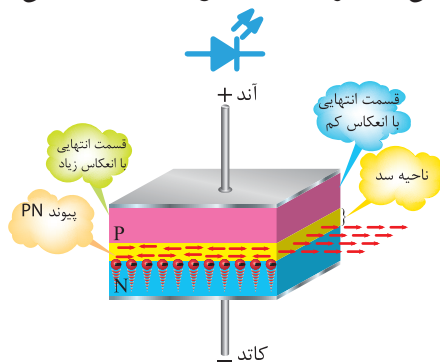


نکته

مشخصات فنی و کاربرد فتودیودها را با توجه به شماره فنی آن در برگه اطلاعات دیود (data sheet) می‌نویسند.

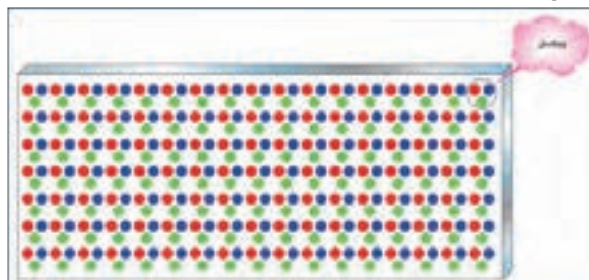
■ دیود لیزری (Laser Diode):

دیود لیزری دیودی است که می‌تواند نور تک رنگ تولید کند. نور لیزر را نور ذاتی یا نور خالص نیز می‌نامند. زیرا نور پخش شده یک نور با طول موج مشخص است. ساختمان داخلی و نماد فنی دیود لیزری را در شکل ۴۳-۱۳ مشاهده می‌کنید.



شکل ۴۳-۱۳- ساختمان داخلی و نماد دیود لیزری

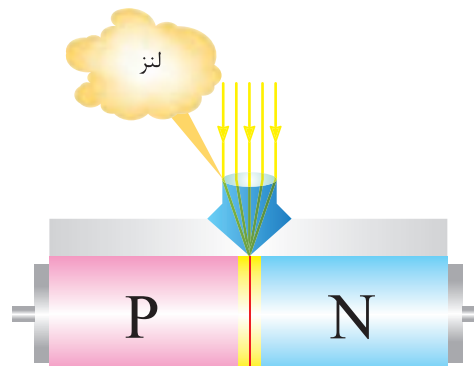
می‌شود. این نقاط رنگی را پیکسل (Pixel) می‌گویند. پیکسل‌ها از سه رنگ قرمز (R-Red) سبز (G-Green) و آبی (B-Blue) شکل می‌گیرند که اصطلاحاً آن را RGB می‌نامند. (شکل ۳۹-۱۳)



شکل ۳۹-۱۳- پیکسل‌های LED به کار رفته در صفحه نمایش

■ فتودیود (Photo Diode)

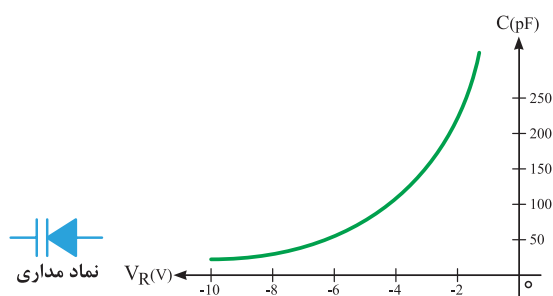
ساختمان فتودیود، مانند یک دیود معمولی با پیوند PN است، با این تفاوت که محل پیوند PN را، جهت تاباندن نور به آن از مواد پلاستیکی سیاه، نمی‌پوشانند. این ناحیه توسط شیشه یا پلاستیک شفاف پوشیده می‌شود تا نور بتواند به آسانی به آن بتابد. روی اکثر فتودیودها، یک لنز بسیار کوچک نصب می‌شود تا نور تابانیده شده به آن را متمرکز کند و به محل پیوند برساند. (شکل ۴۰-۱۳)



شکل ۴۰-۱۳- فتودیود همراه با لنز

فتودیود همیشه در بایاس معکوس به کار می‌رود و با تابش نور به محل پیوند آن، جریان معکوس آن افزایش می‌یابد. افزایش جریان به علت شکستن پیوندها با انرژی نور است. شکل ۴۱-۱۳ نماد فنی و چگونگی بایاس کردن دیود را نشان می‌دهد.

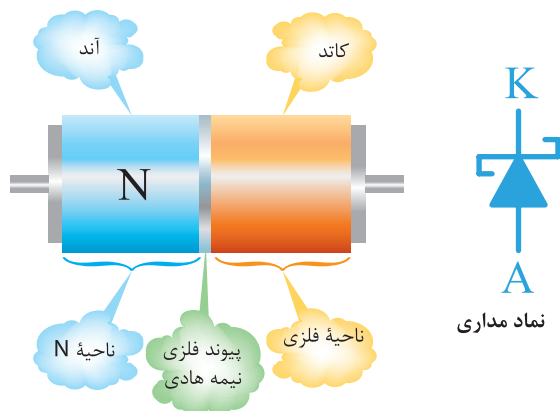
■ دیود خازنی (واراکتور) (Varactor)



شکل ۱۳-۴۵ — منحنی «ظرفیت — ولتاژ» و نماد دیود خازنی

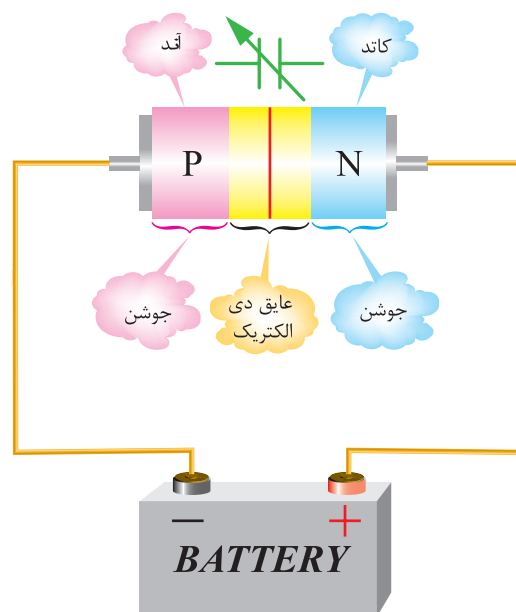
■ دیود شاتکی (Schottky)

دیودهای معمولی اتصال PN، نمی‌توانند خیلی سریع قطع و وصل شوند. برای بالا بردن سرعت قطع و وصل در یک دیود در حد چند میلیارد بار در ثانیه، از دیود شاتکی استفاده می‌کنند. ساختمان دیود شاتکی و نماد فنی آن در شکل ۱۳-۴۶ نشان داده شده است.



شکل ۱۳-۴۶ — ساختمان و نماد دیود شاتکی

دیود خازنی، مانند یک دیود معمولی است و از دو قطعه نیمه‌هادی نوع P و N، که معمولاً از جنس سیلیسیوم است، ساخته می‌شود. همان‌طور که قبلاً یاد گرفتیم، یک دیود معمولی، بدون بایاس در محل پیوند، یک لایه سد دارد. این لایه به صورت یک عایق بین نیمه‌های P و N قرار می‌گیرد. اگر دو نیمه هادی P و N را به عنوان دو هادی و لایه سد را به عنوان عایق به حساب بیاوریم، این مجموعه عملاً یک خازن است که در منطقه تخلیه به وجود می‌آید. ظرفیت خازن منطقه تخلیه حدود پیکوفاراد (PF) است. (شکل ۱۳-۴۴)

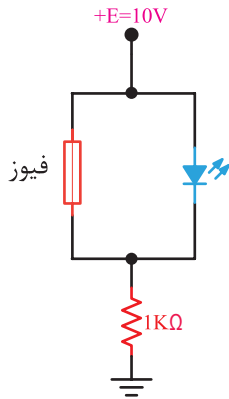


شکل ۱۳-۴۴ — ایجاد ظرفیت خازنی در دیود واراكتور

از دیودهای واراكتور، در مدارهای رادیو و تلویزیون به صورت یک خازن متغیر استفاده می‌شود، زیرا حجمی بسیار کم، ظرفیت و محکم دارند. شکل ۱۳-۴۵ منحنی تقریبی ظرفیت خازن نسبت به ولتاژ معکوس و نماد دیود خازنی را نشان می‌دهد.

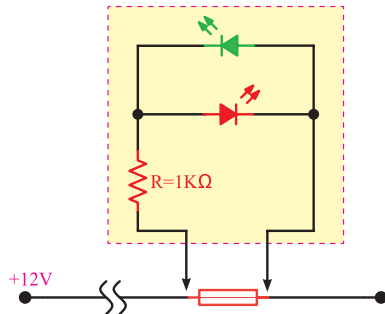
الگوی پرسش (ارزشیابی و احیای یادگیری ۱۳ از فصل پنجم):

۱. خصوصیات و اصول کار دیود زنر را توضیح دهید.
۲. ولتاژ شکست و درصد خطای دیود زنر با شماره فنی BZX ۳۲ / C۳ ۷۹ چقدر است؟
۳. دیود واراکتور در چه بایاسی کار می‌کند؟ عامل متغیر در دیود واراکتور را نام ببرید.
۴. فتودیود در چه بایاسی کار می‌کند؟
۵. چه المانی می‌تواند جایگزین فتودیود شود؟ نام ببرید.
۶. برای نوشتن هر یک از اعداد و حروف شکل ۱۳-۴۷ کدام LED ها در هفت قطعه‌ای باید روشن شود؟



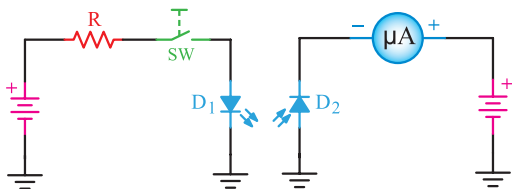
شکل ۱۳-۴۹- فیوز موازی با LED

۹. در مدار شکل ۱۳-۵۰ اگر فیوز سوخته یا سالم باشد، در نور LED چه تغییری ایجاد می‌شود؟ شرح دهید.
- دو LED که به طور معکوس بسته شده‌اند چه نقشی در مدار دارند؟



شکل ۱۳-۵۰- تست فیوز توسط LED

۱۰. در شکل ۱۳-۵۱ چنانچه کلید SW بسته شود، در صورتی که دیودهای D_۱ و D_۲ از نظر نوری به هم کوپل شده باشند، چه تغییری در جریان میکروآمپر متر رخ می‌دهد؟



شکل ۱۳-۵۱- کوپل نوری توسط دیود

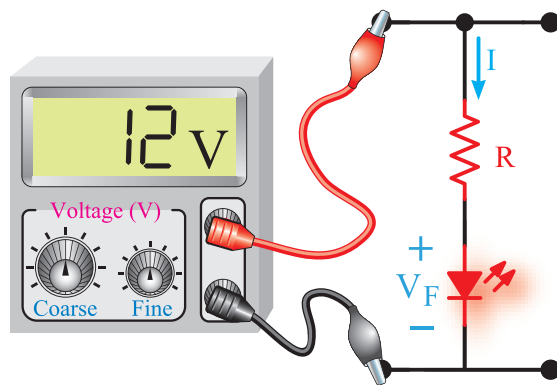


شکل ۱۳-۴۷- روشن کردن هفت قطعه‌ای

۷. در شکل ۱۳-۴۸ در صورتی که ولتاژ تغذیه $E=12$ ولت باشد، مقدار R را طوری محاسبه کنید که LED نور مناسب داشته باشد.

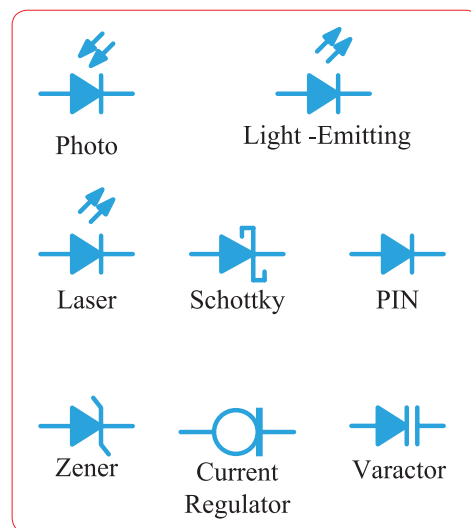
$$V_F = 3V$$

$$I = 10 \text{ mA}$$



شکل ۱۳-۴۸- محاسبه مقاومت سری با LED

۱۱ هریک از دیودهای شکل ۱۳-۵۲ در چه بایاسی می‌توانند عمل کنند (موافق یا مخالف)؟



شکل ۱۳-۵۲- تعیین نوع بایاس در دیودها

۱۳-۱۷- کاربرد دیودها

در مطالب گذشته به شرح ساختمان، مشخصات و معرفی انواع دیودهای نیمه‌هادی پرداختیم. در ادامه با کاربرد دیود در مدارهای مختلف، از جمله یک‌سوکننده‌های دیودی، چندبرابرکننده‌ها و تغییردهنده‌های شکل موج آشنا خواهید شد. هرچند محدوده کاربرد دیودها زیاد است ولی اصول کار آن در زمینه‌های مختلف یکسان است.

۱۳-۱۸- مدارهای یک‌سوکننده دیودی

مدارهای یک‌سوکننده دیودی، مدارهایی هستند که ولتاژ متناوب را به ولتاژ مستقیم (یک طرفه) تبدیل می‌نمایند.

فیلم یک‌سوکننده‌ها و صافی‌ها را ببینید.

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

۱- مدار یک‌سوکننده نیم‌موج Half wave rectifier

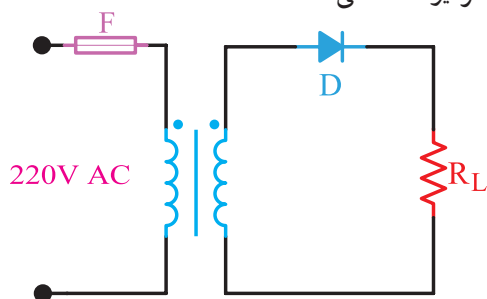
۲- مدار یک‌سوکننده تمام‌موج با ترانس سر وسط

full wave rectifier

۳- مدار یک‌سوکننده تمام‌موج پل Bridge rectifier

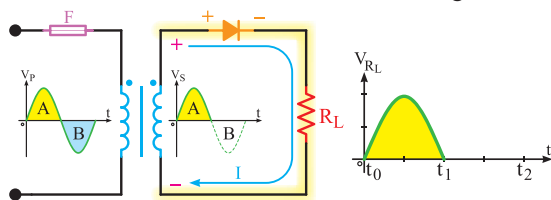
الف- مدار یک‌سوکننده نیم‌موج:

یک‌سوکننده‌های نیم‌موج، نیم سیکل مثبت یا نیم سیکل منفی را یک‌طرفه (یک‌سو) می‌کنند. شکل ۱۳-۵۳ مدار یک‌سوکننده نیم‌موج را نشان می‌دهد. در این مدار یک‌سوکننده و مدارات دیگر، فرض می‌شود که دیودهای به کار برده شده ایده‌آل هستند، یعنی، هیچ‌گونه افت ولتاژی در دو سر آنها به وجود نخواهد آمد، ولی در عمل حدود $\frac{1}{5}$ تا $\frac{1}{7}$ ولت (بسته به جریان عبوری از دیود) در دو سر دیود افت می‌کند.



شکل ۱۳-۵۳- یک‌سوساز نیم‌موج (دیود ایده‌آل)

در مدار شکل ۱۳-۵۳، در مدت نیم سیکل مثبت ورودی، دیود در بایاس مستقیم قرار می‌گیرد و هادی است. لذا، جریان در نیم سیکل مثبت از دیود و مقاومت بار عبور می‌کند و مسیر خود را می‌بندد. بنابراین، تمام ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور در نیم سیکل مثبت دو سر بار، ظاهر خواهد شد. (شکل ۱۳-۵۴)



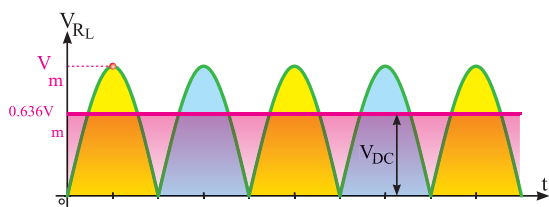
شکل ۱۳-۵۴- در نیم سیکل مثبت دیود وصل است.

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.

خروجی) دو برابر ولتاژ یک سو شده نیم موج است، یعنی :

$$V_{dc} = 2 \frac{V_m}{\pi} = 2 \times (0.318 V_m) = 0.636 V_m$$

شکل ۵۷-۱۳. معدل ولتاژ دو سر بار را در یک سوساز تمام موج نشان می دهد.



شکل ۵۷-۱۳. ولتاژ متوسط یک سوساز تمام موج



چگونگی عملکرد یک سوساز تمام موج با ترانس سر وسط را به طور اجمالی با دیدگاه ترکیب دو یک سوساز نیم موج، مورد بحث قرار دهید.

مقادیر حد در دیودها : حداکثر ولتاژ معکوس دو سر دیود (Peak Inverse Voltage = PIV) :

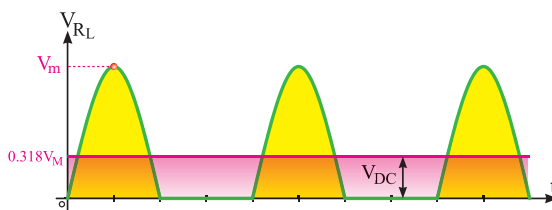
همان طور که می دانیم، یکی از پارامترهای مهم مشخصات الکتریکی دیود، تحمل حداکثر ولتاژی است که در بایاس معکوس دوسر دیود قرار می گیرد. باید دید در یک سوکننده نیم موج حداکثر ولتاژی که دو سر دیود در بایاس معکوس قرار می گیرد تا دیود نسوزد، چقدر است؟

باتوجه به شکل ۵۸-۱۳ هنگامی که دیود در بایاس معکوس قرار دارد (در 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 می گیرد.

متوسط ولتاژ دو سر بار : اگر ولت متر جریان مستقیم (dc) را در دوسر بار قرار دهیم، ولت متر چه ولتاژی را نشان می دهد؟ همان طور که می دانیم، ولت متر جریان مستقیم، مقدار ولتاژ متوسط را و ولت متر جریان متناوب، مقدار ولتاژ مؤثر را نشان می دهد. چون در این مدار نوع ولتاژ مستقیم (یک طرفه) است. در این حالت ولت متر مقدار ولتاژ متوسط سیکل های یک سو شده را نشان خواهد داد. مقدار متوسط این ولتاژ یک طرفه، برابر است با :

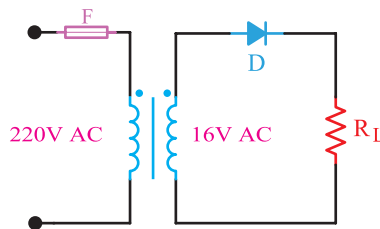
$$V_{DC} = \frac{V_m}{\pi} = 0.318 V_m$$

در شکل ۵۵-۱۳ مقدار ولتاژ متوسط (dc) نشان داده شده است.



شکل ۵۵-۱۳. ولتاژ متوسط یک سوساز نیم موج

مثال ۱- مقدار ولتاژ dc شکل ۵۶-۱۳ چه قدر است؟ ولتاژ مؤثر ثانویه ترانسفورماتور ۱۶ ولت است و دیود نیز ایده آل فرض می شود.



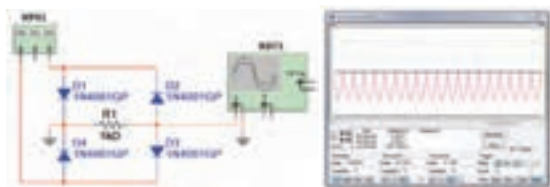
شکل ۵۶-۱۳. محاسبه ولتاژ DC در یک سوساز نیم موج

$$V_{dc} = 0.318 \times V_m$$

$$V_m = \sqrt{2} \times V_e = 1.41 \times 16 = 22.56 V$$

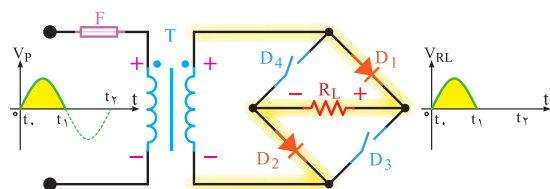
$$V_{dc} = 0.318 \times V_m = 0.318 \times 22.56 = 7.17 V$$

نوع دیگری از یک سوسازها وجود دارند که تمام موج، یعنی نیم سیکل مثبت و منفی را یک سو می کنند. در این یک سوسازها معدل ولتاژ دو سر بار، (مقدار ولتاژ متوسط



شکل ۱۳-۶۰ یک سوساز تمام موج پل در نرم افزار

همان طوری که از شکل ۱۳-۵۹ پیداست، در این مدار یک سوکننده، از چهار دیود و یک سیم پیچ برای ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور استفاده شده است. با توجه به شکل ۱۳-۶۱، در مدت نیم سیکل مثبت، دیودهای D_1 و D_2 در بایاس مستقیم و دیودهای D_3 و D_4 در بایاس معکوس قرار دارند. بنابراین، جریان از دیود D_1 و بار R_L و دیود D_2 مسیر خود را می بندد. با توجه به اینکه دیودها ایده آل فرض شده اند، لذا تمام ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور در دو سر بار ظاهر می شود.

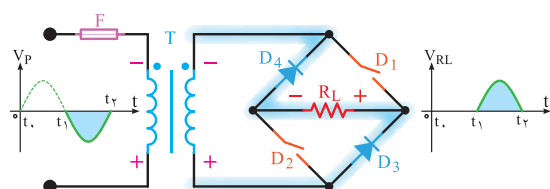


شکل ۱۳-۶۱ رفتار یک سوساز پل دیود در نیم سیکل مثبت

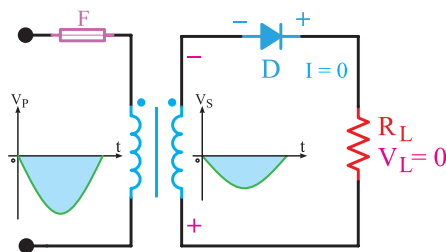


کار گروهی

با توجه به شکل ۱۳-۶۲ عملکرد دیود در نیم سیکل منفی را به صورت کار گروهی در کلاس به بحث بگذارید و نتایج را به کلاس ارائه کنید.



شکل ۱۳-۶۲ رفتار یک سوساز پل دیود در نیم سیکل منفی



شکل ۱۳-۵۸ ولتاژ دیود در بایاس معکوس

حداکثر این ولتاژ برابر با حداکثر دامنه (V_m) است. ولتاژ معکوسی که دو سر دیود قرار می گیرد با حروف PIV و به صورت رابطه زیر برای یک سوساز نیم موج نشان داده شده است.

$$PIV = V_{max}$$

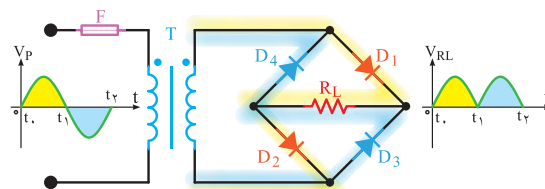
PIV = Peak Inverse Voltage

با توجه به شماره فنی دیود، در برگه اطلاعات دیود (data sheet) یکی از مشخصات فنی دیود که مقدار ولتاژ معکوس قابل تحمل توسط دیود (PIV) را می نویسند.



نکته

ب- مدار یک سوساز تمام موج پل: نوع دیگری از یک سوکننده تمام موج، یک سوکننده پل است. شکل ۱۳-۵۹ یک مدار یک سوکننده پل را همراه با شکل موج یک سوشده، نشان می دهد. تصویر نرم افزاری این مدار را، که توسط مولتی سیم بسته شده است، در شکل ۱۳-۶۰ مشاهده می کنید.



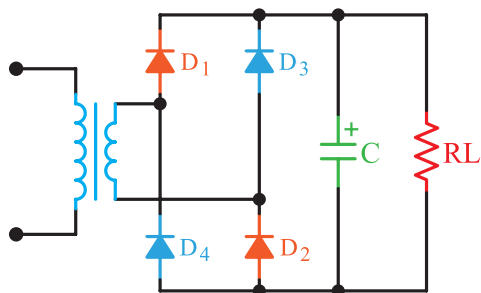
شکل ۱۳-۵۹ یک سوساز تمام موج پل

۱۹-۱۳- صافی‌ها (Filters)

همان‌طور که دیدیم، توسط دیودها می‌توان ولتاژ متناوب را به ولتاژ یک طرفه (dc) تبدیل نمود، اما این ولتاژ یک‌سو شده دارای نوسان‌هایی است (فرکانس ۱۰۰ هرتز در یک‌سوکننده تمام‌موج و ۵۰ هرتز در یک‌سوکننده نیم‌موج). 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 قطعاتی استفاده کنیم که بتوانند انرژی الکتریکی را در خود ذخیره کنند و در زمان مناسب، انرژی ذخیره شده را به مصرف‌کننده پس بدهند. المان‌هایی که می‌توانند انرژی را در خود ذخیره کنند سلف و خازن هستند. در توان‌های کم از خازن و در توان‌های زیاد از سلف استفاده می‌شود. ضمن اینکه در توان‌های بالا یک‌سوکننده‌های چند فازه را به کار می‌برند.

در مدارهای الکترونیکی، برای ثابت کردن ولتاژ یک‌سو شده، کمتر از سلف استفاده می‌شود، زیرا سلف دارای حجم، وزن و قیمت زیاد است، لذا خازن را که دارای حجم کم و قیمت ارزان‌تر است به کار می‌برند.

صافی خازنی: زمانی که خازن به صورت صافی به کار می‌رود به طور موازی با بار قرار می‌گیرد. (شکل ۶۴-۱۳)



شکل ۶۴-۱۳- مدار یک‌سو ساز پل با صافی خازن

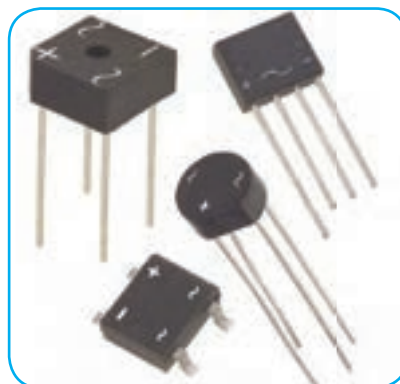
شکل ۶۵-۱۳ منحنی شارژ و دشارژ خازن را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود شکل موج دو سر بار دارای ضربان است.

مقدار ولتاژ متوسط یک‌سو ساز پل نیز برابر با یک‌سوکننده تمام‌موج با ترانس سر وسط است.

$$V_{dc} = 0.636 V_m$$

پاسخ دهید: در مدار یک‌سوکننده پل، حداکثر ولتاژی که در بایاس معکوس دو سر هر دیود قرار می‌گیرد، برابر با V_m است. چرا؟

معمولاً چهار عدد دیود مجزا از هم را که به صورت پل بسته می‌شوند، به صورت قطعه یکپارچه می‌سازند. شکل ۶۳-۱۳ نمونه‌هایی از این نوع پل دیود را نشان می‌دهد. این قطعه دارای چهار پایه است، دو پایه آن را با علامت (-) مشخص می‌کنند (ولتاژ متناوب به این دو پایه وصل می‌شود). دو پایه دیگر پل، ولتاژ خروجی و یک‌سو شده را به ما می‌دهد که با علامت (+) (قطب مثبت) و (-) (قطب منفی) مشخص می‌شود.



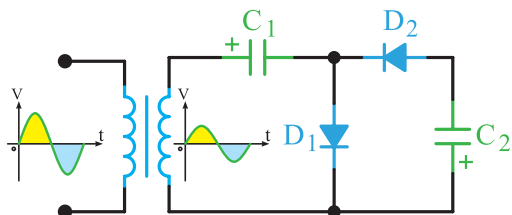
شکل ۶۳-۱۳- نمونه‌هایی از پل دیود

با مراجعه به فضای مجازی، برگه اطلاعات یک نمونه دیود پل را بیابید، بارگیری کنید و مشخصات مهم کاربرد آن را استخراج و به کلاس ارائه دهید.

یک‌سو ساز نیم‌موج و پل را با هم مقایسه کنید و نتایج را در یک جدول دسته‌بندی کرده و به کلاس ارائه دهید.



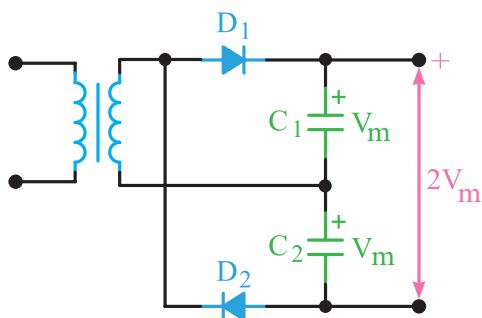
الف - دو برابر کننده‌های ولتاژ: شکل ۱۳-۶۶ یک مدار دو برابر کننده ولتاژ نیم موج را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳-۶۶ مدار دو برابر کننده ولتاژ

در این مدار، بعد از چند سیکل خازن C_1 تا ماکزیمم ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور (V_m) و خازن (C_2) تا $2V_m$ شارژ می‌شود. از توضیح چگونگی شارژ خازن‌ها صرف نظر شده است.

نوع دیگر مدار دو برابر کننده ولتاژ، در شکل ۱۳-۶۷ رسم شده است. این مدار، دو برابر کننده ولتاژ تمام موج نام دارد.



شکل ۱۳-۶۷ نوع دیگری از مدار دو برابر کننده ولتاژ



بارش فکری

عملکرد مدار شکل ۱۳-۶۷ را از طریق بارش فکری تجزیه و تحلیل کنید.

ب - مدارهای سه و چهار برابر کننده ولتاژ:

در شکل ۱۳-۶۸ یک مدار سه و چهار برابر کننده ولتاژ نشان داده شده است. در حقیقت این مدار، یک مدار دو برابر کننده ولتاژ است که در صفحات پیش مورد بررسی



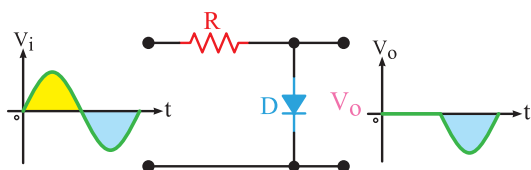
شکل ۱۳-۶۵ منحنی شارژ و دشارژ خازن

برای کاهش ضریب (ریپل) موج دو سر بار چه راهکاری وجود دارد؟ در این مورد تحقیق کنید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

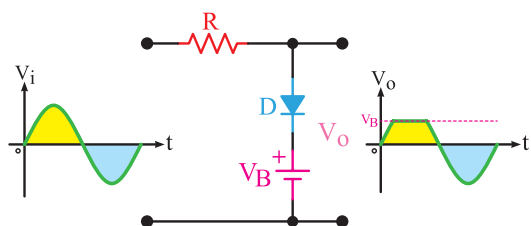
۲۰-۱۳ چند برابر کننده‌های ولتاژ

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 کیلوولت) به کار می‌روند. مواردی مانند قسمت ولتاژ زیاد (high voltage) تلویزیون‌ها و مانیتورهای قدیم، دستگاه‌های پزشکی و خودرو از مواردی هستند که نیاز به ولتاژ زیاد دارند. در این دستگاه‌ها ولتاژی در حدود ۲۵ کیلو ولت مورد نیاز است. ابتدا ولتاژی حدود ۵ کیلو ولت را توسط ترانسفورماتور ایجاد می‌کنند، سپس آن را توسط یک مدار ۵ برابر کننده به مقدار حدود ۲۵ کیلو ولت می‌رسانند. مزایای این عمل صرفه‌جویی در حجم و قیمت ترانسفورماتور افزایش ولتاژ است. زیرا عایق کاری ترانسفورماتور ۲۵ کیلو ولت مشکل است، ضمن اینکه میدان‌های مغناطیسی زیادی را در اطراف خود تولید می‌نماید. همچنین ولتاژ معکوس در دیودهای به کار رفته در مدارهای یک سو کننده در مقایسه با دیودهای چند برابر کننده، کاهش می‌یابد. در این قسمت جهت آشنایی به تشریح اجزای مدارهای ۲، ۳ و ۴ برابر کننده، می‌پردازیم.

الف- مدار برش‌دهنده مثبت : مدار برش‌دهنده مثبت، قادر است قسمت مثبت سیکل‌ها را، به هم‌مقدار که لازم باشد، محدود کند. شکل الف-ب- ۷-۱۳ یک مدار برش‌دهنده مثبت را نشان می‌دهد. برای سادگی کار، دیود را ایده‌آل در نظر می‌گیریم.



الف- مدار برش‌دهنده نیم سیکل مثبت

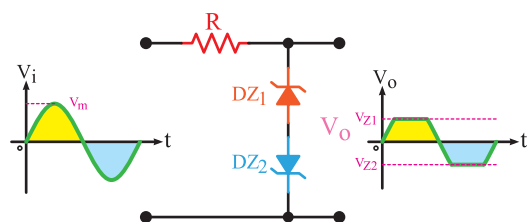


ب- مدار برش‌دهنده قسمتی از نیم سیکل مثبت
شکل ۷-۱۳- مدارهای برش‌دهنده مثبت



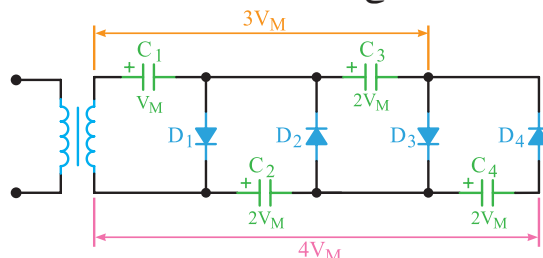
بارش فکری

مدار شکل ۷۱-۱۳ ولتاژهای دو سر دیود زبر و ولتاژ پیک و رودی را به دلخواه تعیین کنید و عملکرد مدار را به بحث بگذارید.



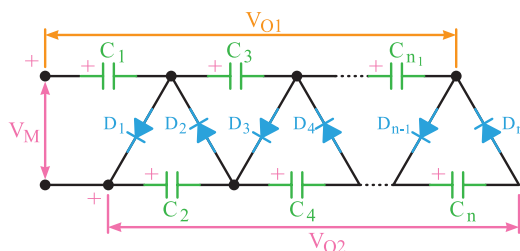
شکل ۷۱-۱۳- برش‌دهنده با استفاده از دیود زبر

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 مدارهای پنج و شش برابرکننده، به کار آید.



شکل ۶۸-۱۳- مدار سه و چهار برابرکننده ولتاژ

شکل ۶۹-۱۳، یک مدار n برابرکننده را نشان می‌دهد. خازن‌های ردیف بالا، نمایشگر ضرایب فرد مقدار شارژ، نسبت به ابتدای مدار و خازن‌های ردیف پایین، نمایشگر ضرایب زوج مقدار شارژ، نسبت به ابتدای مدار است. امروزه اغلب مدارهای چند برابرکننده را به صورت یکپارچه (ماجول modular) می‌سازند.



شکل ۶۹-۱۳- مدار n برابرکننده ولتاژ

حداقل دو نمونه از مدارهای چند برابرکننده را با نرم‌افزار تجربه کنید.

فیلم مدارهای برش‌دهنده و قیچی‌کننده را ببینید.

۱۳-۲۱- برش‌دهنده‌ها (Clipper)

در بسیاری از موارد، از جمله در دیجیتال و کامپیوتر لازم می‌شود که دامنه سیگنال‌ها از قسمت مثبت یا منفی یا هر دو به اندازه معینی محدود شود. این عمل به وسیله مدارهای برش‌دهنده انجام می‌شود.



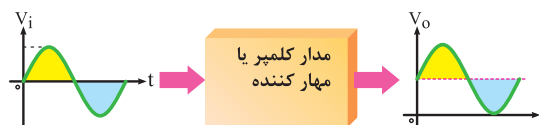
کار با نرم‌افزار



فیلم

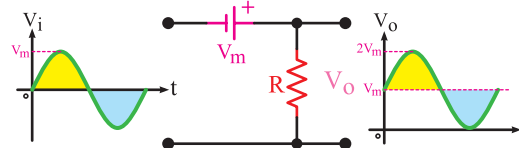
۱۳-۲۲- مدارهای مهارکننده (Clampers)

در مدار مهارکننده، تنها کاری که انجام می‌گیرد، اضافه شدن مؤلفه DC به سیگنال است. عمل مهارکنندگی در شکل ۱۳-۷۲ نشان داده شده است. توجه داشته باشید که در مهارکننده‌ها باید ولتاژ DC باتری با V_M (مقدار ماکزیمم دامنه موج AC) برابر باشد.



شکل ۱۳-۷۲- عمل مهارکنندگی

در حقیقت مهارکننده، 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 مهارکننده مثبت و منفی نام دارد. شکل ۱۳-۳۷، مهارکننده را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳-۷۳- مدار مهارکننده مثبت

عملکرد مدار شکل ۱۳-۷۳ را تحلیل کنید.

امروزه مدارهای برش‌دهنده را به صورت مدارهای مجتمع (آی سی) می‌سازند و به بازار عرضه می‌کنند.

در مورد کاربردهای مهارکننده پژوهش کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

۱۳-۲۳- نام‌گذاری دیودها

برای نام‌گذاری دیودها، معمولاً سه روش وجود دارد. هرچند، برخی از کارخانجات سازنده در گوشه و کنار دنیا از روش‌های دیگری برای نام‌گذاری استفاده می‌نمایند.

این سه روش مطابق شکل ۱۳-۷۴ عبارت‌اند از:

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



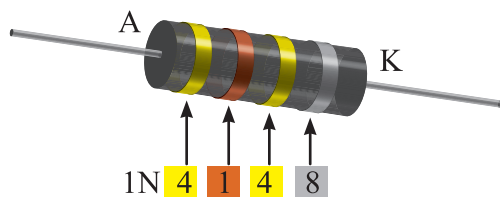
شکل ۱۳-۷۴- روش‌های نام‌گذاری دیود

اینک چگونگی نام‌گذاری هر یک از سه روش فوق را توضیح می‌دهیم:

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 مشخصات الکتریکی آن‌ها را به دست آورد. در این روش، جنس و نوع دیود مشخص نمی‌شود. برای مثال، دیود $1SC10A$ دیود زنر است (در موارد زیادی برای دیودهای زنر حرف A را در انتهای شماره‌ها می‌آورند) و دیود $1S31$ یک دیود معمولی و دیود $1S2049$ دیود واراکتور است.

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. نحوه 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.

درذیل روش نام‌گذاری دو حرفی و سه شماره‌ای را شرح می‌دهیم. حرف اول، جنس نیمه‌هادی به کار رفته در دیود را مشخص می‌کند، اگر دیود از جنس ژرمانیوم باشد آن

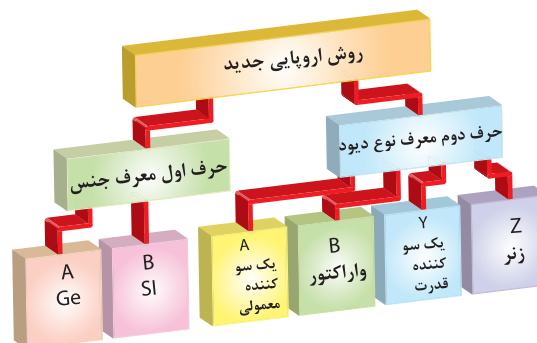


شکل ۱۳-۷۶- نام‌گذاری دیودها با نوار رنگی جدید



نکته

معمولاً در ابتدای کتاب‌های دستینه (handbook) و کتاب‌های اطلاعات قطعات (databook) روش نام‌گذاری قطعات توسط کارخانه سازنده بیان می‌شود.



شکل ۱۳-۷۵- نام‌گذاری دیودها به روش اروپایی

بعد از حروف، شماره‌هایی آورده می‌شود که می‌توان با مراجعه به جدول، مشخصات الکتریکی آن را به دست آورد. یادآوری می‌شود در اکثر مواقع در مورد نام‌گذاری دیود زنر، ولتاژ زنر را نیز روی آن قید می‌نمایند.

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 یک سو کننده است.

با مراجعه 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 ۱N، از کدهای رنگی استفاده می‌شود. زمانی که از کدهای رنگی استفاده می‌شود از چاپ حرف و عدد ۱N صرف نظر می‌گردد. کدهای رنگی مانند مقاومت‌ها هستند، با این تفاوت که شماره رنگ‌ها به دنبال هم قرار می‌گیرند، مثلاً شکل ۱۳-۷۶ دیود ۱N۴۱۴۸ را نشان می‌دهد.

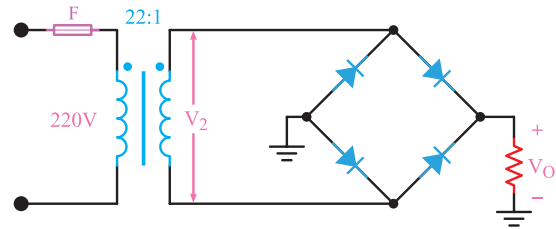
الگوی پرسش (ارزشیابی و احادیادگیری ۱۳ از فصل پنجم):

- ۱ یک سوسازی را تعریف کنید و انواع آن را نام ببرید.
- ۲ یک سوسازی نیم موج را با رسم شکل و شکل موج‌های ورودی و خروجی، توضیح دهید.
- ۳ حداکثر ولتاژ معکوس دوسر دیود یک سوساز نیم موج، چقدر است؟
- ۴ یک سوساز پل را توضیح دهید. شکل مدار و شکل موج‌های ورودی و خروجی آن را رسم کنید.
- ۵ رابطه حداکثر ولتاژ معکوس دیود در یک سو کننده تمام موج را بنویسید.
- ۶ صافی (فیلتر) را تعریف کنید و اثرات آن را در یک سو کننده‌های نیم موج، تمام موج و پل با هم مقایسه کنید.
- ۷ اصول کار چند برابر کننده‌های ولتاژ را توضیح دهید.
- ۸ مدار شکل ۱۳-۶۸ را توضیح دهید.
- ۹ کاربرد چند برابر کننده‌های ولتاژ را نام ببرید.
- ۱۰ اصول کار مدارهای محدود کننده را توضیح دهید.

۱۱) برش‌دهنده‌های مثبت و منفی را با رسم شکل توضیح دهید.

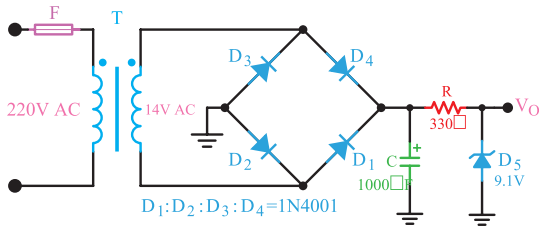
۱۲) روش‌های نام‌گذاری دیود را نام ببرید.

۱۳) با توجه به شکل ۱۳-۷۷ اگر نسبت دور ترانسفورماتور ۱:۲۲ باشد میانگین ولتاژ دو سر بار و PIV هر دیود چقدر است؟ (دیودها ایده‌آل هستند).



شکل ۱۳-۷۷ - مدار سؤال ۱۳

۱۴) با توجه به مدار شکل ۱۳-۷۸ که مربوط به منبع تغذیه ۹ ولت است، در صورت ایده‌آل بودن دیودها، ولتاژ کار خازن چند ولت باشد تا آسیب نبیند؟



شکل ۱۳-۷۸ - مدار سؤال ۱۴

۱۵) نام‌گذاری دیود با روش ۱N۴۱۴۸
و ۹OA نام‌گذاری دیود با روش
است.

واحد یادگیری ۱۴

ترانزیستور

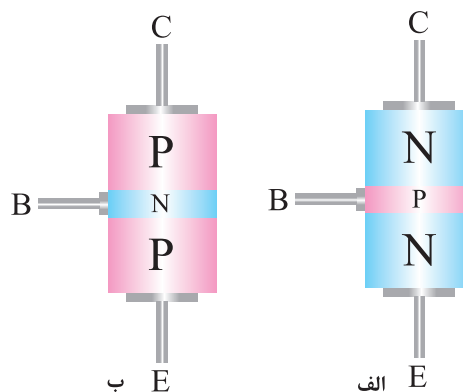
۱۴-۱- ساختمان ترانزیستور

ترانزیستور معمولی یک المان سه پایه است که از سه کریستال نیمه‌هادی نوع N و P، که در کنار هم قرار دارند، تشکیل شده است. ترتیب قرار گرفتن نیمه‌هادی‌ها در کنار هم، به دو صورت انجام‌پذیر است:

الف) دو قطعه نیمه‌هادی نوع N در دو طرف و نیمه‌هادی نوع P در وسط.

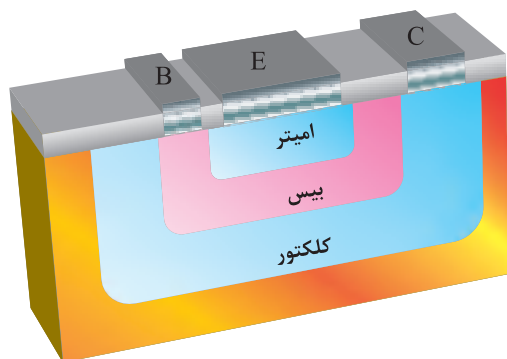
ب) دو قطعه نیمه‌هادی نوع P در دو طرف و نیمه‌هادی نوع N در وسط.

در حالت (الف)، ترانزیستور را NPN و در حالت (ب)، ترانزیستور را PNP می‌نامند. شکل ۱۴-۱ ترتیب قرار گرفتن نیمه‌هادی‌ها را کنار هم نشان می‌دهد.



شکل ۱۴-۱- ساختمان ترانزیستور

در شکل ۱۴-۲، 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 نمایش می‌دهند.



شکل ۱۴-۲- لایه‌های ترانزیستور

نیمه‌هادی نوع P یا N که به عنوان امیتر به کار می‌رود، نسبت به لایه 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.



فیلم فناوری ساخت ترانزیستور را ببینید.

لایه 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 لایه 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 ۱۴-۳ تصویری از نسبت تقریبی لایه‌ها را نشان می‌دهد. سطح تماس کلکتور با بیس، حدوداً ۹ برابر سطح تماس امیتر با بیس است.

استفاده می‌شود و اغلب به صورت مدار مجتمع یا آی‌سی (IC – Integrated Circuit) به بازار عرضه می‌گردد.

۳-۱۴- عملکرد ترانزیستور

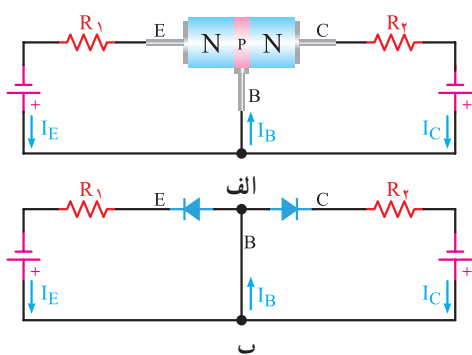
بایاس ترانزیستور: برای اینکه بتوان از ترانزیستور به عنوان مدارهایی مانند تقویت‌کننده و سوئیچ استفاده نمود، ابتدا باید ترانزیستور را از نظر ولتاژ DC تغذیه کرد، عمل تغذیه ولتاژ پایه‌های ترانزیستور را بایاس ترانزیستور می‌نامند.

با توجه به اینکه ترانزیستور دارای سه پایه مجزا است می‌توانیم یکی از پایه‌ها را پایه مشترک و دو پایه دیگر را ورودی و خروجی آن در نظر بگیریم.

اتصال ولتاژ DC به پایه‌های ترانزیستور، نحوه عملکرد آن را در مدار بیان می‌کند. نظر به اینکه تعداد پایه‌های ترانزیستور ۳ 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.

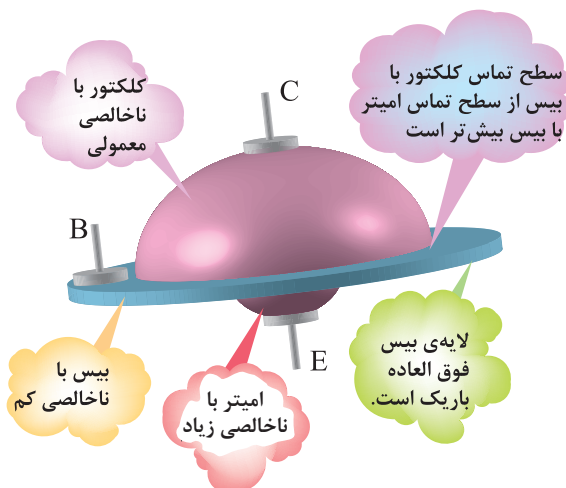
الف) هر دو اتصال بیس – امیتر و اتصال بیس – کلکتور نیز در بایاس مستقیم است. شکل الف ۵-۱۴ این نوع بایاس را نشان می‌دهد. مقاومت‌های R_1 و R_2 در این شکل برای کنترل جریان به کار رفته است.

شکل ب ۵-۱۴ مدار معادل شکل الف ۵-۱۴ است.



شکل ۵-۱۴- بایاس موافق در مدار معادل دیودی

همان‌طوری که از شکل مدار معادل پیدا است، در این حالت بایاس، دو جریان I_E (جریانی که از امیتر عبور



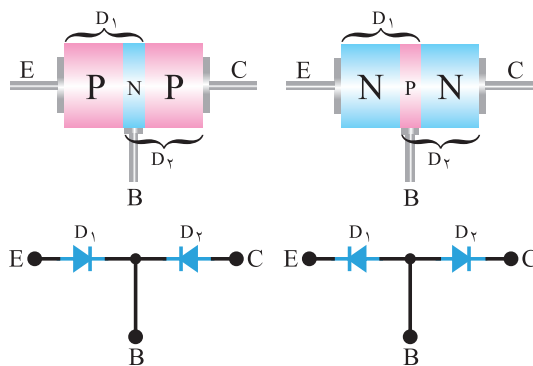
شکل ۳-۱۴- نمایش نسبت تقریبی لایه‌های ترانزیستور

این نوع ترانزیستورها را به اختصار ترانزیستور دو قطبی تک پیوندی یا (Bipolar Junction Transistor) یا BJT می‌نامند.

به چه دلیل این نوع ترانزیستور را Bipolar یا دو قطبی نامیده‌اند.

۲-۱۴- معادل دیودی ترانزیستور

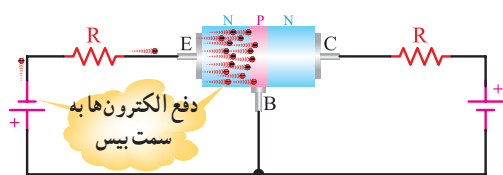
هر ترانزیستور، دارای سه پایه و ۲ پیوند است. هر پیوند را می‌توان به صورت یک دیود نشان داد. در نتیجه، معادل دیودی یک ترانزیستور به صورت شکل ۴-۱۴ نشان داده می‌شود.



شکل ۴-۱۴- معادل دیودی ترانزیستور

قطعاتی مانند مقاومت، خازن، دیود و ترانزیستور که به صورت تکی ساخته می‌شوند، را قطعات مجزا از هم یا دیسکریٹ (Discrete) می‌نامند. امروزه از قطعات دیسکریٹ کمتر

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 ۸-۱۴)



شکل ۸-۱۴- حرکت الکترون‌ها

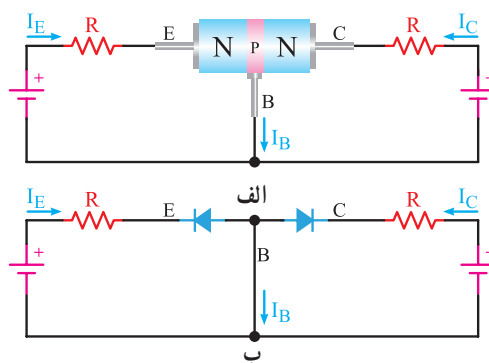
همان‌طوری که از شکل ۸-۱۴ پیدا است، الکترون‌های نیمه‌هادی نوع N، توسط ولتاژ منفی باتری به سمت بیس رانده می‌شوند. گفتیم که لایه بیس نسبت به امیتر و کلکتور ناخالصی کمتری دارد و ضخامت آن نیز، نسبت به دو لایه دیگر فوق‌العاده کم است. در اینجا سؤال می‌آید که آیا این جریان الکترون‌ها مسیر خود را از طریق امیتر-بیس می‌بندد یا اتفاق دیگری می‌افتد؟

در نگاه اول چنین 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 به شرح زیر است:

- به کلکتور ولتاژ مثبت وصل شده است و این ولتاژ قادر است، الکترون‌ها را به طرف خود جذب کند.
- لایه بیس بسیار نازک است و الکترون‌ها به محض وارد شدن به لایه بیس به دلیل کم بودن این فاصله با کلکتور جذب می‌شوند. ثالثاً، سطح کلکتور حدود ۹ برابر بزرگ‌تر از سطح امیتر است، لذا نسبت به ورود الکترون‌ها به لایه بیس احاطه کامل دارد و تقریباً تمام آنها را جذب می‌کند.
- ناخالصی بیس کم است و الکترون‌ها با حفره‌ها کمتر ترکیب می‌شوند. لذا تقریباً بیش از ۹۵٪ الکترون‌هایی که به لایه بیس وارد می‌شوند، مدار خود را از طریق

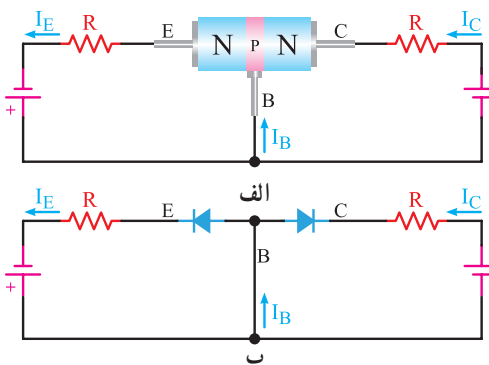
می‌کند و I_C (جریانی که از کلکتور عبور می‌کند) هر کدام مسیر جداگانه‌ای در دو حلقه طی می‌کنند، فقط در پایه بیس با یکدیگر جمع می‌شوند و دوباره تقسیم می‌گردند.

ب) هر دو اتصال بیس-امیتر و اتصال بیس-کلکتور نیز در بایاس معکوس است. این نوع اتصال در شکل الف-۱۴-۶ نشان داده شده است. شکل ب-۱۴-۶ مدار معادل شکل الف-۱۴-۶ است. همان‌طوری که از مدار معادل پیداست، هر دو دیود در بایاس معکوس قرار گرفته 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 که از آن صرف‌نظر می‌کنیم. در این حالت نیز ترازبستور هیچ عملی انجام نمی‌دهد.



شکل ۶-۱۴- بایاس مخالف

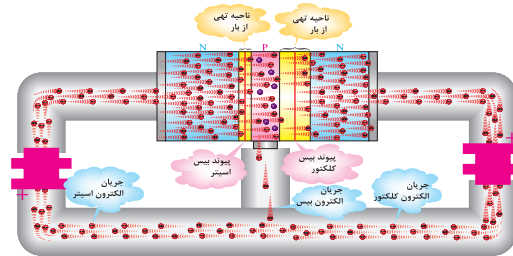
پ) اتصال بیس-امیتر در بایاس مستقیم و اتصال بیس-کلکتور در بایاس معکوس است. شکل الف و ب-۱۴-۷ این حالت بایاس را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۱۴- بایاس موافق و مخالف

همان‌طوری که از شکل ۷-۱۴ پیداست، اتصال بیس-امیتر

کلکتور می‌بندند. شکل ۹-۱۴، نسبت تقسیم تقریبی الکترون‌ها بین کلکتور و بیس را نشان می‌دهد.



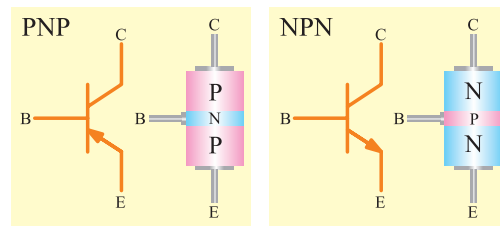
شکل ۹-۱۴ الکترون‌های عبوری از بیس و کلکتور

فیلم ولتاژبندی ترانزیستور و روابط بین I_E ، I_B و I_C را ببینید.



۴-۱۴- نماد فنی ترانزیستور

برای ساده‌تر نشان دادن ترانزیستورها در نقشه‌ها از علامت اختصاری استفاده می‌شود. شکل ۱۰-۱۴، نماد فنی ترانزیستورهای PNP و NPN را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۱۴ علامت قراردادی ترانزیستورهای PNP و NPN

جهت فلش در نماد فنی ترانزیستور نشان‌دهنده جهت دیود امیتر-بیس است.

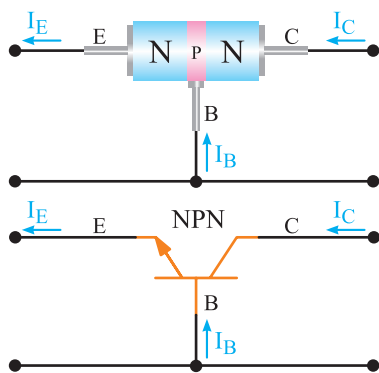
۵-۱۴- جهت جریان‌ها در ترانزیستور

جریانی که از کلکتور عبور می‌کند با I_C ، جریانی که از بیس عبور می‌کند با I_B و جریانی که از امیتر عبور می‌کند با I_E نشان داده می‌شود. همان‌طوری که در شکل ۱۱-۱۴ 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

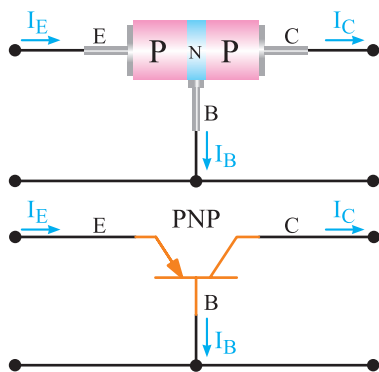
امیتر با مجموع جریان بیس و جریان کلکتور برابر است.

یعنی: $I_E = I_C + I_B$

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 ۱۱-۱۴ و ۱۲-۱۴ جهت قراردادی جریان در ترانزیستورهای NPN و PNP نشان داده شده است. جهت قراردادی جریان، همیشه با جهت دیود بیس-امیتر مطابقت دارد.



شکل ۱۱-۱۴ جهت قراردادی جریان در ترانزیستور NPN



شکل ۱۲-۱۴ جهت قراردادی جریان در ترانزیستور PNP



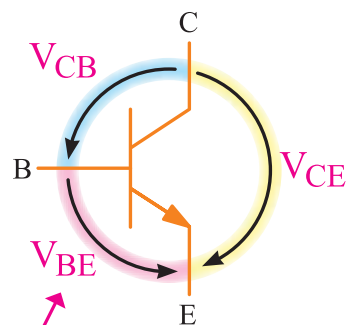
با توجه به شکل‌های ۱۱-۱۴ و ۱۲-۱۴ در مورد جهت جریان واقعی و قراردادی بحث کنید و شکل‌های مربوط به جهت واقعی جریان را با در نظر گرفتن قطب‌های ولتاژ ترسیم کنید.

۱۴-۶- نام گذاری ولتاژهای ترانزیستور

برای اینکه بتوان از ترانزیستور به عنوان مداری مانند تقویت کننده سیگنال های الکتریکی استفاده کرد، باید ترانزیستور با ولتاژ DC تغذیه شود. در هر حالت، ولتاژهایی که به قسمت های مختلف ترانزیستور اعمال می شوند، با هم فرق می کنند در این قسمت به نام گذاری ولتاژ قسمت های مختلف می پردازیم.

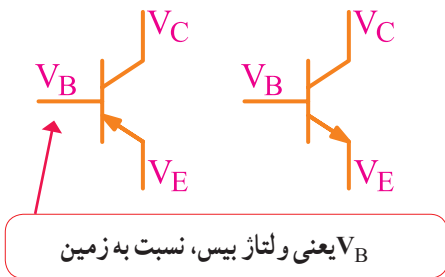
ولتاژ که به پایه های بیس و امیتر وصل می شود با V_{BE} ، ولتاژی که به پایه های کلکتور-بیس داده می شود با V_{CB} ، ولتاژی که بین کلکتور-امیتر وصل می شود با V_{CE} ، ولتاژ منبع تغذیه کلکتور را با V_{CC} و ولتاژی که انرژی بیس را تأمین می کند با V_{BB} نشان می دهند.

در شکل ۱۳-۱۴، ولتاژهای قسمت های مختلف ترانزیستور را مشاهده می کنید. بین ولتاژهای ترانزیستور، رابطه $V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$ برقرار است.



شکل ۱۳-۱۴- نام گذاری ولتاژ بین پایه های ترانزیستور

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 ۱۴-۱۴ ولتاژ نقاط مختلف یک ترانزیستور نسبت به زمین نشان داده شده است.



شکل ۱۴-۱۴- ولتاژ هر پایه ترانزیستور نسبت به زمین

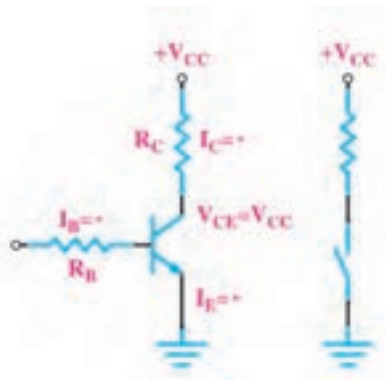


فیلم

فیلم حالات مختلف عملکرد ترانزیستور را ببینید.

۱۴-۷- ترانزیستور در حالت قطع

در شکل ۱۵-۱۴ یک ترانزیستور در حالت قطع نشان داده شده است. بیس در این حالت بایاس نشده است، از این رو $I_B = 0$ بوده، در نتیجه I_C هم صفر است. در دو سر R_C هیچ افت ولتاژی نداریم و همه ولتاژ منبع یعنی V_{CC} در دو سر کلکتور-امیتر ترانزیستور افت می کند. در این حالت ترانزیستور مانند یک کلید باز است.

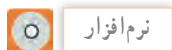


کلید باز

شکل ۱۵-۱۴- ترانزیستور در حالت قطع

۱۴-۸- ترانزیستور در حالت اشباع

وقتی بیس امیتر ترانزیستور را بایاس موافق کنیم و I_B را افزایش دهیم، I_C هم افزایش می یابد، هرگاه I_C به حداکثر مقدار خود برسد، $(I_{Cmax} = \frac{V_{CC}}{R_C})$ ولتاژ کلکتور-امیتر صفر و ترانزیستور در حالت اشباع است. ترانزیستور

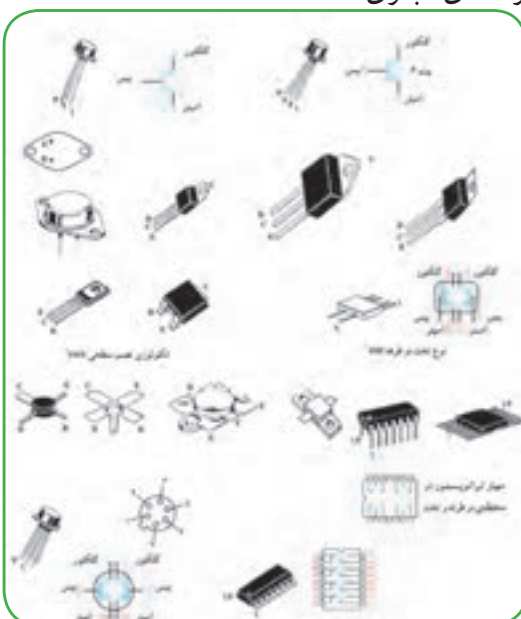


نرم افزار

مدار یک نمونه چشمک زن ساده با استفاده از ترانزیستور به عنوان سوئیچ را در نرم افزار تجربه کنید.

۱۴-۱۰- شکل ظاهری چند نمونه ترانزیستور و پایه های آن

در شکل های ۱۸-۱۴ انواع ترانزیستور و پایه های آن را مشاهده می کنید. مانند سایر قطعات الکترونیکی مشخصات فنی ترانزیستور را نیز در برگه اطلاعات (Data Sheet) می نویسند. این اطلاعات قابل دسترسی در فضای مجازی است.



شکل ۱۸-۱۴- انواع ترانزیستور

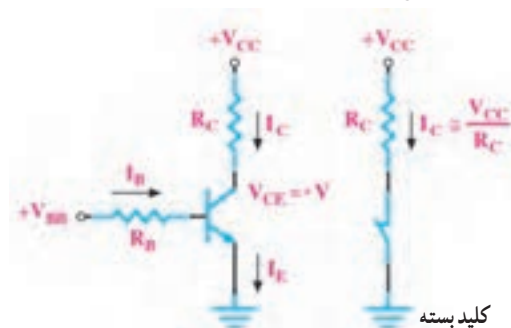


فیلم

فیلم عمل تقویت کنندگی در ترانزیستور را ببینید.

۱۴-۱۱- 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 ۱۹-۱۴ پایه بیس پایه مشترک بین ورودی و خروجی، امیتر- بیس

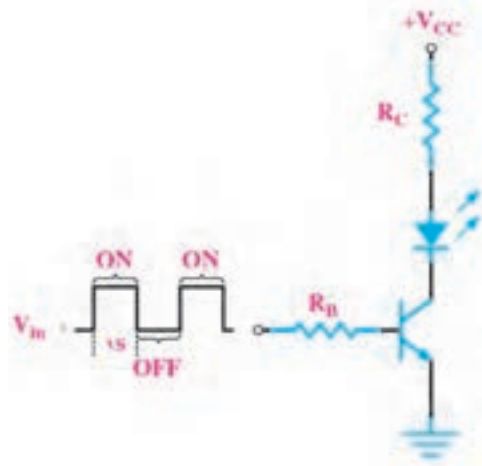
در حالت اشباع به طور ایده آل مانند یک کلید بسته عمل می کند. (شکل ۱۶-۱۴)



شکل ۱۶-۱۴- ترانزیستور در حالت اشباع

۱۴-۹- کاربرد ساده ترانزیستور به عنوان کلید

در شکل ۱۷-۱۴ کاربرد ساده ترانزیستور به عنوان کلید نشان داده شده است. به بیس ترانزیستور موجی مربعی با زمان تناوب ۲ ثانیه اعمال شده است. در نیم پریودی که موج ورودی صفر و ترانزیستور قطع است، جریان کلکتور صفر و LED خاموش است. زمانی که موج مربعی دارای ولتاژ زیاد است، ترانزیستور وصل و در حالت اشباع قرار می گیرد. در این شرایط جریان کلکتور از LED عبور نموده، آن را روشن می کند. بدین ترتیب، LED یک ثانیه روشن و یک ثانیه خاموش بوده و چشمک می زند.



شکل ۱۷-۱۴- کاربرد ترانزیستور به عنوان کلید

یک سیگنال متناوب با دامنه مثلاً 1% ولت را به ورودی ترانزیستور اعمال می‌کنیم. می‌خواهیم ببینیم آیا این سیگنال تقویت خواهد شد یا نه؟ اگر مقاومت دیود امیتر-بیس را به هنگام اعمال سیگنال، معادل $20\ \Omega$ فرض کنیم در حلقه ورودی، جریان ناشی از سیگنال متناوب برابر است با:

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

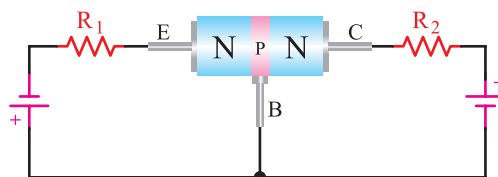
همان‌گونه که بیان شد، قسمت اعظم جریان امیتر از طریق کلکتور مسیر خود را می‌بندد. از این رو، این جریان تقریباً از مقاومت $R_2 = 1K\Omega$ ، که با کلکتور سری شده است، عبور می‌کند و در دو سر مقاومت $1K\Omega$ افت ولتاژ متناوبی با دامنه $U_{R_2} = 0.83mA \times 1K\Omega = 0.83V$ ایجاد می‌کند. افت ولتاژ متناوب دو سر R_2 به مراتب از ولتاژ متناوب ورودی بیشتر است. در نتیجه ولتاژ ورودی تقویت می‌شود. اگر ضریب تقویت ولتاژ را با A_V نشان دهیم، رابطه و مقدار A_V برابر است با:

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

پس سیگنال متناوب ورودی 8.3 مرتبه تقویت شده است. با طراحی مدارهای ترانزیستوری و با تغییر مقدار مقاومت‌ها می‌توان دامنه سیگنال خروجی را روی مقدار مورد نظر تنظیم نمود. همان‌گونه که مشاهده شد، تمام جریانی که از مقاومت R_1 می‌گذرد تقریباً از مقاومت R_2 هم عبور می‌کند.

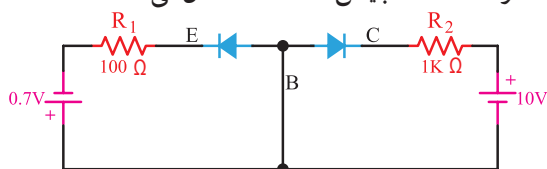
این عمل تنها به وسیله ترانزیستور صورت گرفته است. به این ترتیب می‌توان گفت ترانزیستور عمل انتقال مقاومت را انجام داده است. نام ترانزیستور هم از همین عمل انتخاب شده است. Transistor از ترکیب دو کلمه Transfer of resistor گرفته شده است.

ورودی ترانزیستور و کلکتور-بیس خروجی آن در نظر گرفته شده است. اتصال بیس-امیتر در بایاس مستقیم و اتصال بیس-کلکتور در بایاس معکوس است.



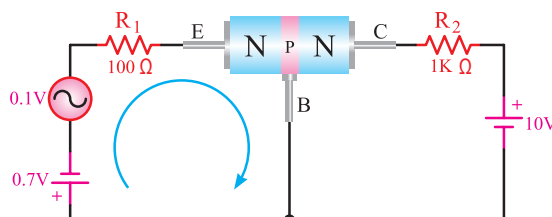
شکل ۱۹-۱۴ ترانزیستور بایاس شده

نظر به اینکه اتصال بیس-امیتر 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 $100\ \Omega$ اهم، را جهت کنترل جریان در ورودی ترانزیستور با اتصال بیس-امیتر سری می‌نماییم. از آن جایی که اتصال کلکتور-بیس در بایاس معکوس است، سری کردن یک مقاومت زیاد، مثلاً یک کیلو اهم، اثر چندانی روی ترانزیستور ندارد. شکل ۲۰-۱۴ معادل دیودی ترانزیستور را که در حالت DC بایاس شده است، نشان می‌دهد.



شکل ۲۰-۱۴ بایاس DC ترانزیستور

ولتاژ بایاس امیتر-بیس را حدود 0.7 ولت (زیرا ولتاژ 0.7 ولت، دیود امیتر-بیس را کاملاً هادی می‌سازد) و ولتاژ باتری کلکتور-بیس را حدود 10 ولت انتخاب می‌نماییم. چون دیود کلکتور-بیس در بایاس معکوس است، هیچ‌گونه اشکالی در مدار به وجود نمی‌آید. (شکل ۲۱-۱۴)

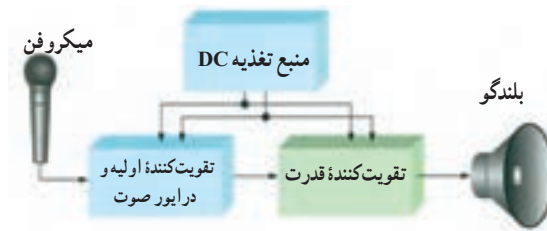


شکل ۲۱-۱۴ اتصال سیگنال متناوب به مدار

فیلم فناوری ساخت و چگونگی استفاده از برگه اطلاعات IC را ببینید.

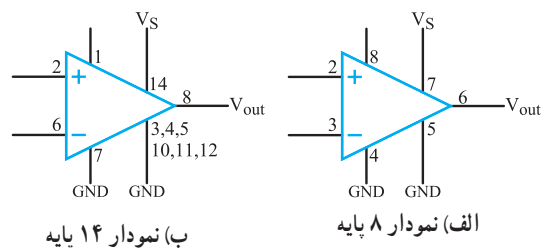
۱۲-۱۴- معرفی دو نمونه آی سی آمپلی فایر

همان طور که اشاره شد امروزه مدارهای الکترونیکی را به صورت مدار مجتمع یا IC می سازند. در شکل ۱۴-۲۲ بلوک دیاگرام یک نمونه تقویت کننده صوتی (Audio amplifier) را مشاهده می کنید.

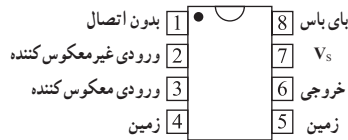


شکل ۱۴-۲۲- بلوک دیاگرام یک نمونه آمپلی فایر صوتی

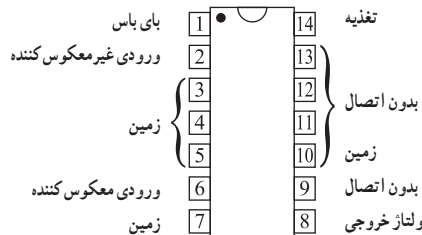
در سال های اخیر تعداد متنوعی از تقویت کننده های قدرت که توانایی تحویل تا چند وات را به مقاومت های بار کوچک (مانند بلندگو) دارند، به صورت تراشه ساخته شده اند. یکی از تراشه ها LM386 است که شکل ظاهری و نماد آن را در شکل های ۲۳، ۱۴-۲۴ مشاهده می کنید. LM386 در بسته بندی های ۱۴ و ۸ پایه وجود دارد. در بسته بندی نوع ۱۴ پایه، تعدادی از پایه ها به زمین وصل شده اند و نقش رادیاتور را بر عهده دارند.



شکل ۱۴-۲۳- نماد آی سی



(ب) بسته بندی ۸ پایه



(ت) بسته بندی ۱۴ پایه

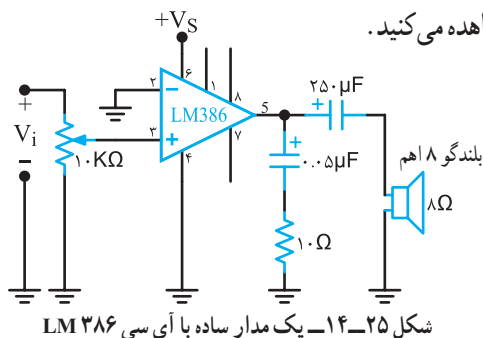
شکل ۱۴-۲۴- شکل ظاهری

مشخصات فنی مدارهای مجتمع را مانند سایر قطعات در برگه اطلاعات (Data Sheet) می آورند. آی سی LM386 نوعی تقویت کننده صوتی است که می تواند تا چند صد میلی وات توان را به خروجی تحویل دهد، این آی سی می تواند در ولتاژهای کم تا ۴V کار کند. در زیر تعدادی از مشخصات LM386 داده شده است.

توجه: ارزشیابی این اطلاعات با استفاده از Data Sheet صورت می گیرد، لذا نیازی به حفظ کردن و به خاطر سپردن اطلاعات نیست.

- توان خروجی ۳۲۵-۷۰۰mW
- بهره ولتاژ ۲۰۰-۲۰
- ولتاژ تغذیه ۴-۱۲V
- مقاومت ورودی ۵۰kΩ
- پهنای باند ۳۰۰ KHz

نقشه یک مدار ساده با استفاده از LM386، نماد فنی و شکل ظاهری آی سی را در شکل های ۲۵، ۲۶، ۲۷-۱۴ مشاهده می کنید.



شکل ۱۴-۲۵- یک مدار ساده با آی سی LM386



شکل ۲۸-۱۴- روش های نام گذاری ترانزیستورها

فرایند نام گذاری قطعات مانند ترانزیستورها و آی سی ها در کتاب اطلاعات (Data Book) درج می شود و هنرجویان باید قادر باشند این اطلاعات را از منابع مربوطه استخراج و استفاده کنند.

■ نام گذاری به روش ژاپنی

نام گذاری ترانزیستورها با روش ژاپنی با عدد ۲ شروع می شود و به دنبال آن حرف S می آید. بعد از S، یکی از چهار حرف A، B، C، و D قرار می گیرد، که با توجه به کتاب اطلاعات مفهیمی به شرح زیر دارد:

۱- حرف A نشان دهنده ترانزیستور از نوع PNP است و در فرکانس های بالا، نیز می تواند کار کند.

(High frequency=HF)

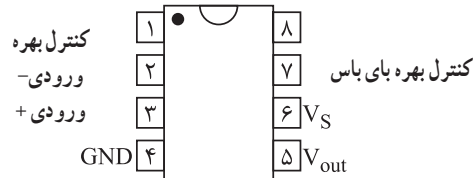
۲- حرف B نشان دهنده ترانزیستور از نوع PNP است در فرکانس های کم می تواند کار کند.

(Low frequency=LF)

۳- حرف C نشان دهنده ترانزیستور از نوع NPN است و در فرکانس های بالا، نیز می تواند کار کند.

۴- حرف D نشان دهنده ترانزیستور از نوع NPN است و در فرکانس های کم نیز 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



شکل ۲۶-۱۴- بسته بندی ۸ پایه



شکل ۲۷-۱۴- شکل ظاهری

۱- در یکی از نرم افزارهای یکی از مدارهای تقویت کننده با IC را ببینید و تجربه کنید.

۲- با مراجعه به فضای مجازی، برگه اطلاعات (Data Sheet) آی سی تقویت کننده LM386 را بارگیری کنید و مشخصات آن را با مشخصات داده شده در کتاب تطبیق دهید.



فعالیت

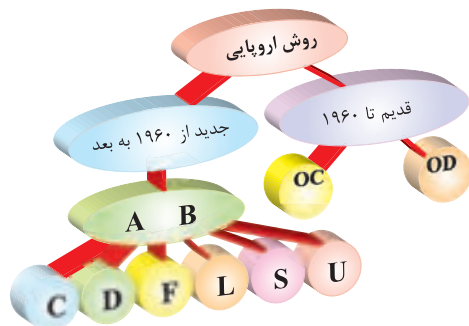
۱۳-۱۴- نام گذاری ترانزیستورها

برای نام گذاری ترانزیستورها، سه روش مشهور در دنیا وجود دارد. گرچه تعدادی از کارخانجات در گوشه و کنار دنیا از نام گذاری خاصی استفاده می نمایند.

این سه روش، عبارت اند از:

- نام گذاری به روش ژاپنی
 - نام گذاری به روش اروپایی
 - نام گذاری به روش آمریکایی
- شکل ۲۸-۱۴- نموداری از نام گذاری ها را نشان می دهد.

برای استخراج آن باید به منابع مربوطه مراجعه کنید.



شکل ۳-۱۴- نام‌گذاری ترانزیستورها به روش اروپایی

حرف اول در این روش، نشان دهنده جنس نیمه‌هادی است که اگر ژرمانیوم باشد آن را با حرف A و اگر سیلیسیم باشد با حرف B مشخص می‌نمایند.

حرف 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 سوئیچ به کار می‌رود.

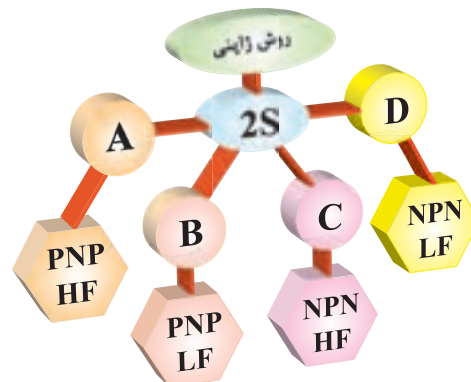
U: ترانزیستور قدرت، به صورت سوئیچ به کار می‌رود.

سه شماره بعد، نشان‌دهنده سری ترانزیستور است، که با استفاده از این سه شماره و جدول مشخصات، می‌توان مشخصات الکتریکی ترانزیستور را به دست آورد. برای مثال مشخصات ترانزیستور BC107 در شکل ۳۱-۱۴ نشان داده شده است:



شکل ۳۱-۱۴- مشخصات ترانزیستور BC107

رفته (ژرمانیوم یا سیلیسیم) و همچنین حدود قدرت آن نیست. مثلاً آلمان سه پایه به شماره ۸۲۹۰۲S۳ نشان‌دهنده ترانزیستور از نوع NPN با محدوده فرکانسی بالا است. بر روی اکثر ترانزیستورها، حرف ۲S را قید نمی‌نمایند، مثلاً ۸۲۹C همان ۸۲۹S۲C است. (شکل ۲۹-۱۴)



شکل ۲۹-۱۴- نام‌گذاری ترانزیستورها به روش ژاپنی

■ نام‌گذاری به روش اروپایی

در نام‌گذاری روش اروپایی، تا سال ۱۹۶۰، ترانزیستور را با حرف OC و OD و با ۲ یا ۴ عدد به دنبال آن مشخص می‌کردند که OC برای ترانزیستورهای کم قدرت و OD برای ترانزیستورهای پر قدرت به کار می‌رفت. مانند OC۷۲، در این روش نام‌گذاری، نوع ترانزیستور (PNP-NPN) یا جنس نیمه‌هادی به کار رفته یا محدوده فرکانسی آن مشخص نبود.

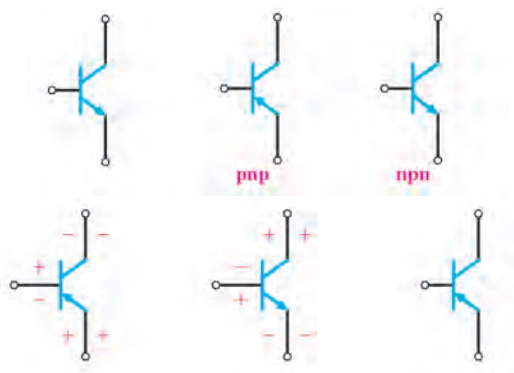
از سال ۱۹۶۰ به بعد، سیستم نام‌گذاری ترانزیستورها تغییر کرد. به این طریق که ترانزیستورهای به کار رفته در رادیو و تلویزیون و یا در وسایل الکترونیکی عمومی بیشتر با دو حرف و سه شماره و ترانزیستورهای خاص، با سه حرف و دو شماره مشخص می‌شوند. مانند ترانزیستور شماره BUX38، که این ترانزیستور در فرکانس‌های رادیویی با جریان و ولتاژ زیاد به کار برده می‌شود. در این مبحث روش نام‌گذاری با دو حرف و سه شماره گفته خواهد شد. (شکل ۳۰-۱۴)

معمولاً مفاهیم مربوط به هر یک از حروف و اعداد را در جایگاه خود در کتاب اطلاعات ترانزیستور می‌نویسند و

الگوی پرسش (ارزشیابی واحد یادگیری ۱۴ از فصل پنجم):

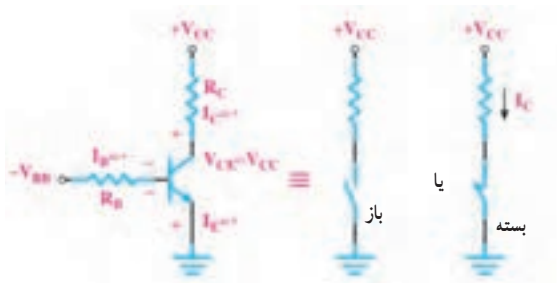
- ۱ ساختمان ترانزیستور را شرح دهید.
- ۲ بایاسینگ ترانزیستور را شرح دهید.
- ۳ در مورد انتخاب نام ترانزیستور توضیح دهید.
- ۴ شمای مداری و معادل دیودی ترانزیستور NPN و PNP را رسم کنید.

- ۵ پایه‌ها و جهت قراردادی جریان و ولتاژهای ترانزیستورهای شکل ۳۳-۱۴ را تعیین کنید.



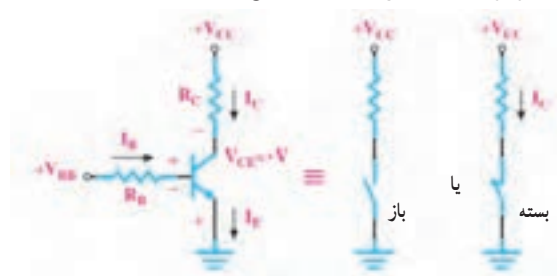
شکل ۳۳-۱۴ مدار سؤال ۵

- ۶ ترانزیستور شکل ۳۴-۱۴ آیا معادل یک کلید باز است یا کلید بسته؟



شکل ۳۴-۱۴ مدار سؤال ۶

- ۷ ترانزیستور شکل ۳۵-۱۴ معادل یک کلید باز است یا بسته؟



شکل ۳۵-۱۴ مدار سؤال ۷

همچنین برخی از مشخصات فنی ترانزیستور BF48، ترانزیستور کم قدرت بوده، و جنس آن از سیلیسیم است و با فرکانس زیاد (۱GHZ) نیز می‌تواند کار کند. در این سیستم نام‌گذاری نوع ترانزیستور (NPN-PNP) از روی حروف ترانزیستور مشخص نیست.

نام‌گذاری به روش آمریکایی

در این روش نام‌گذاری، ترانزیستور و المان‌های ۳ قطبی را با حرف و عدد ۲N مشخص می‌کنند و تعدادی رقم را برای شماره سری به دنبال آن می‌آورند. حرف N و عدد ۲ فقط المان‌های ۳ قطبی را از المان‌های ۲ قطبی (مانند دیود) مشخص می‌سازد. با توجه به شماره‌های بعدی که به دنبال آن می‌آورند و با توجه به جدول مشخصات المان‌ها، نوع المان و همچنین مشخصات الکتریکی آنها را باید به دست آورد. برای مثال مشخصات ترانزیستور 2N2219 و چند المان سه قطبی را در شکل ۳۲-۱۴ مشاهده می‌کنید.

2N 2219

عنصر سه پایه

سری ترانزیستور

2N3055 = ترانزیستور قدرت (NPN)

که در فرکانس‌های کم کار می‌کند.

2N2646 = ترانزیستور تک اتصال (UJT)

2N1842 = ترانزیستور

2N6139 = ترایاک

شکل ۳۲-۱۴ مشخصات ظاهری چند المان سه قطبی

ارزشیابی شایستگی پودمان ۵: الکترونیک و کاربرد آن

رشته تحصیلی: الکترونیک			پایه: دهم		سال تحصیلی: ۱۳۹۶-۹۷
کد رشته: ۷۱۴۱۰			کد درس:		کد کتاب: ۲۱۰۲۷۵
عنوان پودمان	تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)	استاندارد عملکرد			
پودمان ۵: الکترونیک و کاربرد آن	۱- دیود و کاربرد آن	۱- مفاهیم و تعاریف دیود و ترانزیستور و ولتاژبندی آنها	نتایج ممکن	بالاتراز حد انتظار	اجرای همه بندها و ارائه موارد دیگری از کاربردهای دیود و ترانزیستور
	۲- ترانزیستور و کاربرد آن	۲- انواع دیود		در حد انتظار	اجرای بند ۲، ۳ و ۴
		۳- کاربردهای دیود		پایین تر از حد انتظار	اجرای فقط ۲ بند
		۴- کاربردهای ترانزیستور			
نمره مستمر از ۵					
نمره شایستگی پودمان					
نمره پودمان از ۲۰					
<p>– نمره شایستگی پودمان منحصراً شامل نمرات ۱، ۲ یا ۳ است.</p> <p>– زمانی هنجو شایستگی کسب می کند که در ارزشیابی پودمان حداقل نمره شایستگی ۲ را اخذ کند.</p> <p>– حداقل نمره قبولی پودمان ۱۲ از ۲۰ است.</p> <p>– نمره کلی درس زمانی لحاظ می شود که هنجو در کلیه پودمان ها، شایستگی مورد نیاز را کسب نماید.</p>					

منابع و مأخذ مورد استفاده

- ۱- برنامه درسی رشته الکترونیک - دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش - ۱۳۹۳
- ۲- اصول الکترونیک، گروپ، ترجمه احمد ریاضی، سید محمود صموتی، محمود همتایی دانشکده شهید شمس‌پور
- ۳- فلویید توماس، اصول و مبانی مدارهای الکتریکی، مترجم مهرداد عابدی، انتشارات جهاد دانشگاهی، دانشگاه امیرکبیر
- ۴- اندرسن چارلز، دوره جامع برق و الکترونیک، مترجم محمدرضا محمدی‌فر، انتشارات سپهر
- ۵- Electronic devices and Circuit theory by robert Boylestad Louis Nashilsky
- ۶- Ttransistor Fundamentals by Robert J Brite
- ۷- Transistor Circuit action by Henry C. Vealch
- ۸- Electronic Devices Electron Flow Version Flord
- ۹- مبانی برق کد ۳۵۸/۱۸ مؤلفان فریدون قیطرانی، عین‌اله احمدی - حسین مظفری - محمود همتایی - مسعود تجلی‌پور، انتشارات شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران - ۱۳۹۴
- ۱۰- مبانی الکتریسیته، کد ۶۰۴/۷، مؤلف شهرام خدادادی، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران - ۱۳۹۴
- ۱۱- الکترونیک عمومی، مؤلفان ابوالقاسم جاریانی - فتح‌اله نظریان - محمود همتایی - سید محمود صموتی - شهرام نصیری سوادکوهی، ۱۳۹۴
- ۱۲- آزمایشگاه مجازی ۱، کد ۳۵۸/۳، مؤلفان مهین ظریفیان جولایی - سید محمود صموتی - محمود شبانی - سید علی صموتی، ۱۳۹۴، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران
- ۱۳- آزمایشگاه مجازی ۲، کد ۴۶۶/۶، مؤلفان مهین ظریفیان جولایی - سید محمود صموتی - سید علی صموتی - محمود شبانی، ۱۳۹۴، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران
- ۱۴- الکترونیک پایه، کد ۶۰۹/۱۷، مؤلفان فتح‌اله نظریان - سید محمود صموتی - شهرام نصیری سوادکوهی - فرشته داودی لعل‌آبادی - سهیلا ذوالفقاری، ۱۳۹۴، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران
- ۱۵- الکترونیک عمومی، کد ۴۹۰/۵، مؤلفان سید محمود صموتی - شهرام نصیری سوادکوهی - یداله رضازاده - غلامحسین نصری - فتح‌اله نظریان، ۱۳۹۴، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران
- ۱۶- برگه اطلاعات (Data sheet) انواع قطعات الکتریکی و الکترونیکی (بارگیری از اینترنت)
- ۱۷- کتاب اطلاعات (Data book) انواع قطعات الکتریکی و الکترونیکی (بارگیری از اینترنت)
- ۱۸- دستینه (Hand book) انواع مدارها و قطعات (بارگیری از اینترنت)

